

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

#### 1.1 Ön Bilgi

Kimyasal işlemlerde iki veya daha fazla maddenin birbirleriyle karıştırılıp fiziksel ve/veya kimyasal olarak homojen bir karışım elde edilmesi işlemine karıştırma denir. Bu işlem kesikli veya sürekli olabilir. İki veya daha fazla sıvı karıştırılabileceği gibi, küçük parçacıklı bir katı fazın bir sıvı içinde homojen bir karışım veya bir gazın kabarcıklar halinde bir sıvı içinde homojen dağılımı ve çözünmesi de istenebilir. Bu işlem sıvının bulunduğu basit bir tankta mekanik bir karıştırıcının kullanılmasıyla yapılır. Doğal olarak karıştırıcının mekanik dönüş hareketini sağlamak için elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Karıştırılan ortamın yoğunluğu ve viskozitesi yükseldikçe, karıştırma işlemi de zorlaşacağından, daha fazla enerjiye gerek duyulur. Karıştırma işleminin daha verimli olmasını sağlamak, tank içinde durgun kısım kalmasını ve girdap oluşumunu önlemek için karıştırıcı tank tasarımına dikkat etmek gerekir.

Bu çalışmada karıştırıcı tanklarda kullanılan kanat yapısı geometrilerinin ve akış koşullarının, karışıma olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Kullanılan yöntem, kararlı, sıkıştırılmaz ve viskoz akış kabulüyle, 3-boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin sonlu hacimler tekniğine uygun olarak çözülmesini içermektedir. Çalışmada kullanılan kanatların çalışma hızı 300 rpm ve kanat çapı 0,35m'dir. Bu amaca yönelik üç-boyutlu olarak, düz, 45° eğimli, geriye dönük ve radyal kanat yapıları modellenmiştir. Sonuçlar, tank içerisindeki hız vektörleri, hız konturları, ve türbülans kinetik enerji dağılımları olarak verilmiştir.

## 1.2 Önceki Çalışmalar

### 1.2.1 Karıştırıcı Tanklar

Karıştırıcı tanklar; genel olarak, kimyasal, ilaç, yiyecek, metalürjik işlem endüstrisinde ve ayrıca belediye ve endüstriyel atık su çözüm merkezlerinde kullanılır. Bu işlemden, karıştırma çeşitliliği geniştir. Buda düşük sıvı viskozitesi, yüksek sıvı viskozitesi veya yüksek sıvı viskozitesiyle düşük sıvı viskozitesi, katı-katı karıştırma vs. yi içerir. Karıştırmanın kalitesi türbülanslı kinetik enerjinin düzenli olarak dağılımına bağlıdır.

Akışkan kalitesi bilgisinin önemi 50 yıldır kullanılan çeşitli akış ölçüm teknikleri ve sayısal akışkanlar dinamiği ile araştırılmıştır (CFD).

Geliştirilmiş kanat tasarımı isteği genellikle endüstriyel karıştırıcı elemanları kullanıcılarından gelmektedir. Yeni alanlar ve gelişme için dizayn edilen tanklar daha iyi kalite, kapasite, proses verimliliği ve enerji verimliliği için istenmektedir. Bunlar için akış modeli ve dizaynı arasındaki ilişkinin iyi anlaşılması gereklidir. Kanattaki akış verimliliğini etkileyen akış karakteristiklerinden biri kanat ucunda oluşan girdap sürüklenmesidir.

Firoz ve Chris (2004); Vorticity haritasını kullanarak 4 kanatlı 45° eğimli türbindeki sürüklenen girdap yapısının etkisini çalışmışlardır. Girdap genişliğini minimize etmenin mümkün olduğunu ve kanat şeklinin doğru dizaynı ile kanattaki aksel akış verimliliğinin artırılabilir olduğunu vurgulamışlardır.

Schafer ve Yianneskis (1998), 4 kanat bulunan bir tank üzerinde çalışmış olup eğimli kanatların daha verimli olduğunu belirtmişlerdir. Eğimli kanatların akış üzerinde önemli etkisinin bulunduğunu açıklamışlardır.

Fasano ve Bakker (1994), tank içerisinde 4 adet kanat bulunan model ile 3 adet kanat bulunan modeli karşılaştırmış ve içerisinde 3 adet kanat bulunan modelin tank duvarında daha dengeli bir ısı transferi sağladığını gözlemlemişlerdir. Karıştırıcı tankında, 3 adet kanat bulunan modelin ısı transferi katsayısını karşılaştırmışlar ve %10 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Ranade ve Joshi (1989), akış modelindeki kanat eğimlerinin (30°, 45° ve 60°) olması sonucu akış yapılarının etkilerini araştırmışlar ve eğimli türbinlerdeki kanat açılarının akış karakteristiğini büyük ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Ancak kanat kalınlığı radyal akışlı disk türbinleri için önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

We-Ming ve Hong-Zhang (2000), eşit güç girişinde tek diskli türbinin kullanıldığı kanat ucunda girdap yapısı oluşumunda, kanat kalınlığının rolünü araştırmışlardır. Geniş ağızlı kanadın (W/D=0,19) bütünüyle girdap akışı ürettiğini belirtmişler ve daha küçük ağızlı kanat (W/D=0,07) yapısının, daha güçlü bir kesme baskısı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Medek ve Fort (1985), üç ağızlı hidrolik kanatta, kanat burulması üzerinde durmuşlar ve karıştırma veriminin kanat burulmasının değişmesiyle arttığını belirlemişlerdir. Ancak kanat

burulmasındaki karıştırma veriminin incelenmesi için daha fazla hidrolik kanada ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır.

Jaworski ve Nienow (1996), eşit güç girişindeki hidrolik kanatların üstünlüklerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Geniş yüzeyli hidrolik kanatların, dar yüzeyli hidrolik kanatların veriminden %50 daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Tomas ve Linek (2003), dağılımdaki karışım yoğunluğunu, radyal kanatta gözlemlemişlerdir. Kanatların daha küçük güç numarası ile daha yüksek karışım yoğunluğunun elde edildiğini, yüksek güç numaralı kanatta ise daha iyi transfer performansı gösterdiğini söylemişlerdir.

Patwardhan ve Joshi (1999), karıştırma zamanı üzerinde çalışmalar yapmışlar ve sonuç olarak sirkülasyon zamanının bir kanatta toplam akış (birincil+sürüklenmiş) ile hesaplanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Bugay (2002), Lightnin A310 kanat üzerinde yoğunlaşmış ve PIV kullanarak ortalama yarı (mean) akış ve türbülanslı kinetik enerjiye odaklanmıştır. Maksimum eksenel hızın;  $r/R=0,6$  da kanat ucu hızının %30'u olduğu açıklanmıştır. Ancak kanatların karıştırma veriminin daha fazla geliştirilmesi için çeşitli kanat dizaynları ile geniş ağızlı hidrolik kanatların daha fazla araştırılması gerektiğini vurgulamıştır.

Mawros ve Xuereb (1998), LDA kullanarak, 3 ticari kanatın (Rushton türbine, Mixel TT ve Lightnin A310) akış verimini karşılaştırmıştır. Mixel TT tipi kanatın %70,9 ile yüksek akış verimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber Rushton türbine ve Lightnin A310 ise sırayla %52,7 ve %46,2 gibi bir akış verimine sahip olduğunu söylemişlerdir.

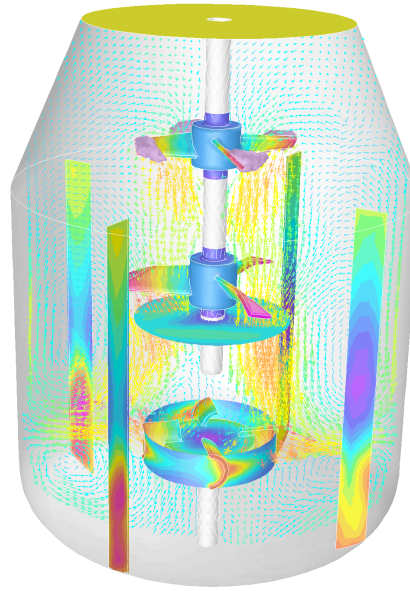
Zhou ve Kresta (1996), kanadın boşaltma bölgesinde LDA kullanarak 3 farklı kanat vasıtasıyla (Rushtan turbin, 4 kanatlı PBTD ve Lightnin 310) oluşturulmuş türbülanslı kinetik enerji üzerinde yoğunlaşmışlardır. Rushton türbini için radyal düzensizlik (dalgalanma) ve PBTD ve A310 için eksenel düzensizlik olduğunu vurgulamışlardır.

## BÖLÜM II

### KARIŞTIRICI TANKLAR

#### 2.1 Giriş

Karıştırıcı cihazlar; tanklardan, karıştırıcı çarklardan (pervane, türbin, çapa, düz kanat) ve tahrik mekanizmalarından oluşmuş karmaşık cihazlardır. Maddelerin özelliğine göre değişebilen bu mekanizmalarda, Newtonien akışkanlar için oldukça kesin kıstaslar ortaya konulmuştur. Farklı özelliklere sahip katı maddelerin karıştırılmasında aynı tip mekanizmaların kullanılmaması çok sayıda karıştırıcı tasarımının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu nedenle daha geniş bir uygulama alanına sahip tasarımların araştırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Gazların karışımı ise katı maddelere göre daha kolay olmaktadır. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmalar genellikle sıvılar üzerine yoğunlaşmıştır. Verimli karıştırmanın amacı, karışımın istenilen homojenliğinin, en kısa zamanda, en az güç sarfiyatı ile elde edilmesidir. Maddelerin fiziksel özellikleri ve miktarları bu durumda önem kazanmaktadır. Tabiatta bulunan katı, sıvı ve gaz maddelerinin karıştırılmaları, daima araştırma konusu olmuş ve standart haline getirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1. Karıştırıcı Tank

## 2.2 Maddelerin Karıştırılması

### 2.2.1 Gazların Sıvılarla Karıştırılması

Bu tür karışımlar genel olarak, gazı türbin altına enjekte ederek yapılır. Gazın bir pervane altına gönderilmesi bir fayda sağlamaz. Çünkü pervaneden doğan akım eksenal ve aşağıya doğrudur.

Tamamiyle bu yönde olmamakla beraber onunla ilgili bulunan eski bir metod ise şu şekilde uygulanır. Gazın tank içerisinde bulunan sıvıya delikli bir boru yolu ile gönderilmesi şeklindedir. Bu metod sadece yetersiz olmakla kalmayıp hem karışma için bir zamana ihtiyaç gösterir, hemde yukarıdaki metotlardan daha fazla kuvveti gerektirir. Bir başka yöntem ise kap altundan, gazın kap içindeki sıvıya enjekte edilmesi ile gerçekleştirilir.

Karıştırıcılarla akışkanların gazlanması kullanım alanları giderek artmaktadır. Bunlar:

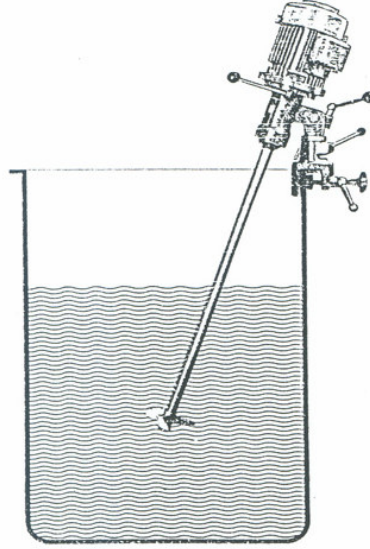
- Kimyasal Endüstride: Katalizörlü veya katalizörsüz akışkan ve gazlar arasındaki reaksiyonlar, çözülmüş maddelerin çökertilmesi, akışkanların gazlanması
- Su Hazırlama Tekniğinde: Klor veya ozonlamayla dezenfekte, demir ve manganın çökertilmesi, gaz ve yağ giderimi
- Kullanılmış Su Tekniğinde: Belediye ve sanayilere ait pis suların temizlenmesi
- Biyoloji Tekniğinde: Bazı antibiotiklerin ekşime prosesleri

### 2.2.2 Sıvıların Sıvılarla Karıştırılması

Bu tür sıvıların karıştırılmasında aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır.

- Sürekli operasyonun miktarı
- Doğal metotlar: Karıştırılabilir sıvılar, eriyiklerin hazırlığı, karıştırılamaz sıvıların dağılımı.
- Gerekli karışım sıcaklık derecesi
- Sıvıların fiziksel özellikleri ( özellikle viskoziteleri )
- Diğer işlemler ile birleştirilmiş karışım; Reaksiyon, ısı transferi.

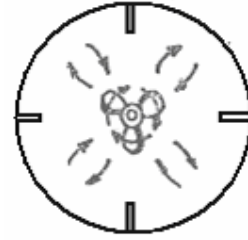
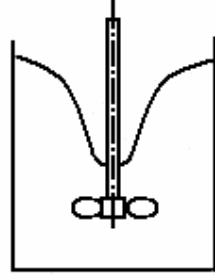
Bu faktörler dikkate alınarak gerekli karışım sağlanabilir. Düşük viskoziteli akışkanların devamlı karışımları için mikserler kullanılabilir. Şekil 2.2 de böyle bir mikser görülmektedir.



**Şekil 2.2.** Portatif mikser

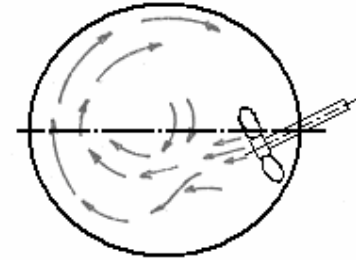
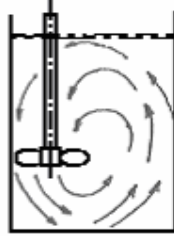
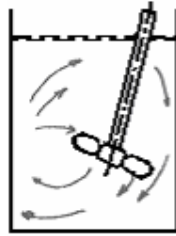
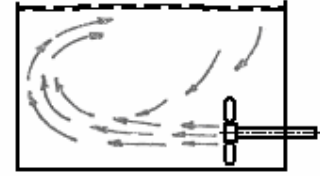
Kullanım alanı: Kimya sanayilerinde, boya ve vernik endüstrisinde, madeni yağ endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır.

Sıvıların karışımını sağlayan cihazlar, çarkları, deniz taşıt araçlarına ait pervaneleri ve türbinleri kapsayacak şekilde standartlaştırılabilir. Basit çarklar son zamanlarda oldukça az ve genel olarak sadece ufak işlerde kullanılmaktadır. Pervaneler ise çok daha fazla önem taşımaktadır. Pervanelerin yerleştirilmeleri ile ilgili farklı metotlar Şekil 2.3 te gösterilmektedir. Tank merkezine dikey olarak yerleştirilmiş bir pervaneden ve tank kenarına akım kırıcı konulmamış bir karıştırma tankından oluşan düzenek iyi sonuç vermez. Çünkü hemen hemen sadece bir dönme hareketi verir ve pervaneye doğru yönelen bir girdap göbeği meydana getirir. Bu durumda pervane çevresindeki karışıma hava girmesine ve pervane çalışmasının yavaşlamasına sebep olur. Daha iyi sonuç veren bir düzen tank kenarlarına akım kırıcılar koymaktır. Genel olarak bunların sayısı dört olup genişlikleri tank çapının 1/10 ila 1/12 'si kadardır.



Mil tank merkezine  
dik ve akım kırıcı yok

Mil tank merkezine  
dik ve akım kırıcı var



Şekil 2.3. Pervaneli karıştırıcı tiplerini

Sıvıların karıştırılmaları halinde, bu akım kırıcılar tank duvarına yapışmışlardır. Katıların sıvılar içerisinde süspansiyon duruma getirilmeleri istenilmekte ise, tank duvarı ile akım kırıcı arasında yaklaşık olarak 2-3 cm'lik bir açıklık bırakılacaktır. Mıle yukarıdan bakıldığında dönme, saat yönünün aksi yönündedir, hem düşeyle meydana getirilen açı hemde merkezden uzaklık büyük önem taşır. Çok büyük tanklarda pervanenin yandan girişi çoğunlukla standart bir uygulama çeşidi olmuştur. Bunlar daima tank yarı çapı ile bir açı yapacak şekilde yerleştirilirler ve bu açı büyük önem taşır.

Karışım, karıştırıcı vasıtasıyla oluşan dolaşık girdapların hareketi ile mikroskobik ölçekte sıvının hacimsel akışı ile meydana gelir. Hacim akışı katıların süspansiyonu ve karıştırılabilir sıvıların karıştırılmaları için, üstün karıştırma olaylarındandır. Türbülanslı karışımın, kütle transferi ve ısı transferinde önemli bir yeri vardır, proses kontrol imkanı sağlar.

Düz kanatlı türbinler esasen radyal akışlı aletlerdir. Pervaneli ve değişik çarklı türbinler esasen aksel akışlı aletlerdir. Bunlar karıştırıcı çarkından ayrılan akışkanın baskın doğrultusuna göre isimlendirilirler. Farklı özelliklere sahip sıvıların karıştırılmalarında kullanılmakta olan çark çeşitlerine, karıştırıcı ekipmanlar kısmında değinilecektir.

### **2.2.3 Viskoz Maddelerin Karıştırılması**

Bu durum için pek az sistematik bilgi vermek mümkündür. Viskozitesi çok yüksek maddeler için yoğurma makinasının kullanılması oldukça yaygındır. Yaklaşık olarak yarı silindirik bir tabanı olan üstü açık bir teknenin meydana gelmiştir. Bu teknenin içerisinde kendilerine Z şekli verilmiş iki yatay bıçak dönmektedir. Bu yapı şekli genellikle sigma kanat olarak adlandırılır. Bu bıçaklar, bir bıçak tarafından döndürülen madde hemen onu izleyen bıçak tarafından alınıp döndürülebilecek şekilde tasarlanmış ve yerleştirilmişlerdir. Bu cihazlar büyük boyutlarda yapılmış olup çok fazla güç kullanacak şekilde projelendirilmişlerdir.

Isıtmak veya soğutmak amacıyla bir ceket sarılmış olabildikleri gibi uçucu karakterdeki çözücülerin kaybolmalarını önlemek amacı ile tamamıyla kapalı olarak da yapılabilirler. Bu cihazlar her zaman süresiz olarak çalışırlar ve bu sebeple cihazların boşaltılması makine gücü ile çalışan diğer cihazlar yardımı ile yapılır.

### **2.2.4 Sıvıların Katılarla Karıştırılması**

Sıvının birim hacmindeki, katı miktarının çok fazla olmadığı durumlarda, ayrıca katının büyük tanecikli olmadığı sıvının ise çok fazla viskoz olmadığı durumlarda düz kanatlı türbin kullanarak katıların sıvılar içerisinde süspansiyon haline getirmek mümkün olur. Eğer bunun harici bir durum mevcut ise operasyon yoğurma veya bir katının diğer bir katı ile karıştırılması şeklini alır.



### 2.2.5 Katıların Katularla veya Az Miktarda Sıvılarla Karıştırılması

Bu hususta sistematik bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Sadece çok değişik tipte cihaz kullanılmakla kalmayıp aynı amaçla kullanılan cihazların tipleri, birbirlerinden oldukça farklı endüstri kollarında da ayrıdır.

Çok ufak tanecikli kuru tozların karıştırılması halinde maddenin bir yerden diğer bir yere taşınması esnasında vidalı konveyörlerin kullanılmaları iyi bir karışma meydana gelmesini sağlar. Bu durumda yeniden bir cihaza ve yeniden bir güce ihtiyaç duyulmaz. Süreksiz çalışmalar için kuru karıştırıcı pek sık kullanılır. Bu yarı silindirik bir tekneden meydana gelmiş olup toz sızmasını önlemek amacı ile üstü kapatılmıştır. İçerisinde iki veya daha fazla sayıda şeritli spiraller vardır. Spiralin biri sağa, diğeri ise sola döner ve böylece madde tekne içerisinde ileriye ve geriye doğru hareket eder.

## 2.3 Karıştırıcı Ekipmanları

### 2.3.1 Karıştırıcı Çarklar

Karıştırıcı çarklar, türbin, pervane, levha, çapa, helisel şerit şeklinde çarklar olarak çeşitlendirilebilirler. Bunlardan türbin tipindeki çarklar genellikle radyal akış oluştururlar. Diğer tiplere göre karışımda daha iyi ısı transferi gerçekleştirirler. Düşük viskoziteli maddelerin karıştırılmasında, katıların sıvılar ile çözündürülmesinde kullanılırlar.

Pervane ve levha tipi karıştırıcı çarklar ise aksel akış sağlarlar. Bunlarda karıştırma, çözünme, sirkülasyon oluşturmak amacıyla kullanılırlar. Düşük devirlerde çalışırlar.

Helisel şekilli karıştırıcı çarklar ise yine yüksek viskoziteli sıvıların ve hamur kıvamındaki maddelerin karıştırılmalarında kullanılır. Düşük devirlerde çalışırlar.

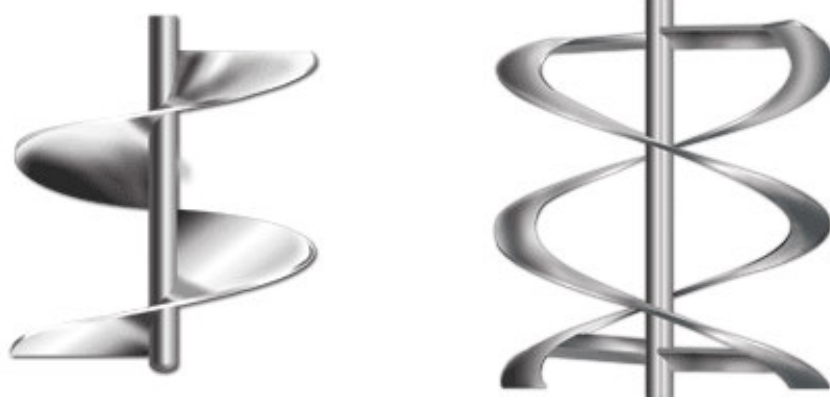
Yüksek viskoziteli maddelerin karıştırılmalarında, çok değişik şekilde kanatlar dizayn edilebilir.



Şekil 2.4. Eğik kanatlı türbin



Şekil 2.5. Pervane tipi türbin



**Şekil 2.6.** Düşük hız çarkları

### 2.3.2 Tanklar

Karıştırıcı ekipmanlardan tanklar, karışımın daha uniform ve homojen olması bakımından genellikle silindirik olarak seçilirler. Karışımı yapılan maddenin özelliğine göre de kübik, konik ve yarı silindirik olanları da vardır.

Silindirik tanklar genellikle gömleklili olarak imal edilirler. Böylece karışımı düzenleyecek ısıtma-soğutma olayı gömlek içerisine sıcak veya soğuk akışkan göndermekle sağlanmış olur.

## 2.4 Karıştırıcıların Sınıflandırılması

Karıştırıcılar, çalışma şekline göre sürekli ve kesikli, oluşturdukları akım şekillerine göre aksiyal, radyal ve teğet, çalıştıkları mil sayılarına göre tek milli ve çok milli karıştırıcılar diye sınıflandırılırlar.

### 2.4.1 Sürekli Karıştırıcılar

Sürekli karıştırıcılar, ortalama bekleme zamanına ve enerji şekline göre farklıdır. Bekleme zamanları işlem şartlarına göre tespit edilir. Taşınan enerjinin çeşidi Reynolds sayısına ve akışkanın viskozitesine bağlıdır.

Bu karıştırıcılar genellikle küçük Reynolds sayılarında karıştırmaya göre projelendirildiklerinden türbülanslı akım dışında homojenleştirmeye uygundur. Küçük bekleme zamanları için püskürtmeli karıştırıcılar ve sabit donanımlı borular, büyük bekleme zamanları için sürekli çalışan karıştırma makineleri, karıştırıcı kolonlar ve püskürtmeli sistemli kaplar tercih edilir.

#### 2.4.2 Hızlı Püskürtmeli Karıştırıcılar

Bu tip karıştırıcılar, basit şekilleri, az yer kaplamaları, kapların ve karıştırma düzenlerinin hareketinde vakit kazandırması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca sızdırmazlık problemi de olmaz.

$Re = 6000$ 'de karıştırıcı uzunluğu minimum seviyededir.

#### 2.4.3 Yavaş Püskürtmeli Karıştırıcılar

Yavaş püskürtmeli karıştırıcılar, hücreler halinde düzenlenmiş karıştırıcıların çok kuvvetli enerji taşımasıyla, hızlı püskürtmeli karıştırıcılardan daha kısa bekleme zamanına erişilir.

Karışım sayısı, türbülansın artmasıyla Reynolds sayısına bağlı olarak düşmekte ve bir asimtot ile sifıra yaklaşmaktadır. Bu durumda karışım hücrelerinde hissedilir ölçüde bir karışım sağlanır.

#### 2.4.4 Akım Şekillerine Göre Karıştırıcılar

Karıştırıcılar, üç boyutlu akım oluştururlar. Karıştırıcının zorlandığı akım yönüne göre eksenel, radyal veya teğet karıştırıcılar diye sınıflandırılırlar.

##### 2.4.4.1 Eksenel Karıştırıcılar

Eksenel karıştırıcılar, akımı eksenel yönde zorlarlar. Düşük viskoziteli akışkanların karıştırılmasında kullanılırlar. Pervaneli ve helezon karıştırıcılar bu tip karıştırıcılardandır. Akım yönü pervanelerin dönüş yönüne göre tespit edilir. Küçük pervaneler 1750 d/d'ya, büyükleri ise 800 d/d'ya kadar bir hızla çalışabilirler. Hızlı dönmeye dolay kap içinde girdaplar meydana gelir. Girdap akım kırıcı ile önlenir. Akım kırıcılar kabın tabanından akış yüzeyinin üzerine kadar uzanır.

##### 2.4.4.2 Radyal Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılar, akımı radyal yönde iletirler. Türbin karıştırıcı, en çok kullanılan radyal karıştırıcılardır. Girdap oluşumu söz konusudur. Girdaba engel olmak için genelde 4 akım kırıcı göz önüne alınır. Türbin karıştırıcılar viskozitesi  $10^4$  kg/ms'ye kadar olan akışkanların karıştırılmalarında kullanılır. Akışkan, karıştırıcıyı radyal yönde terk eder. Akışkan kap duvarları üstünde iki kısmi akıma ayrılır. Bu harekette dönmeler üst üste bindiği için birçok karışmış üç boyutlu akımlar radyal karıştırıcıyı zorlar.

##### 2.4.4.3 Teğet Karıştırıcılar

Kap içinde akımı teğet yönde ileten karıştırıcılardır. Çapalı karıştırıcılar bu tip karıştırıcılardır.

Eğer kap duvarları yakınlarında büyük akışkan hareketleri oluşması gerekiyorsa özellikle çapalı karıştırıcılar yerleştirilir. Bu tür hareket, kap duvarları ve akışkan arasındaki ısı taşınımında arzu edilir.

Teğet karıştırıcı olarak yaprak karıştırıcı ve çarklı karıştırıcılar da kullanılır. Bunlar dikey bir mil üzerinde dönen düz çarklardan oluşmuşlardır. 2 ve 4 bıçaklı çarklar çok yaygındır. Bıçaklar bazen eğik bazen de dikey olabilirler. Bunların oluşturdukları sıvı akımları önce kap duvarlarına doğru hareket etmekte, daha sonra aşağıya veya yukarıya doğru yön almaktadırlar.

#### 2.4.5 Mil Sayılarına Göre Karıştırıcılar

Dönen mekanik karıştırıcılar, karıştırıcı devir sayısına göre yavaş ve hızlı hareket eden karıştırıcılar, karıştırıcı milleri sayısına göre tek milli ve çok milli olarak sınıflandırılırlar.

**Tablo 2.1.** Karıştırıcı tiplerinin mil sayılarına göre sınıflandırılması

<b>Yavaş hareket eden karıştırıcılar</b>		<b>Hızlı hareket eden karıştırıcılar</b>
<b>Tek milli</b>	<b>Çok Milli</b>	<b>Tek milli</b>
Yaprak karıştırıcı	Planet karıştırıcı	Pervaneli karıştırıcı
Kirişli karıştırıcı	Fırdöndü karıştırıcı	Türbin karıştırıcı
Delik kirişli karıştırıcı		Dişli karıştırıcı
Çapraz kirişli karıştırıcı		İmpeller karıştırıcı
Çapalı karıştırıcı		
Helezon karıştırıcı		
Çarklı karıştırıcı		
Izgaralı karıştırıcı		

## **BÖLÜM III**

### **YÖNTEM ve TEKNİKLER**

Uygulamalı akışkanlar dinamiği, çeşitli denklemlerin geçerliliğini göstermekte bu denklemlerin ve sınırlarının tanımlanmasında önemli bir rol oynadı. Örneğin, deneysel donatımın etkili bir parçası olan rüzgâr tüneli, gerçek akışkan akışlarının simülasyonunu yapmayı sağladı ve böylece geleneksel ölçüm metotlarına bir alternatif sağladı. Ayrıca, büyük uçakların aerodinamik tasarımı gibi ekonomik olarak deneye elverişsiz donanımların tasarımında yeni ufuklar açtı. Bu da sayısal çalışmalara olan ilginin artmasına neden oldu.

Sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) ayrıntılı akış davranışlarının incelenmesi ve geniş kapsamlı mühendislik uygulamaları için gerçeğe yakın sonuçlar verebilme konusunda kendini ispatlamıştır. CFD, yeni tasarımların çalışmalarında, ürün geliştirme programlarında, sistem kurma ve sistemlerdeki sorunları gidermek için kullanılır. Uzay çalışmaları için özgün tasarımların geliştirilmesi için akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. CFD, karmaşık akış fiziğine sahip kompresör, pompa ve jet motorları gibi 3-boyutlu akışların gerçekleştiği elemanların tasarlanmasında da kullanılabilir. CFD, bazı mühendislik çalışmalarının gerektirdiği uzun süreleri de kısaltmıştır. Hatta CFD, karıştırıcı tank içerisindeki akış yapısına yeni yaklaşımların doğması yolunda aşamalar kaydedilmesini sağlamıştır. CFD çalışma prensibi, sıvı akışkanlar için tüm korunum denklemlerinin bilgisayar yardımıyla çözülmesi, akış modellerinin benzerinin yapılmasından ibarettir.

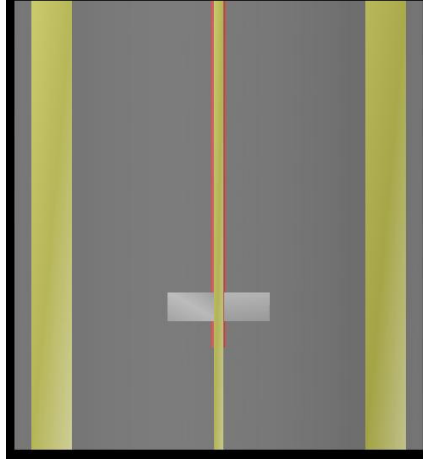
### **3.1 Karıştırıcı Tank Geometrisi**

#### **3.1.1 Nümerik Çalışmada Kullanılan Karıştırıcı Tank Yapısı**

Karıştırıcı tankta kullanılan kanat yapısı Tablo3.1'deki ölçüler esas alınarak modellenmiştir. Düz kanatlı ve kanat sayısı dört olan karıştırıcı tanka ait nümerik model Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar incelenmiş ve kanat yapıları değiştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan kanatlar, aynı ölçülere sahip ancak kanat yapısı 45° eğimli, geriye dönük ve radyal kanattan oluşmaktadır. Tank ve kanat yapısı ile ilgili ayrıntılı geometrik veriler Tablo 3.1.'de sunulmaktadır.

Karıştırıcı tankta meydana gelen girdabı engellemek için tank kenarlarına akım kırıcı denilen engeller yerleştirilmektedir. Çok geniş kaplar hariç, girdaba engel olmak için 4 akım kırıcı yeterlidir. Türbinler için kullanılacak engellerin genişliği kap çapının 1/12'sinden geniş olmamalıdır, pervaneler için bu değer kap çapının 1/18'inden fazla olmamalıdır.

Girdaba engel olmak için diğer metodlar ise; küçük kaplarda karıştırıcı, kap merkezinin dışında bir yere yerleştirilerek girdabın oluşması önlenir. Büyük kaplarda karıştırıcı kabın yan tarafına yerleştirilir. Mil yatay durumda, fakat yarıçapla bir açı yapacak şekildedir. Bu şekilde girdabın oluşmaması sağlanır.



Şekil 3.1. Sayısal model

**Tablo 3.1.** Karıştırıcı tankın ana boyutları ve çalışma şartları.

Tank çapı	1m
Kanat çapı	0.35m
Tank yüksekliği	1.1m
Kanat sayısı	4
Kanat yüksekliği	0.14m
Devir sayısı	300rpm
Şaft çapı	0.04m

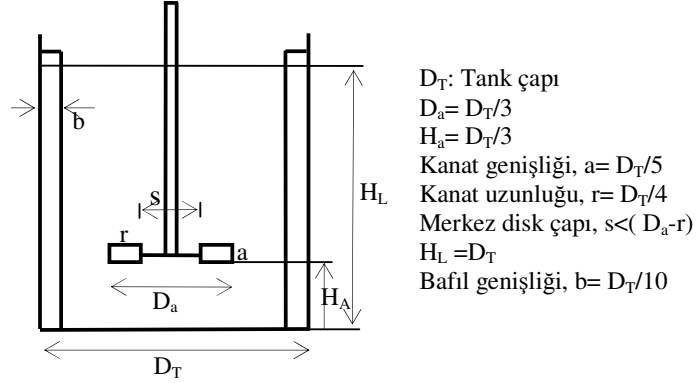
### 3.1.2 Kanat yapısı

Karıştırıcı tankta kullanılan kanat yapısı 0,35 m çapındadır. Çark, 4 kanada sahip olup, düz, geriye dönük ve 45° eğimli ve radyal olarak modellenmiştir. Çark geometrisi standartlara uygun olarak modellenmiş ve en uygun ağ yapısı tanımlanmıştır. Bu çalışmada dönme hızı 300 rpm olarak alınmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak düz kanat modeli tasarlanmış olup hız dağılımları, türbülans kinetik enerji dağılımları ve kanat üzerinde oluşan basınç dağılımları elde edilmiştir. Ancak tez içerisinde hız dağılımları ve türbülans kinetik enerji dağılımları olarak verilmiştir. Aynı kesit bölgesinde 45°eğimli, geriye dönük ve radyal kanat modeli için elde edilen sonuçlarla, düz kanattan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### 3.1.3 Standart Tank Boyutlandırması

Karıştırma tanklarının tasarımına yardımcı olmak amacıyla, en çok kullanılan ve basit olan düz kanatlı karıştırıcı standart bir tankın boyutlandırılması, Şekil 3.2' de gösterilen simgelere dikkat ederek aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.2. Standart Tank Boyutlandırması

### 3.1.4 Karıştırma İşlemi İçin Boyutsal Analiz

Karıştırma basit bir işlem olmasına rağmen tankta oluşan girdapların çeşitliliği ve bunların tam formülasyonu zor olduğundan, karıştırma için gerekli olan gücün hesabında yardımcı olmak üzere, boyutsal analiz yapmak yararlıdır. Ayrıca, laboratuarda yapılan deney sonuçlarının boyut büyültmede yani endüstriyel boyuta uygulanmasında da yardımcı olmak üzere, karıştırma işlemini karakterize eden boyutsuz sayıların bilinmesinde yarar vardır.

Şekil 3.2' de gösterilen bir karıştırma işleminde, karıştırıcıdan sıvıya aktarılan güç, aşağıdaki değişkenlerin bir fonksiyonudur.

$$P = f(N, D_a, \mu, \rho, g) \quad (3.1)$$

Burada, N karıştırıcı şaftının dönme hızıdır. Denklem (3.1)'deki değişkenlerin boyutları aşağıda gösterilmiştir.

<u>Değişken</u>	<u>Boyut</u>
$Pg_c$	$\frac{F \times L}{t} \frac{M \times L}{F \times t^2} = \frac{M \times L^2}{t^3}$
N	$\frac{1}{t}$
$D_a$	L
$\mu$	$\frac{M}{L \times t}$
$\rho$	$\frac{M}{L^3}$
g	$\frac{L}{t^2}$

Bu ifadede n=5 tane bağımsız değişken ve k=3 tane bağımsız boyut (M, L, t) vardır. Buckingham  $\pi$  teorisine göre, boyutsal analiz ile bu ifadeyi m=n+1-k=3 boyutsal sayı cinsinden yazabilmemiz gerekir. Denklem (3.1)'i aşağıdaki gibi basit denklem olarak yazıp,

$$Pg_c = CN^a D_a^b \mu^c \rho^d g^e \quad (3.2)$$

boyutlar cinsinden ifade edersek,

$$[Pg_c] = C [N]^a [D_a]^b [\mu]^c [\rho]^d [g]^e \quad (3.3)$$

veya

$$\frac{M \times L^2}{t^3} = C \left[ \frac{1}{t} \right]^a [L]^b \left[ \frac{M}{L \times t} \right]^c \left[ \frac{M}{L^3} \right]^d \left[ \frac{L}{t^2} \right]^e \quad (3.4)$$

elde edilir. Bağımsız boyutlar için Denklem (3.4)'ün sağ ve sol tarafındaki üslerin toplamı yazılıp;

$$M \text{ boyutu için: } 1=c+d$$

$$L \text{ boyutu için: } 2=b-c-3d+e$$

$$T \text{ boyutu için: } -3=-a-c-2e$$

bunların ortak çözümünden de

$$a=3-c-2e$$

$$b=5-2c-e$$

$$d=1-c$$

elde edilir. Böylece Denklem (3.2) bilinmeyen c ve e cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.



$$Pg_c = CN^{(3-c-2e)} D_a^{(5-2c-e)} \mu^c \rho^{(1-c)} g^e \quad (3.2)$$

Ortak üstlerin gruplandırılmasıyla da,

$$\left( \frac{Pg_c}{N^3 D_a^5 \rho} \right) = C \left( \frac{\mu}{N D_a^2 \rho} \right)^c \left( \frac{g}{N^2 D_a} \right)^e \quad (3.5)$$

elde edilir. Karıştırıcı kanatlarının ucundaki hızın  $v=D_a N$  olduğuna dikkat edilerek, bu denklemdeki boyutsuz sayılar aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\text{Güç Sayısı} \quad : \quad P_o = \frac{Pg_c}{\rho N^3 D_a^5} \quad (3.6)$$

$$\text{Reynolds Sayısı} \quad : \quad Re = \frac{\rho N D_a^2}{\mu} \equiv \frac{D_a v \rho}{\mu} \quad (3.7)$$

$$\text{Froude Sayısı} \quad : \quad Fr = \frac{D_a N^2}{g} \equiv \frac{v^2}{g D_a} \quad (3.8)$$

Bu boyutsuz sayılar cinsinden Denklem (2.5) aşağıdaki hali alır.

$$P_o = C Re^{-c} Fr^{-e} \quad (3.9)$$

Şayet sıvı-sıvı ekstraksiyonu işleminde olduğu gibi, birbiri içinde çözünmeyen fiziksel olarak ayrı fazlar varsa, böyle karışımların karıştırılmasında ilave bir boyutsuz sayı daha dikkate almak gerekir; buda Weber sayısıdır.

$$\text{Weber Sayısı: } We = \frac{\rho N^2 D_a^3}{\sigma} \quad (3.10)$$

Burada  $\sigma$  yüzey gerilimidir. Böylece bu tür işlemlerde Denklem (3.9)' un sağ tarafına We sayısı da kendi üssüyle beraber eklenir.

Ayrıca, iki boyutsuz sayının oranı da boyutsuz olacağından,

$$\text{Güç fonksiyonu: } \phi = \frac{P_o}{Fr^{-e}} \quad (3.11)$$

tanımlanıp, Denklem (3.9)'u aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür;

$$\phi = C Re^{-c} \quad (3.12)$$

Bafıl kullanıldığında: Bafıllar girdap oluşumunu önlemek için kullanıldığından ve girdap da yer çekimi ile ilgili bir olay olduğundan, Fr sayısına gerek yoktur. Böylece ( $-e=0$ ) alınabilir.

$$\phi = P_o = C Re^{-c} \quad (3.13)$$

yazılabilir.

### 3.1.5 Karıştırıcı Tanklar İçin Boyut Büyütülmesi

Laboratuarda küçük boyutlu bir tank kullanılarak denenen basit bir karıştırma işleminin endüstriyel boyuta uygulanması, tasarımda boyut büyütme esnasında karşılaşılan zorluk bakımından ilginçtir. İki tanktaki karıştırmanın ve akım düzenlerinin aynı olması için boyutsal analizden elde edilen sonuç kullanılabilir. Denklem (3.9)'a göre,

$$P_o = f \{Re, Fr\} \quad (3.14)$$

olduğundan,  $P_o$ ,  $Re$ ,  $Fr$  sayılarının tanımlarını kullanarak ( Denklem 3.6-8), boyut büyültmede aşağıdaki eşitliklerin sağlanması gerektiği ifade edilebilir.

$$\frac{D_{T1}}{D_{a1}} = \frac{D_{T2}}{D_{a2}} \quad (3.15)$$

$$\frac{H_{L1}}{D_{a1}} = \frac{H_{L2}}{D_{a2}} \quad (3.16)$$

$$Re_1 = Re_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{\rho_1 N_1 D_{a1}^2}{\mu_1} = \frac{\rho_2 N_2 D_{a2}^2}{\mu_2} \quad (3.17)$$

$$Fr_1 = Fr_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{D_{a1} N_1^2}{g} = \frac{D_{a2} N_2^2}{g} \quad (3.18)$$

Denklem (3.18)'den boyut büyültmedeki ilk koşul hemen yazılabilir;

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{D_{a1}}{D_{a2}}} \quad (3.19)$$

Denklem (3.17)'den,

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_{a1}^2 \rho_1 \mu_2}{D_{a2}^2 \rho_2 \mu_1} \quad (3.20)$$

elde edilir. Denklem (3.19) ve (3.20)'nin sağ tarafları birbirlerine eşitlenirse,

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \left( \frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)^{3/2} \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (3.21)$$

elde edilir.

## 3.2 Sonlu Hacimler Yöntemi

### 3.2.1 Denklem Formülasyonu

Hem ayrıncı hem de birleşik çözücülerde lineer olmayan akış denklemleri, bütün hesaplanabilir hücrelerde bağımlı parametrelerden oluşan denklem gruplarına dönüştürülmesi için lineer hale getirilir. Bu işlem FLUENT'te formülasyon olarak isimlendirilir ve iki şekli vardır: Implicit ve Explicit. Bu çalışmada Implicit formülasyonu kullanılmıştır. Bu formülasyona göre herhangi bir değişkene göre, her bir hücredeki bilinmeyen değer, sadece var olan değerlerin yer aldığı bir bağıntı ile

hesaplanabilir. Bu yüzden, her bilinmeyen istemde birden çok denklem içinde yer alır ve bilinmeyen değerleri bulmak için bu denklemler eşzamanlı bir şekilde çözülmektedirler.

FLUENT iki tane sayısal çözücü kullanır.

- Segregated (ayrık) çözücü
- Coupled (birleşik) çözücü

Her iki metot kullanılarak, kütle, enerji, momentum ve türbülans gibi skaler büyüklükleri ifade eden integral denklemler çözülür. Her iki durumda da kontrol hacmine dayalı bir teknik kullanılır. Bu teknikler aşağıdaki adımları içerir.

- Çalışma alanının kontrol hacimlerine ayrılması,
- Her bir kontrol hacmi için yukarıdaki denklemlerin integrasyonu yapılarak, ayrık bağımlı bilinmeyen değişkenler için (hız, basınç, sıcaklık ve korunumlu skalerler) cebirsel denklemlerin oluşturulması,
- Ayrıklaştırılmış olan eşitliklerin doğrusallaştırılması sonucu elde edilen doğrusal lineer denklemlerin çözümüne bağlı olarak bağımlı değişkenlerin güncellenmesi.

Bu iki çözücünün ayrıklaştırma işlemi benzerdir. Fakat ayrıklaştırılmış denklemlerin doğrusallaştırılmaları ve elde edilen doğrusal denklemlerin çözüm yöntemi farklıdır.

Bu çalışmada kullanılan sayısal işlem ise birleşik çözüm metodudur.

### 3.2.1.1 Birleşik Çözücü

Birleşik çözücü, kütle, enerji, momentum ve transport denklemlerini aynı anda çözer. Diğer ek skalerler için geliştirilmiş olan denklemler ise sırayla çözülür (yani korunum ve taşınım denklemleri birbirinden bağımsız olarak çözüm yapılır). Bunun sebebi korunum denklemlerinin lineer olmayan denklem takımları olmasıdır. Her bir iterasyon aşağıdaki adımları içerir.

1. Akış özellikleri, son çözülen denklemden elde edilen değerlere göre güncellenir (çözüm henüz başladığında akış özellikleri başlangıç sınır şartlarına göre belirlenir),
2. Kütle, enerji, momentum ve problem için uygunsa enerji ve transport denklemleri çözülür,
3. Eğer gerekiyorsa radyasyon, türbülans gibi skalerler için denklemler çözülür (bir önceki adımda güncellenen değişkenler kullanılarak),
4. Eğer akış alanı içerisinde farklı fazlar mevcut ise, yukarıdaki korunum ve transport denklemlerine kaynak terimleri ilave edilir,

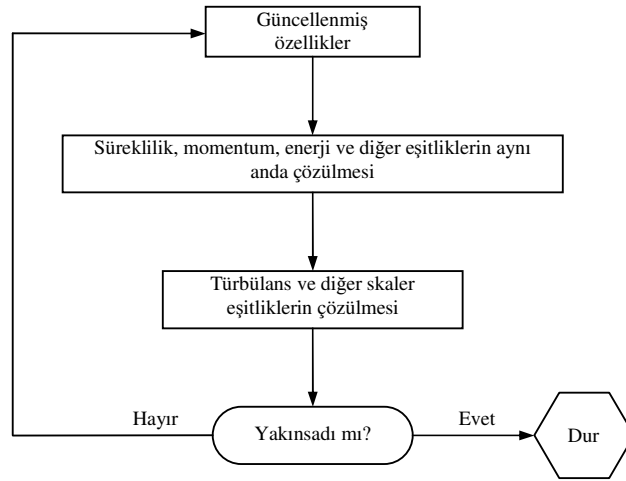
5. Denklem takımlarının yakınsayıp yakınsamadığının kontrolü yapılır.

### 3.2.1.2 Doğrusallaştırma

Implicit ve Explicit çözüm metodunun her ikisinde de lineer olmayan denklemler, her bir hücredeki bağımlı değişkenler, denklem sistemlerinin elde edilebilmesi için doğrusallaştırılır. Akış özelliklerinin güncelleştirilmesi ile sonuçta elde edilen lineer denklem takımı çözülür.

Bu çalışmada, Implicit metot kullanılmıştır.

Implicit metotta, komşu hücrelerin bilinen ve bilinmeyen değerlerine bağlı olarak bağıntılar oluşturulur. Verilen bir değişken için bu bağıntılar kullanılarak her bir hücredeki bilinmeyen değerler hesaplanır. Bundan dolayı her bir bilinmeyen birden fazla denklem takımında görülebilir. Bu sebeple, bilinmeyen değerler elde edilirken bu eşitlikler birlikte çözülmelidir. Birleşik çözümün kullandığı çözüm metodunun genel yapısı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Birleşik çözüm metodunun genel yapısı.

Her bir eşitlik, bütün bağımlı parametrelere bağlı olarak doğrusallaştırılır. Bu da her bir hücre için N adet lineer denklem takımı elde edilmesini sağlar. Buradaki N, başlangıçta çözümü istenilen bilinmeyen sayısıdır. Çünkü her bir hücrede N adet denklem mevcuttur. Her bir hücredeki N tane bağımlı değişken için elde edilen denklem takımı, Gauss-Seidel lineer eşitlik çözücüsü ile birlikte Cebirsel Çoklu Izgara (AMG) metodu kullanılarak çözülür.

### 3.2.2 Ayrıksallaştırma

FLUENT, akış denklemlerini, sayısal olarak çözülecek cebirsel denklemlere çevirmek için kontrol hacmi esasına dayalı bir teknik kullanır. Bu teknik akış denklemlerinin her bir kontrol hacmi için integre edilmesini ve kontrol hacmi için her bir niceliğin korunumlu olduğu ayrık denklemlerin elde edilmesini içerir.

Denklem ayrıksallaştırması  $\phi$  skaleri için kararlı konum transport eşitliği için kolayca gösterilebilir. Bu Şekil 3.2'de gösterilen sıradan bir  $V$  kontrol hacmi için aşağıdaki yazılan integral formundaki eşitlikle gösterilir. Bu denklem akışkanlar mekaniğinde transport denklemi olarak bilinir ve süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini karakterize eder. Eşitlik (3.1),  $\phi$  değeri 1 olursa süreklilik denklemine, hız olursa momentum denklemine ve sıcaklık olursa enerji denklemine dönüşür. Bu denklemlerin integrasyonu alınmış diferansiyel biçimi Navier-Stokes denklemleri olarak bilinir ve yaygın olarak kullanımı (3.2), (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir.

$$\oint \rho \cdot \phi \cdot \vec{v} \cdot d\vec{A} = \oint \Gamma_{\phi} \cdot \nabla \phi \cdot d\vec{A} + \int_V S_{\phi} \cdot dV \quad (3.1)$$

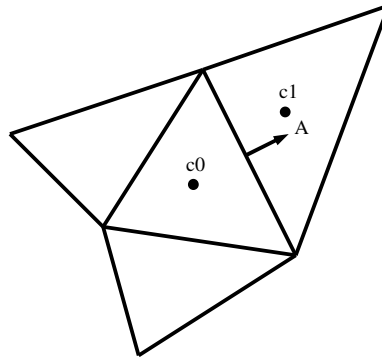
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \vec{v} (\nabla \cdot \rho \vec{v}) + \rho \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} = -\nabla p + \nabla \cdot \tau_{ij} + \rho \vec{f} \quad (3.3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot E \vec{v} = \rho \vec{f} \cdot \vec{v} + \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla \cdot \vec{q} - \nabla \cdot (p \vec{v}) + \nabla \cdot (\tau_{ij} \cdot \vec{v}) \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde,  $\rho$  yoğunluk,  $\vec{v}$  hız vektörü ( $\vec{v} = u\vec{i} + v\vec{j} + z\vec{k}$ ),  $\vec{A}$  yüzey alan vektörü,  $\Gamma_{\phi}$   $\phi$  için yayılma katsayısı,  $\nabla \phi$   $\phi$  için gradyan ( $\nabla \phi = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)\vec{i} + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)\vec{j} + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)\vec{k}$ ),  $S_{\phi}$  birim hacim için  $\phi$ 'nin kaynağı,  $V$  kontrol hacmi,  $\tau_{ij}$  kayma gerilmesi,  $\vec{f}$  yerçekimi ivmesi vektörü,  $E$  enerji (iç enerji+kinetik enerji+potansiyel enerji),  $Q$  ısı,  $\vec{q}$  ısı akısı,  $p$  basınçtır.

Eşitlik (3.1) her bir kontrol hacmine uygulanır. Şekil 3.4'de verilen iki boyutlu üçgensel hücre, böyle bir kontrol hacmi için örnek olarak gösterilebilir.



**Şekil 3.4.** Akış denkleminin düzenlenmesi için örnek üçgensel hücre.

Eşitlik (3.1)'in bir kontrol hacmi için ayrıştılandırılması ile aşağıdaki (3.5) eşitliği elde edilir.

$$\sum_f^{N_{\text{face}}} \rho_f \bar{v}_f \phi_f \cdot \bar{A}_f = \sum_f^{N_{\text{face}}} \Gamma_\phi (\nabla\phi)_n \cdot A_f + S_\phi V \quad (3.5)$$

Burada,  $N_{\text{face}}$  kontrol hacmini oluşturan yüzey sayısı,  $\phi_f$  f yüzeyi tarafından iletilen  $\phi$  değeri,  $\rho_f \cdot \bar{v}_f \cdot \bar{A}_f$  yüzey boyunca kütle akışı,  $\bar{A}_f$  f yüzeyinin alanı ( $|A| = |A_x \bar{i} + A_y \bar{j} + A_z \bar{k}|$ ),  $(\nabla\phi)_n$  f yüzeyine dik  $\nabla\phi$  büyüklüğüdür.

FLUENT programı tarafından çözülen denklemler de yukarıdaki denklem gibi aynı formu alırlar ve herhangi bir problem için oluşturulmuş 2 veya 3 boyutlu yapısız ağlara hazırdırlar. FLUENT Şekil 3.2'de gösterilen c0 ve c1 ile merkezlenmiş hücreler için  $\phi$  değerlerini saklar ve bütün ağ için daha sonra bahsedilecek olan iteratif çözücülerle problemi çözer.

(3.5) denklemindeki  $\phi_f$  yüzey değerleri, hücre merkezinde saklanan  $\phi$  değerlerinin interpolasyon yapılmasıyla bulunur.

Bu çalışmada, akış, türbülans kinetik enerji ve türbülans yayılma oranının hesaplanması sırasında sonuçların hassasiyeti açısından ikinci dereceden ayrıştılandırma işlemi kullanılmıştır.

### 3.2.2.1 İkinci Dereceden Ayrıştılandırma İşlemi

İkinci dereceden hassasiyet istendiğinde, hücre yüzeyindeki değerler, çok yönlü doğrusal yapılandırma metodu kullanılarak çözüm yapılır. Hücre merkezindeki çözümlerin Taylor seri açılımı yapılarak, hücre yüzeylerinde, bu yaklaşımla yüksek dereceden hassasiyet elde edilir. Böylece bu ikinci derece yaklaşım seçildiğinde yüzey değerleri  $\phi_f$ , aşağıdaki (3.6) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$\phi_f = \phi + \nabla\phi \cdot \Delta\bar{s} \quad (3.6)$$

Burada,  $\phi$  hücre merkezi değeri,  $\nabla\phi$  hücre merkezi gradyanı,  $\Delta\bar{s}$  hücre merkezi ile yüzey merkezi arasındaki yer değiştirme vektörüdür.

(3.6) denklemi, her bir hücre için  $\nabla\phi$ 'nin belirlenmesini gerektirir. Bu gradyan aşağıda verilen iraksama teoremi ile hesaplanır.

$$\nabla\phi = \frac{1}{V} \sum_f^{N_{\text{face}}} \bar{\phi}_f \cdot \bar{A} \quad (3.7)$$

Burada,  $\bar{\phi}_f$  bu yüzeye komşu olan tüm hücrelerin  $\phi$  değerlerinin ortalamasının alınmasıyla elde edilir.

### 3.2.2.2 Ayrıklaştırılmış Denklemlerin Doğrusal Formu

Ayrıklaştırılmış (3.5) skaler transport denklemi, hücre merkezinde bilinmeyen skaler  $\phi$  değişkenleri içermesinin yanında diğer hücrelerde de bilinmeyen değerler içerir. Bu denklem, içerdiği değişkenlere göre doğrusal değildir. Bu denklemin doğrusal formu aşağıdaki gibidir.

$$a_p \cdot \phi = \sum_{nb} a_{nb} \cdot \phi_{nb} + b \quad (3.8)$$

Burada, nb alt simgesi komşu yüzeyi gösterir.  $a_p$  ve  $a_{nb}$  ise  $\phi$  ve  $\phi_{nb}$  için doğrusallaştırma katsayılarıdır.

Her bir hücre için komşu hücre sayısı, grid yapısına bağlıdır. Fakat basit anlamda hücreyi oluşturan yüzey sayısı olarak düşünülebilir.

Benzer eşitlikler, her bir hücre için yazılır. Böylece cebirsel eşitlikler matris formuna çevrilir. FLUENT, bu lineer sistemi skaler eşitlikler için, Gauss – Seidel metodu ve cebirsel çoklu grid metodunu (AMG) kullanarak çözer.

### 3.2.2.3 Under – Relaxation Faktörü

FLUENT'in çözdüğü eşitliklerin doğrusal olmasından dolayı  $\phi$ 'nin değişiminin kontrol edilmesi gerekir. Bu da genel olarak, Under – Relaxation faktörleriyle gerçekleştirilir. Bu faktörler her bir iterasyonda elde edilen  $\phi$  değişimini azaltır. Basit anlamda, hücre içindeki  $\phi$  değişkeninin yeni değeri, daha önceki çözümdeki  $\phi$  değerine ( $\phi_{old}$ ), hesaplanan  $\phi$ 'deki değişime ( $\Delta\phi$ ) ve Under – Relaxation faktörü  $\alpha$ 'ya bağlıdır. Bu durum aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\phi = \phi_{old} + \alpha \cdot \Delta\phi \quad (3.9)$$

Bu çalışmada kullanılan Under – Relaxation faktörü değerleri; türbülans kinetik enerji ve türbülans yayılma oranı için 0.8, akış için ise 1 değerleri kullanılmıştır.

## 3.3 Sayısal Çözümde Kullanılan Sınır Şartları

### 3.3.1 Katı Duvar

Çalışmada modellenen tank ve kanat modeli, bu katı yüzeyler arasında akış alanı olduğundan dolayı, akışkan hacmini sınırlayan bu yüzeylere katı duvar sınır şartı uygulanmıştır. Bu sınır şartının uygulandığı yüzeyler; kanata ait kanat yüzeyleri ile örtü ve göbek katı duvar sınır şartına haizdirler. Katı duvarlarda ise kaymama sınır şartı mevcuttur.

### 3.3.2 Akışkan

Sayısal modele ait tank içerisinde akışkan olarak su kullanılmıştır. Suyun 25°C'deki özellikleri kullanılmıştır.

### 3.4 Model ve Ağ Yapısı

#### 3.4.1 Geometri

Çalışmada kullanılan karıştırıcı tank modeli, tank, tankın ortasına yerleştirilmiş mil, mile bağlı kanat ve tankın çevresine yerleştirilmiş 4 adet kırıcıdan oluşmaktadır.

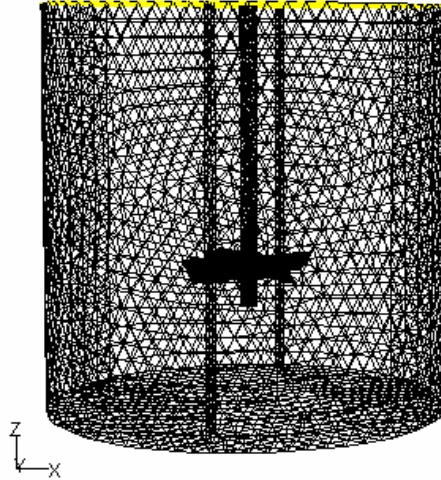
Bu çalışmada incelemeler, modellenen dört farklı geometrinin, en uygunun bulunması için yürütülmüştür.

#### 3.4.2 Modeller

Modellerin geometrik özellikleri, Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Geometrik özellikleri Tablo 3.1’de verilen modeller, üç boyutlu olarak Gambit programı kullanılarak oluşturulmuştur. Tüm modeller, tank boyutları değiştirilmemiş ancak kullanılan kanat yapıları düz kanat,  $45^0$  eğimli kanat, geriye dönük kanat ve radyal kanat olarak modellenmişlerdir. Karıştırıcı çarklarının dönüşü Moving Reference Frame yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu yöntemde kanatın dönme hızı ve dönüş eksenini vererek dönme etkileri modellenmektedir.

#### 3.4.3 Ağ Yapısı

Dört farklı model ve bu modeller için Gambit programı kullanılarak oluşturulan ağ yapısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Tüm yüzey durumlarına uygulanabilirliği, kolay oluşturulabilmesi ve çözümlenebilmesi gibi özelliklerinden dolayı ağ yapısı olarak, yapısal olmayan üçgen piramit elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Karıştırıcı tanka ait ağ yapısı

Ağ yapısının düzgün ve kaliteli olması, sayısal analiz sonuçlarının hassasiyeti üzerinde önemli rol oynar. Üçgen piramit elemanların dağılımı, düzgünlüğü, çarpıklığı ağ yapısının kalitesini etkileyen önemli parametrelerdir. Yukarıda bahsedilen modeller için ağ yapıları, bu



parametreler göz önüne alınarak oluşturulmuştur. Katı yüzey yakınlarında oluşan sınır tabakaları büyük gradyan bölgeleri oluşturduğundan dolayı, hücreden hücreye geçişlerde, akışkan değişkenlerindeki değişimi minimize edecek şekilde ağ dağılımı oluşturulmuştur.

Ağ yapıları oluşturulurken, komşu hücrelerin boyutları arasındaki hızlı değişim hataya neden olmaktadır. Buna karşılık hücreler arasındaki düzgün değişim, hassasiyeti artırmaktadır. Bu nedenle katı yüzeylerden itibaren, hücreler arasındaki boyut değişimi (büyüme oranı) %20 olacak şekilde düzgün bir artış belirlenmiştir.

Ağ yapısını oluşturan elemanların şeklinin çarpıklığı da, kalite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Üçgenel elemanlardan oluşan bir ağ yapısı için çarpıklığın ölçüsü, ideal hücre birimi olan eşkenar üçgenden uzaklaşmadır. Dolayısı ile modeller için ağ yapıları oluşturulurken, hücre birimlerinin mümkün olduğunca eşkenar üçgenlerden oluşmasına dikkat edilmiştir. Oluşturulan ağ yapılarının çarpıklık ölçüsünün kontrolü Gambit programında Eşit Açılı Çarpıklık adı verilen bir yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir. Çarpıklığın ölçüsü aşağıdaki formülasyonla belirlenir.

$$\theta_{EAC} = \max \left[ \frac{\theta_{\max} - \theta_{eş}}{180 - \theta_{eş}}, \frac{\theta_{eş} - \theta_{\min}}{\theta_{eş}} \right]$$

Burada;

$\theta_{EAC}$  :Çarpıklığın boyutsuz ölçüsü

$\theta_{\max}$  :Üçgenin kenarları arasındaki maksimum açı (derece)

$\theta_{\min}$  :Üçgenin kenarları arasındaki minimum açı (derece)

$\theta_{eş}$  :Eş kenarlı üçgen için kenarlar arasındaki açı,  $60^0$

Çarpıklığın, ideal yapı birimi olan eşkenar üçgenden sapma olduğundan yukarıda bahsedilmiştir. Bu sapma, üçgenin kenarları arasındaki açı değerlerinin artması veya azalması şeklinde olabilir. Bu nedenle çarpıklığın boyutsuz ölçüsü, minimum ve maksimum açığa göre belirlenen çarpıklık ölçülerinin büyüğü olarak alınır. Tablo 3.2'de Model 1 için elemanların çarpıklık değerlendirmesi yapılmıştır.

**Tablo 3.2.** Model 1 için ağ yapısı özellikleri

Çarpıklık Aralığı	Eleman Sayısı	Toplam Eleman Sayısı	Toplam Eleman İçindeki Yüzdesi	Kalite Durumu
$0 \leq \theta_{EAÇ} < 0.25$	310740	318723	97.50	Mükemmel
$0.25 \leq \theta_{EAÇ} < 0.50$	7040	318723	2.2	İyi
$0.50 \leq \theta_{EAÇ} < 0.75$	943	318723	0.3	Normal
$0.75 \leq \theta_{EAÇ} < 0.90$	0	318723	0	Zayıf
$0.90 \leq \theta_{EAÇ} \leq 1$	0	318723	0	Çok zayıf

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi kalitesi yüksek eleman sayısı %97.50 iken, orta düzeyde kaliteli ve normal düzeyde eleman sayıları sırasıyla %2.2 ve %0.3’dir. Bununla beraber zayıf ve çok zayıf kalitede elemanların olmadığı da görülmektedir. Bu aşamada oluşturulan ağ yapılarının çözüm sonuçlarını en hassas şekilde verecek kalitede olduğu söylenebilir.

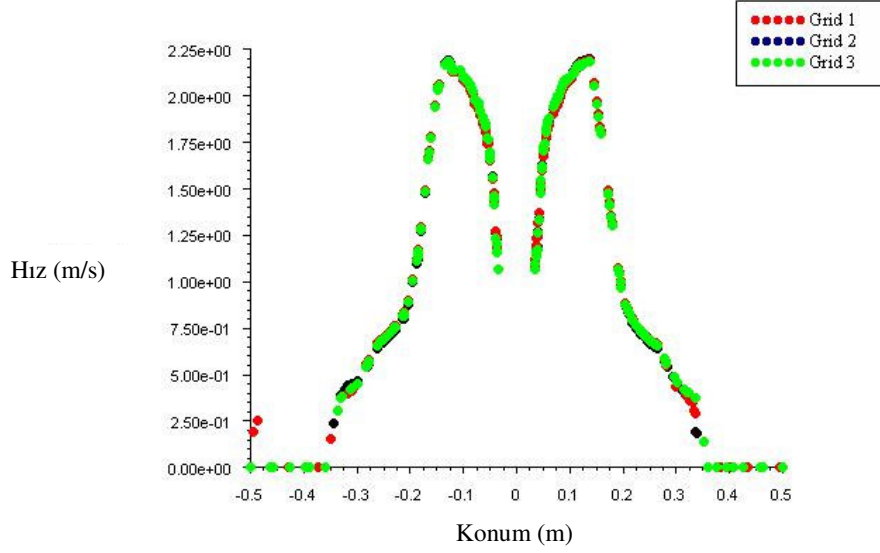
### 3.5 Grid Yapılarının Karşılaştırılması

3 farklı grid yapısının karşılaştırılması için, elde edilen x yönündeki hız değişimleri Şekil 5.5’de, x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri Şekil 5.6’da verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Modeller için eleman sayısı özellikleri

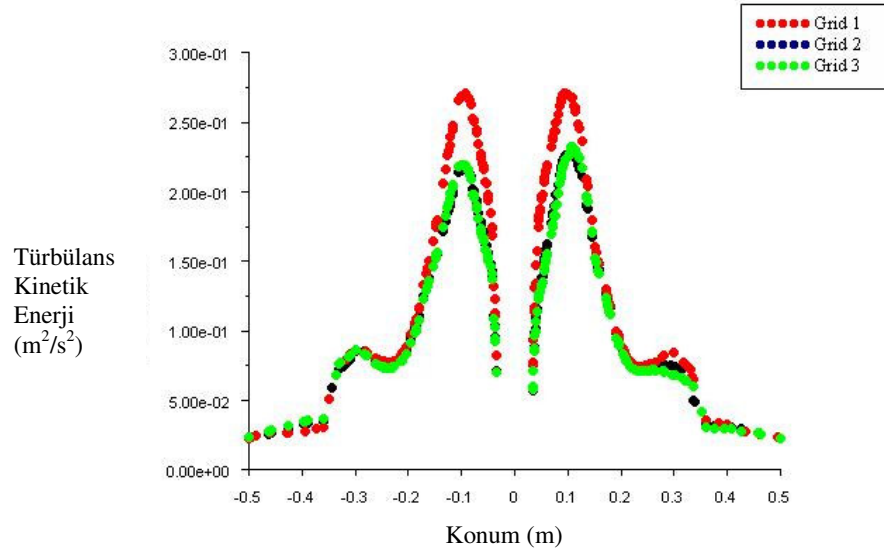
Modeller	Eleman Sayısı
Grid 1	381469
Grid 2	318723
Grid 3	256055

Modellere ait x yönündeki hız değişimleri incelendiğinde (Şekil 3.6), tüm kanat modellerinde hız dağılımlarının eşit olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda kullanılan sınır şartları altında, grid değişiminin hız dağılımlarına etkisi olmadığı söylenebilir.



Şekil 3.6. Modellere Ait  $U_x$  Hız Değişimi

Modellere ait x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri incelendiğinde (Şekil 3.7), tüm kanat modellerinde türbülans kinetik enerji dağılımlarının eşit olduğu ancak grid 1'de kanada yakın bölgelerdeki değişimlerin biraz yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun sonucunda kullanılan sınır şartları altında, grid değişiminin türbülans kinetik enerji değişimlerine bir miktar etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 3.7. Modellere Ait X Yönündeki Türbülans Kinetik Enerji Değişimi

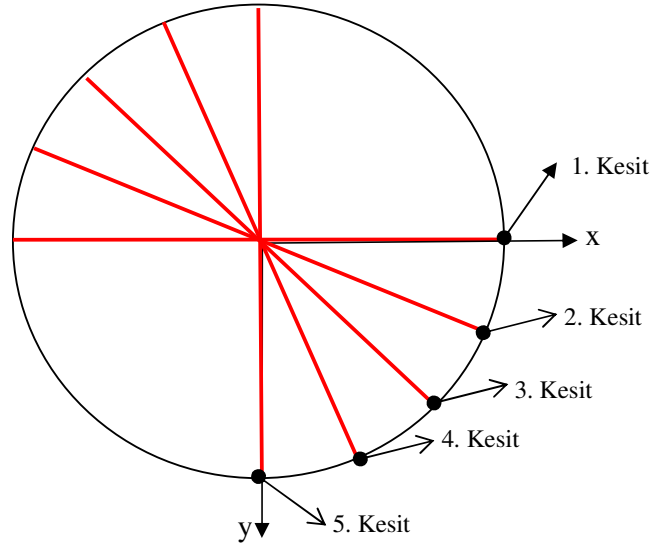
## BÖLÜM IV

### SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Buradaki amaç, karıştırıcı tank karakteristiklerini anlamaktır. Elde edilen verileri inceleyerek karıştırıcı tank karakteristiklerinin nicel değerlerini görüp performans kısıtlamaları belirlenecek ve kullanılan kanat yapıları arasında en uygun kanat modeli tespit edilecektir.

Karıştırıcı tankların toplam verimliliği, kanat ve tankın iyi tasarımına bağlıdır. Bu sayısal çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Karıştırıcı tanka ait 5 kesit Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Tank üzerinden alınmış 5 farklı kesitin gösterimi.

## 4.1 Düz Kanat Yapısı

### 4.1.1 Dizayn Altındaki Çözümleme Sonuçları

Düz kanat yapısından alınan sonuçlar incelenirse, içerisinde su bulunan tankın, kanat uç noktalarında basınç yükselmektedir. Bu da kanat ucu etkisi olarak yorumlanabilir. Kanadın dönüş yönüne göre karıştırıcı tank kanadının önünde oluşan dinamik basınç değerleri kanat çıkışına doğru yükselir ve beklendiği gibi kanat izinden çıktıktan sonra ise tank cidarlarına doğru azalma eğilimine girer. Toplam basınç değişimi ise, kanat çıkışında düşmeye başlayan dinamik basınç değerlerindeki değişimin fazla olması nedeniyle, statik basıncın artmasına neden olur.

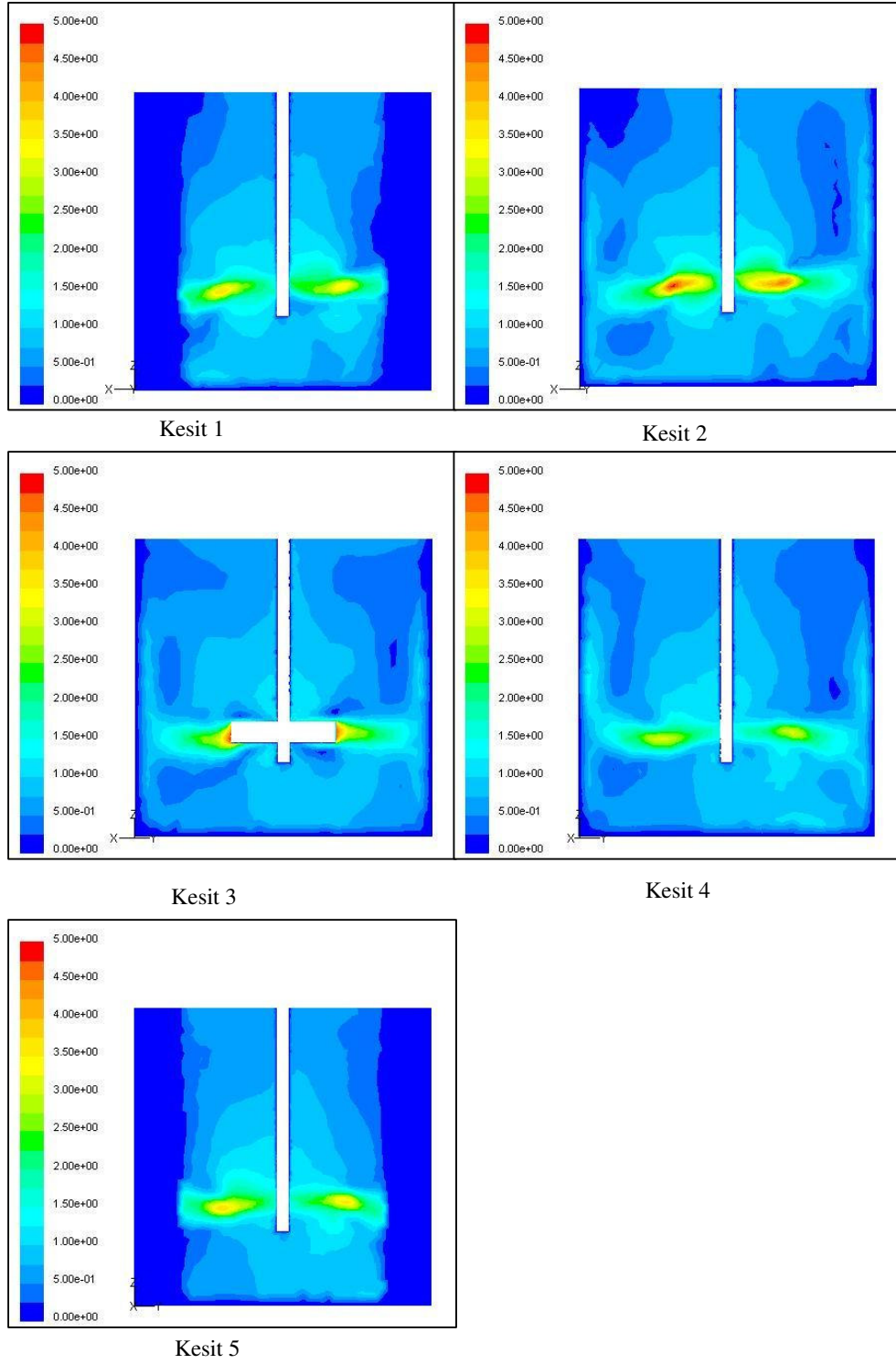
#### 4.1.1.1.1 Hız Dağılımları

Düz kanat modeli için, dizayn noktasında, 5 adet kesitten elde edilen hız konturları Şekil 4.2'de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 1 numaralı kesitte, kanat etrafında oluşan kanat izi denilen bölgenin oluştuğu görülmektedir. Burada Şekil 4.5'te verilen  $45^0$  eğimli kanat yapısına göre aşağı yönlü olmayıp tankın yan cidarlarına doğru oluştuğu gözlenmektedir.

Ayrıca karıştırıcı tankın üzerine yerleştirilen kırıcıların yüzeylerinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, negatif radyal hız değerine sahip kısımlar görülmektedir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 1 numaralı kesitte, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın hemen yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin alt bölgeye doğru hareket etmeyip, tankın yan cidarlarına doğru hareket yapmaktadır. Bu etki blade wake (kanat izi) etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Ayrıca tank yüzeyinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, hız değerinde tank çevresine doğru sifıra indiği görülmektedir. 1. kesitte iki adet kırıcının yüzeyinde hızın sifıra indiği görülmektedir. 2 kesitte yüksek hızlı bölge mevcut olup, göbeğe yakın olan bölgede etkisini gösterdiği söylenebilir.



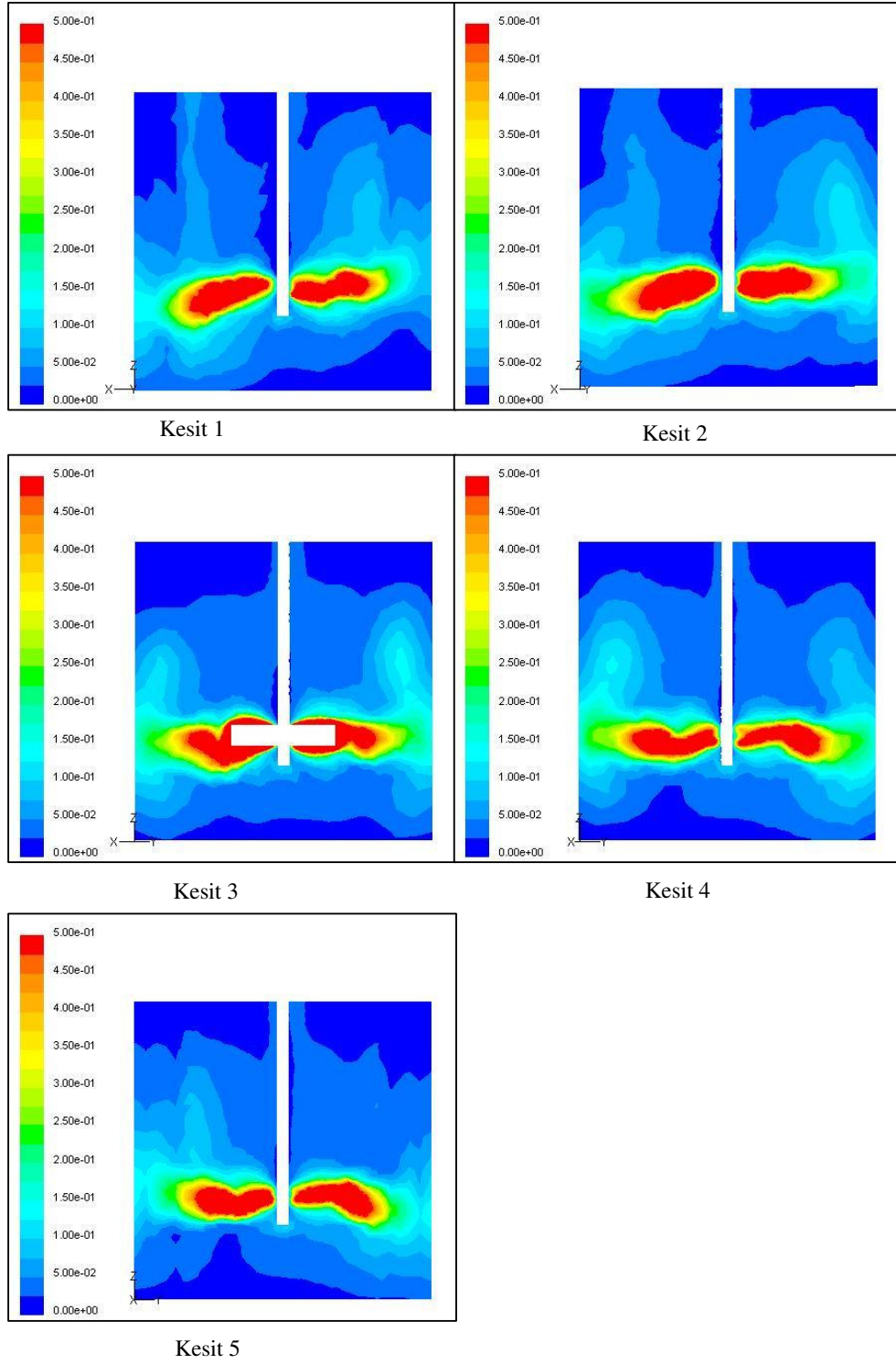
Şekil 4.2. Düz Kanat Modeline Ait Hız Dağılımları

#### 4.1.1.1.2 Türbülans Kinetik Enerji Dağılları

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, 5 adet kesitten elde edilen türbülans kinetik enerji dağılları Şekil 4.3’de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 2 numaralı kesitte, kanat izine ait bölgede yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Yine kanadın sebep olduğu yüksek türbülans kinetik enerji değerleri, kanat uę bölgesinde görülmektedir. Kanat ucundaki bölgelerin meydana geldiği kısımlarda yüksek türbülans kinetik enerjinin nedeni, akışa katılmayan ikincil akışlardır. Bu nedenle de momentum azalmasının sonucu duvarlarda ters basınę gradyanlarından kaynaklanan sınır tabaka ayrılmalarının geręekleřmesi türbülans kinetik enerjilerin artmasına sebep olur.

Türbülans kinetik enerji değerlerinin düşük olduğu bölge, 1 ve 2. kesitte daha geniş bir bölge iken ilerleyen, kanata yakın kesitlerde ise daha yüksek bölgelerin oluştuğu net olarak gözlemlenmektedir.



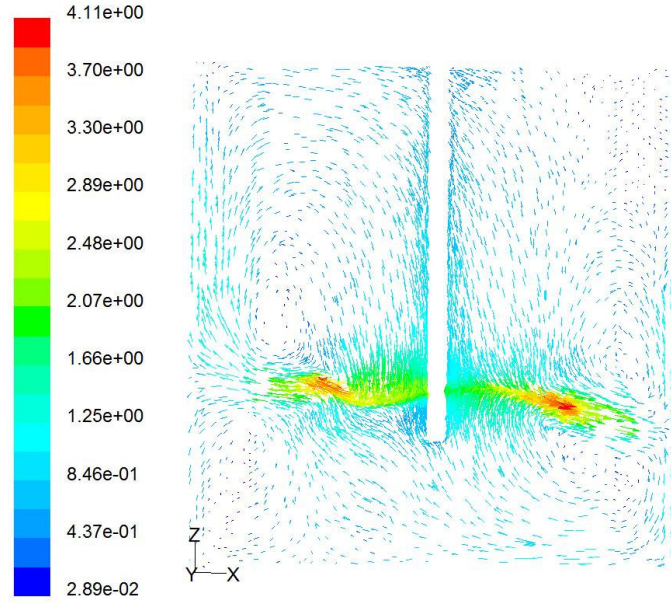
Şekil 4.3. Düz Kanat Modeline Ait Türbülans Kinetik Enerji Dağılımı



#### 4.1.1.1.3 Hız vektörü

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, elde edilen hız vektörleri Şekil 4.4'de verilmiştir.

Kesite ait vektörler incelendiğinde, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin aşağı doğru hareket etmeyip, tank yan cidarına doğru çevrinti hareketi yapmaktadır. Bu etki kanat izi etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Kanat izlerini takip eden bölgede ve ayrıca kanadın hem üst hemde alt bölgesinde farklı girdap oluşumları görülmektedir.



Şekil 4.4. Düz Kanat Yapısına Ait Hız Vektörleri

## 4.2 45° Eğimli Kanat Yapısı

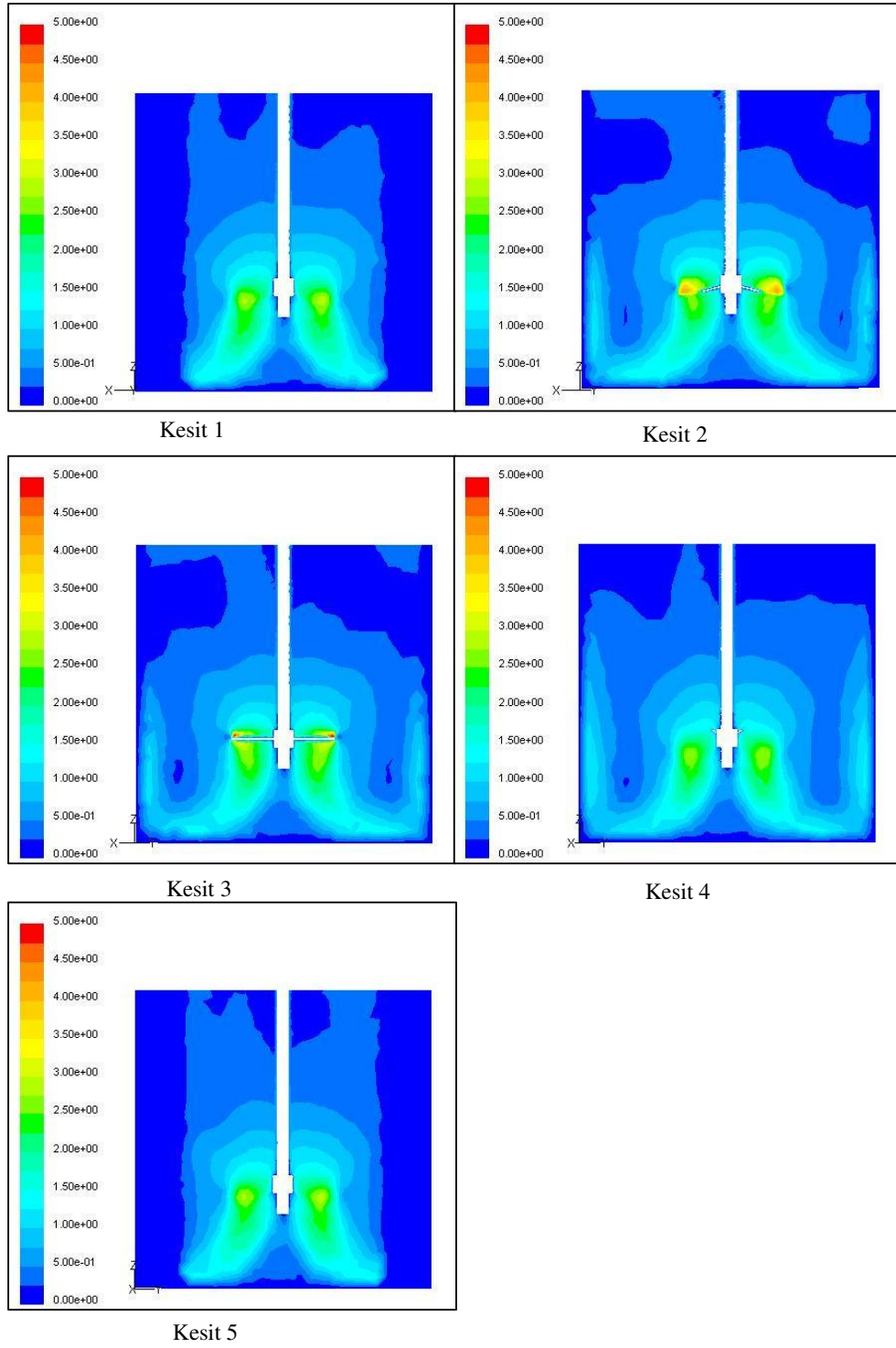
### 4.2.1 Dizayn Altındaki Çözümleme Sonuçları

45° eğimli kanat yapısından alınan sonuçlar incelenirse, içerisinde su bulunan tankın, kanat uç noktalarında basınç yükselmektedir. Bu da kanat ucu etkisi olarak yorumlanabilir. Kanadın dönüş yönüne göre karıştırıcı tank kanadının önünde oluşan dinamik basınç değerleri kanat çıkışına doğru yükselir ve beklendiği gibi kanat izinden çıktıktan sonra ise tank cidarlarına doğru azalma eğilimine girer. Toplam basınç değişimi ise, kanat çıkışında düşmeye başlayan dinamik basınç değerlerindeki değişimin fazla olması nedeniyle, statik basıncın artmasına neden olur.

#### 4.2.1.1.1 Hız Dağılımları

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, 5 adet kesitten elde edilen hız konturları Şekil 4.5'de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 1 numaralı kesitte, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın hemen alt bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin ileri doğru hareket etmeyip, tankın alt bölgesine doğru çevrinti hareketi yapmaktadır. Bu etki blade wake (kanat izi) etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Ayrıca tank yüzeyinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, hız değerinde tank çevresine doğru sıfıra indiği görülmektedir. 1. kesitte iki adet yüksek hızlı bölge mevcut olup, göbeğe yakın olan bölgede etkisini gösterdiği söylenebilir. Kanat izi 1 numaralı kesitte belirgin iken diğer istasyonlara bakıldığında kanat izinin etkisini yitirdiği kolaylıkla görülebilmektedir.



Şekil 4.5.  $45^{\circ}$  Eğimli Kanat Yapısına Ait Hız Dağılımları

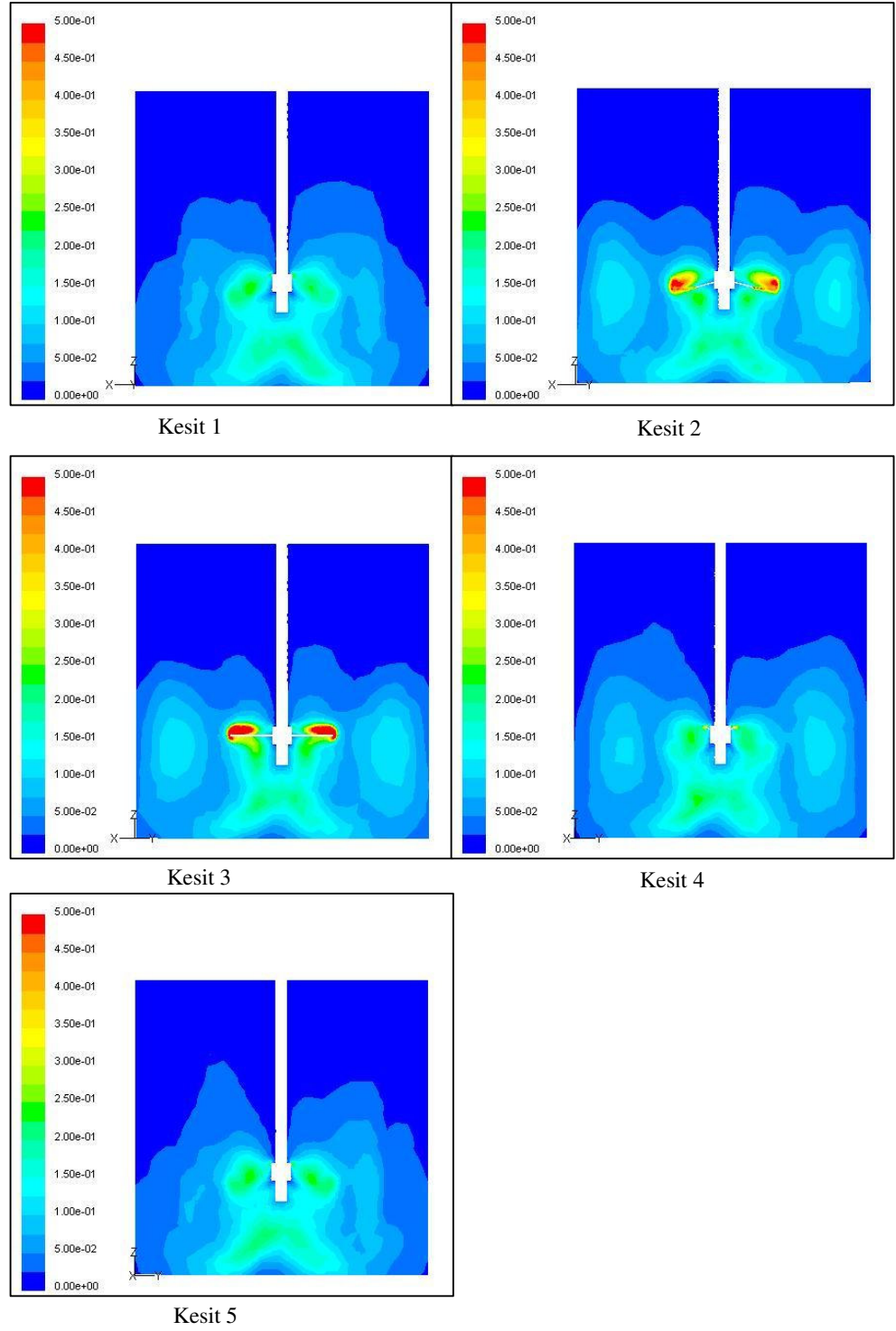
#### 4.2.1.1.2 Türbülans Kinetik Enerji Dağılımları

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, 5 adet kesitten elde edilen türbülans kinetik enerji dağılımları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 3 numaralı kesitte, kanat izine ait bölgede yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Yine kanadın sebep olduğu yüksek türbülans kinetik enerji değerleri, kanat uç bölgesinde görülmektedir. Kanat ucundaki bölgelerin meydana geldiği kısımlarda yüksek türbülans kinetik enerjilerinin nedeni, akışa katılmayan ikincil akışlardır. Bu nedenle de momentum azalmasının sonucu duvarlarda ters basınç gradyanlarından kaynaklanan sınır tabaka ayrılmalarının gerçekleşmesi türbülans kinetik enerjilerin artmasına sebep olur.

Kanat izi 3 numaralı kesitte belirgin iken diğer kesitlere bakıldığında kanat izinin etkisini yavaş yavaş yitirdiği halde 1. ve 3. kesite kadar kanat izinin var oluşu tespit edilmiştir.

Türbülans kinetik enerji değerlerinin düşük olduğu bölge, 1 ve 5. kesitte daha geniş bir bölge iken ilerleyen, kanata yakın kesitlerde ise daha yüksek bölgelerin oluştuğu net olarak gözlemlenmektedir.

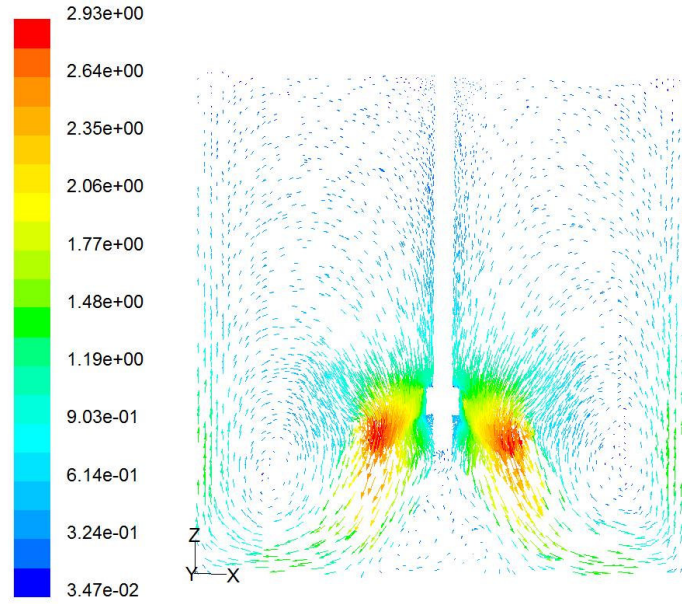


Şekil 4.6. 45° Eğimli Kanat Yapısına Ait Türbülans Kinetik Enerji Dağılımları

#### 4.2.1.1.3 Hız vektörü

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, elde edilen hız vektörleri Şekil 4.7'de verilmiştir.

Kesite ait vektörler incelendiğinde, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın hemen alt bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin ileri doğru hareket etmeyip, tankın alt bölgesine doğru çevrinti hareketi yapmaktadır. Bu etki kanat izi (blade wake) etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Kanat izlerini takip eden bölgede girdap oluşumları görülmektedir. Tankın alt mil ile birleşim noktalarında hareketsiz bölgelerin oluştuğu gözlenmektedir.



Şekil 4.7. 45° Eğimli Kanat Yapısına Ait Hız Vektörleri

### 4.3 Geriye Dönük Kanat Yapısı

#### 4.3.1 Dizayn Altındaki Çözümleme Sonuçları

Geriye dönük kanat yapısından alınan sonuçlar incelenirse, içerisinde su bulunan tankın, kanat uç noktalarında basınç yükselmektedir. Bu da kanat ucu etkisi olarak yorumlanabilir. Kanadın dönüş yönüne göre karıştırıcı tank kanadının önünde oluşan dinamik basınç değerleri kanat çıkışına doğru yükselir ve beklendiği gibi kanat izinden çıktıktan sonra ise tank cidarlarına doğru azalma eğilimine girer. Toplam basınç değişimi ise, kanat çıkışında düşmeye başlayan dinamik basınç değerlerindeki değişimin fazla olması nedeniyle, statik basıncın artmasına neden olur.

##### 4.3.1.1.1 Hız Dağılımları

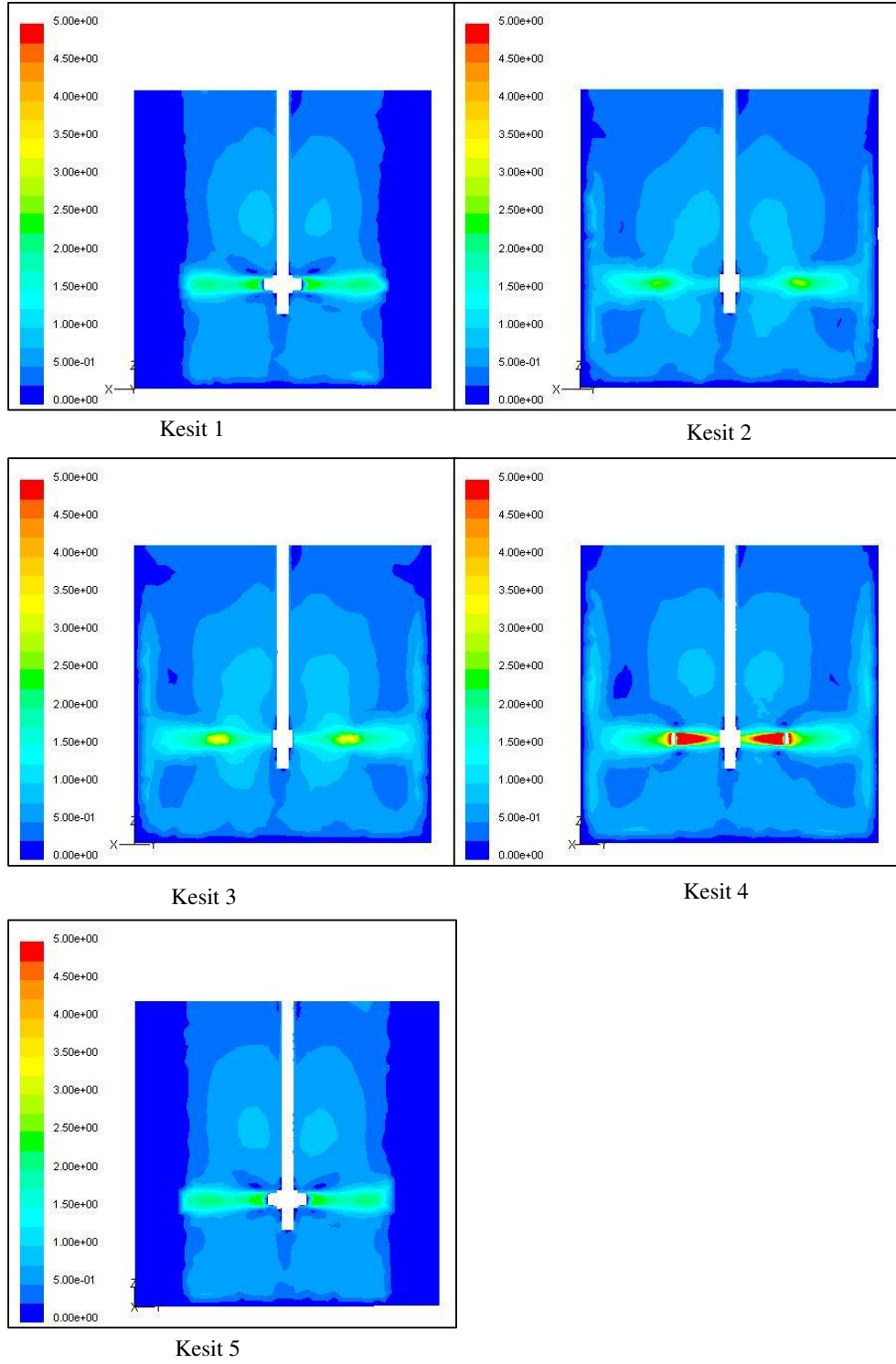
Geriye dönük kanat modeli için, dizayn noktasında, 5 adet kesitten elde edilen hız konturları Şekil 4.8'de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 1 numaralı kesitte, kanat etrafında oluşan kanat izi denilen bölgenin oluştuğu görülmektedir. Burada  $45^0$  eğimli kanat yapısına göre aşağı yönlü olmayıp tankın yan cidarlarına doğru oluştuğu gözlenmektedir.

Ayrıca karıştırıcı tankın üzerine yerleştirilen kırıcıların yüzeylerinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, minimum hız değerine sahip kısımlar görülmektedir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 1 numaralı kesitte, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın hemen yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin alt bölgeye doğru hareket etmeyip, tankın yan cidarlarına doğru hareket yapmaktadır. Bu etki blade wake (kanat izi) etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Ayrıca tank yüzeyinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, hız değerinde tank çevresine doğru sifıra indiği görülmektedir. 4 numaralı kesitte kanatların arka kısımlarında oluşan yüksek hızlı bölgeler görülmektedir.

Kesit 1 ve 5'te kanat ile mil bağlantı noktalarının üst kısımlarındaki durağan bölgeler oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Geriye Dönük Kanat Modeline Ait Hız Dağılımları



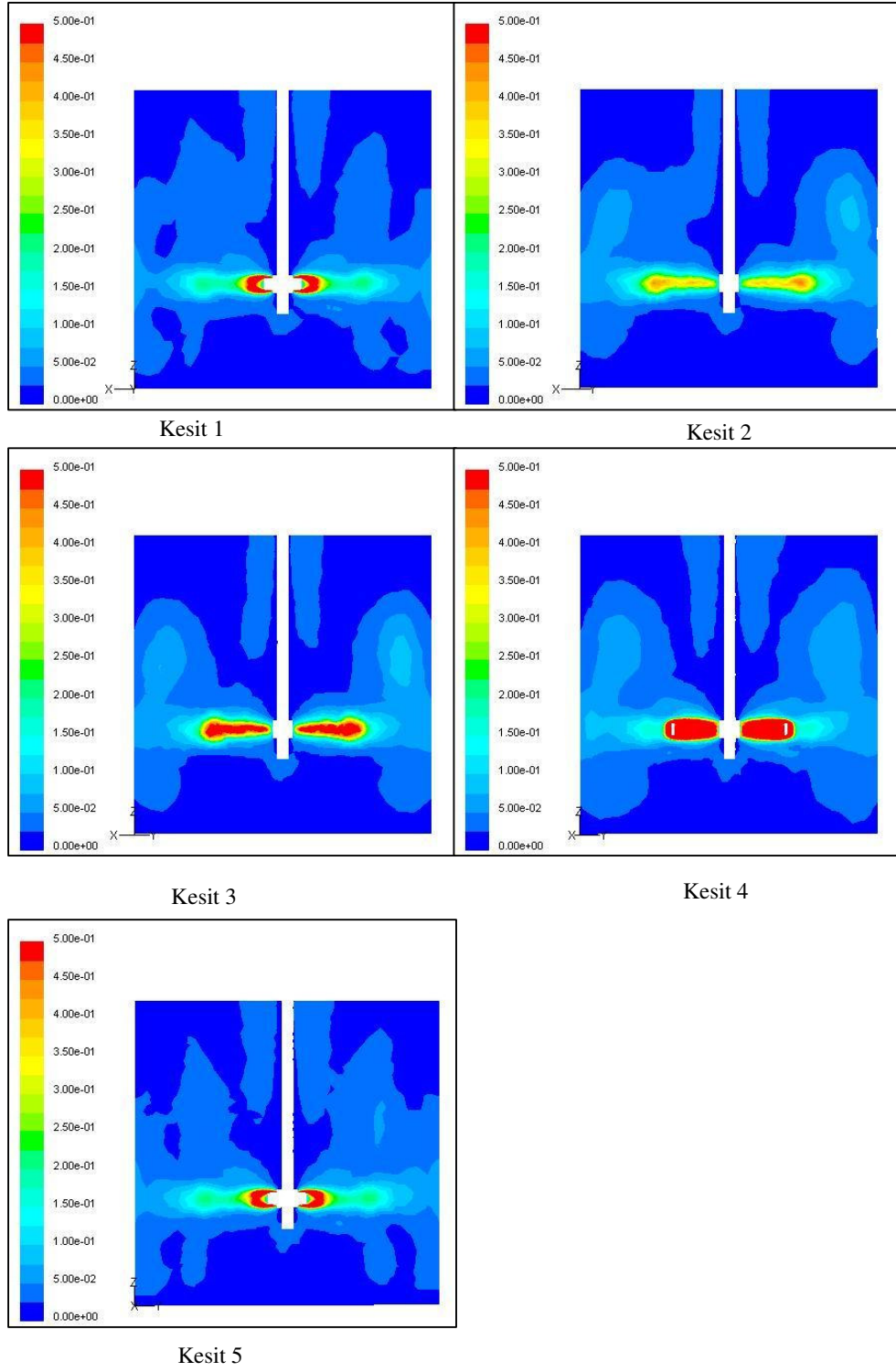
#### 4.3.1.1.2 Türbülans Kinetik Enerji Dağılımları

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, 5 adet kesitten elde edilen türbülans kinetik enerji dağılımları Şekil 4.9'da verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 2 ve 3 numaralı kesitte, kanat izine ait bölgede yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Yine kanadın sebep olduğu yüksek türbülans kinetik enerji değerleri, kanat ardında yani emme bölgesinde görülmektedir. Wake bölgelerinin meydana geldiği kısımlarda yüksek türbülans kinetik enerjilerine neden olan sebep, akışa katılmayan ikincil akışlardır. Bu nedenle de momentum azalmasının sonucu duvarlarda ters basınç gradyanlarından kaynaklanan sınır tabaka ayrılmalarının gerçekleşmesi türbülans kinetik enerjilerin artmasına sebep olur.

Ayrıca kanat etrafında türbülans kinetik enerji değerlerinin en yüksek değerlere ulaştığı söylenebilir.

Kesitlere bakıldığında tankın alt bölgesinden başlayarak kanada kadar olan bölgede türbülans kinetik enerji değerlerinin düşük olduğu bölgeler olduğu net olarak gözlemlenmektedir.

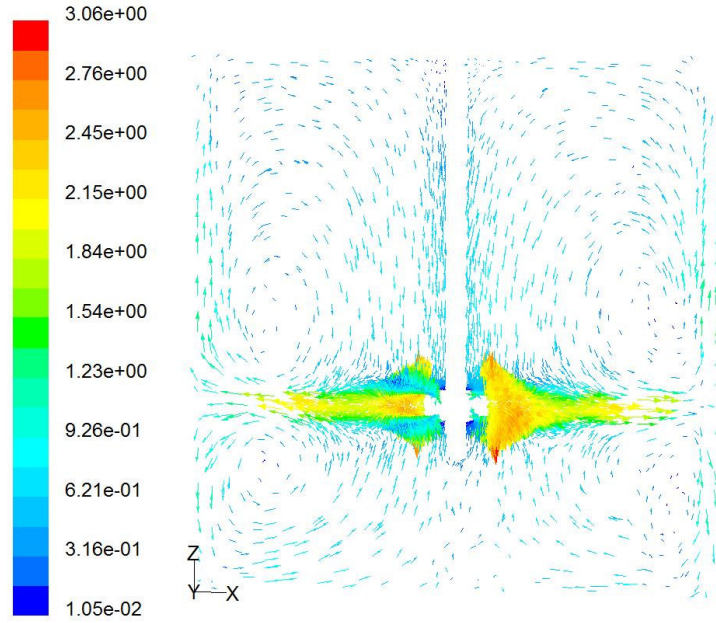


Şekil 4.9. Geriye Dönük Kanat Modeline Ait Türbülans Kinetik Enerji Dağılımı

#### 4.3.1.1.3 Hız vektörü

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, elde edilen hız vektörleri Şekil 4.10'da verilmiştir.

Kesite ait vektörler incelendiğinde, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin aşağı doğru hareket etmeyip, tank yan cidarına doğru çevrinti hareketi yapmaktadır. Bu etki kanat izi etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Kanat izlerini takip eden bölgede vorteks oluşumları görülmektedir. Kanadın hem üst hemde alt bölgesinde farklı vorteks oluşumları görülmektedir. Tankın üst bölgesinde döngüsel bir hareket meydana geldiği görülmektedir. Tankın alt kısmında kanat ile milin birleşim noktalarında durağan bölgelerin oluştuğu söylenebilir.



Şekil 4.10. Geriye Dönük Kanat Yapısına Ait Hız Vektörleri

#### **4.4 Radyal Kanat Yapısı**

##### **4.4.1 Dizayn Altındaki Çözümleme Sonuçları**

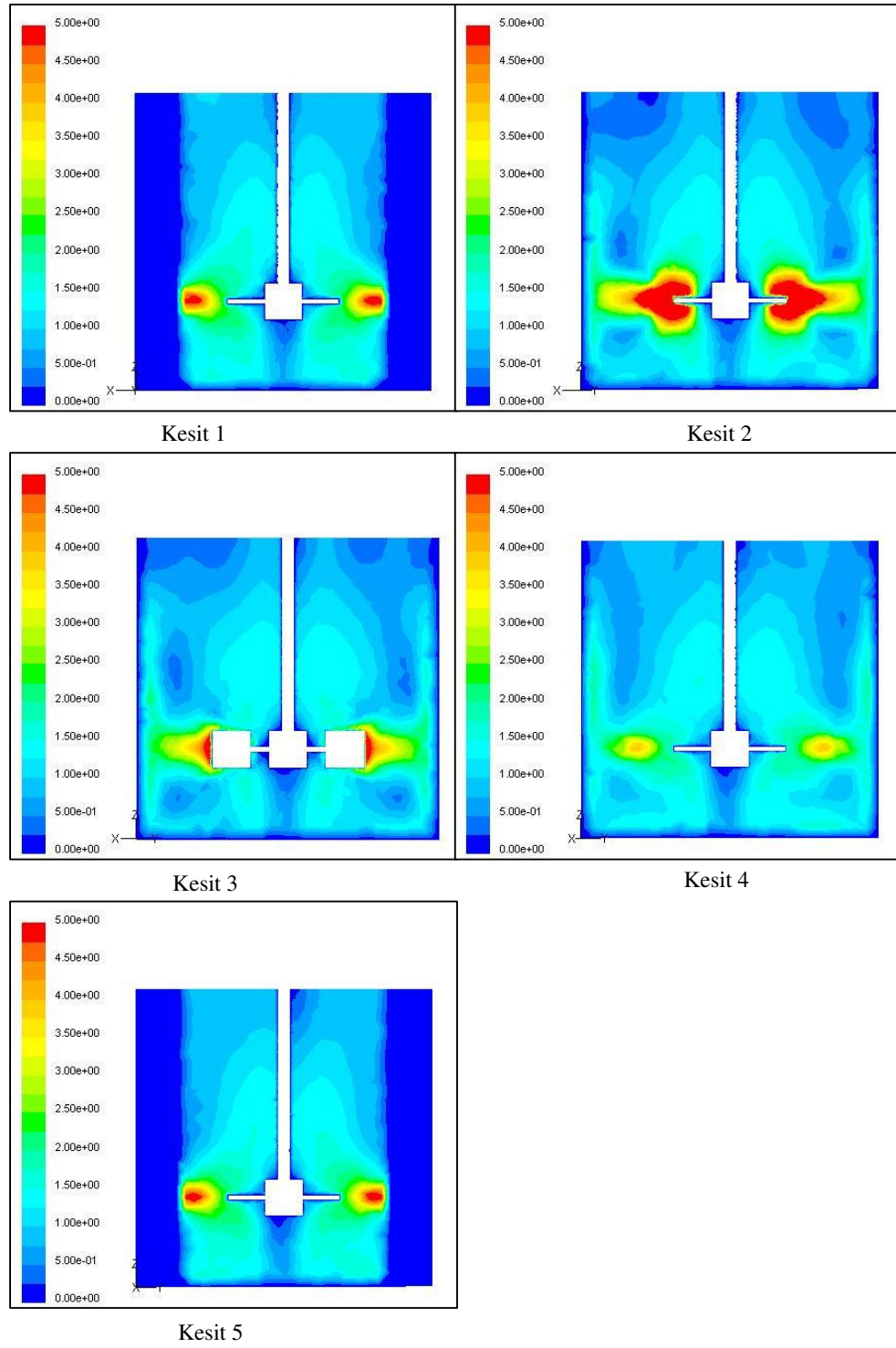
###### **4.4.1.1.1 Hız Dağılımları**

Radyal kanat modeli için, dizayn noktasında, 5 adet kesitten elde edilen hız konturları Şekil 4.11'de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 2 numaralı kesitte, kanat etrafında oluşan kanat izi denilen bölgenin oluştuğu görülmektedir. Burada  $45^0$  eğimli kanat yapısına göre aşağı yönlü olmayıp tankın yan cidarlarına doğru oluştuğu gözlenmektedir. Kanatın uç noktalarında yüksek hız bölgelerinin oluştuğu görülmektedir.

Ayrıca karıştırıcı tankın üzerine yerleştirilen kırıcıların yüzeylerinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, minimum hız değerine sahip kısımlar görülmektedir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 3 numaralı kesitte, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın hemen yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin alt bölgeye doğru hareket etmeyip, tankın yan cidarlarına doğru hareket yapmaktadır. Bu etki kanat izi etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde diğer modellere nazaran hızların daha yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca tank yüzeyinde katı duvar sınır şartı dolayısıyla meydana gelen sınır tabaka ayrılmasından dolayı, hız değerinde tank çevresine doğru sifıra indiği görülmektedir. Tankın alt bölgesinde durağan bölgelerin diğer modellere nazaran daha az olduğu söylenebilir.



Şekil 4.11. Radyal Kanat Modeline Ait Hız Dağılımları

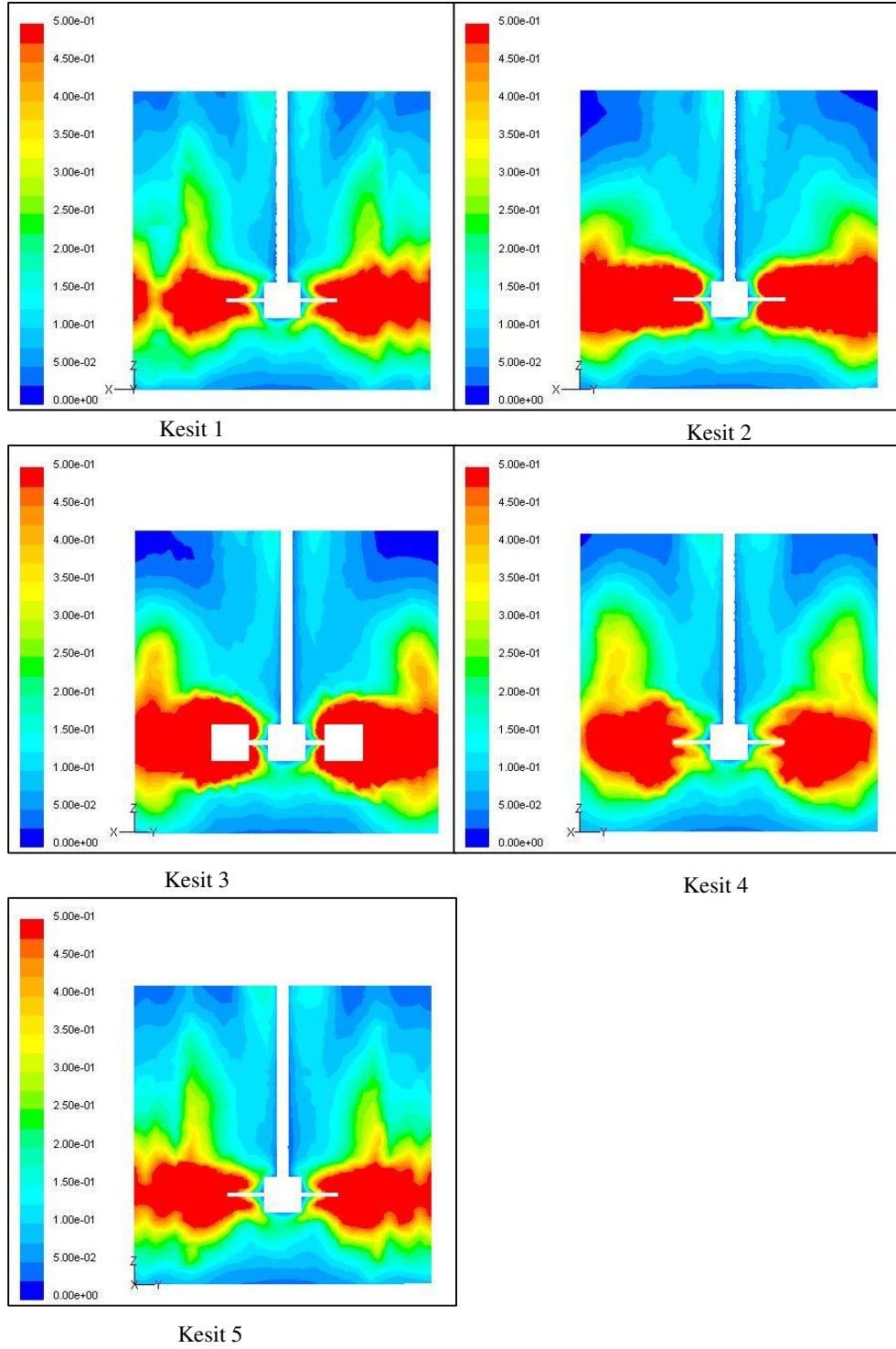
#### 4.4.1.1.2 Türbülans Kinetik Enerji Dağılımları

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, 5 adet kesitten elde edilen türbülans kinetik enerji dağılımları Şekil 4.12'de verilmiştir.

Kesitlere ait konturlar incelendiğinde, 2 ve 3 numaralı kesitte, kanat izine ait bölgede yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Yine kanadın sebep olduğu yüksek türbülans kinetik enerji değerleri, kanat ardında yani emme bölgesinde görülmektedir. Wake bölgelerinin meydana geldiği kısımlarda yüksek türbülans kinetik enerjilerinin nedeni, akışa katılmayan ikincil akışlardır. Bu nedenle de momentum azalmasının sonucu duvarlarda ters basınç gradyanlarından kaynaklanan sınır tabaka ayrılmalarının gerçekleşmesi türbülans kinetik enerjilerin artmasına sebep olur.

Ayrıca kanat etrafında türbülans kinetik enerji değerlerinin en yüksek değerlere ulaştığı söylenebilir.

Kesitlere bakıldığında tankın alt bölgesinden başlayarak kanata kadar olan bölgede türbülans kinetik enerji değerlerinin düşük olduğu bölgeler olduğu net olarak gözlemlenmektedir.

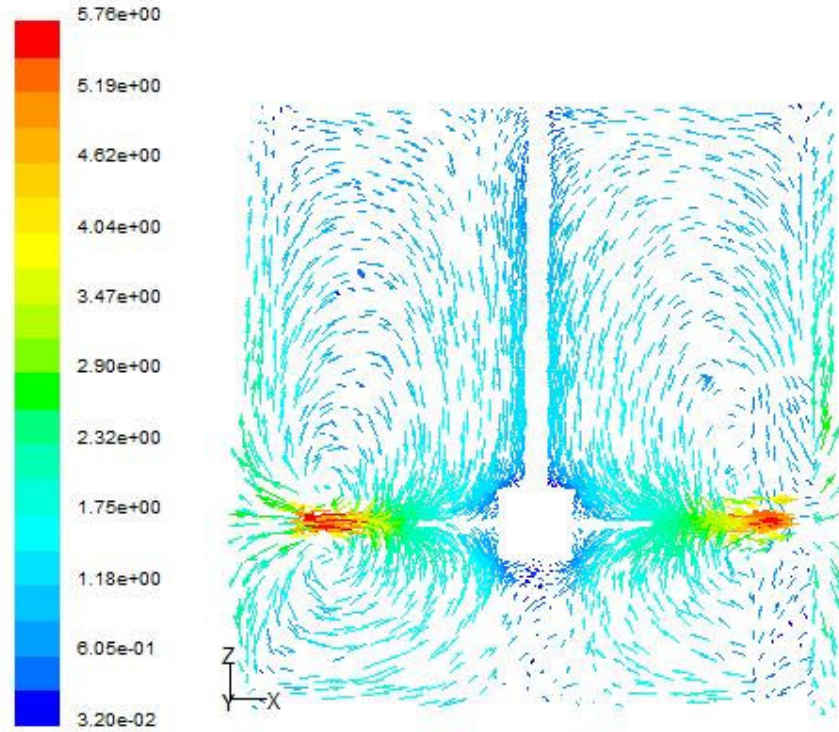


Şekil 4.12. Radyal Kanat Modeline Ait Türbülans Kinetik Enerji Dağılımı

#### 4.4.1.1.3 Hız vektörü

Karıştırıcı tanktan alınan sonuçların incelenmesi için, elde edilen hız vektörleri Şekil 4.13'da verilmiştir.

Kesite ait vektörler incelendiğinde, kanat ardında oluşan kanat izi denilen yüksek hızlı bölge kanadın yan bölgesinde kendini göstermektedir. Burada hız vektörlerinin aşağı doğru hareket etmeyip, tank yan cidarına doğru çevrinti hareketi yapmaktadır. Bu etki kanat izi etkisi olarak bilinmektedir. Tankın üst bölgesine doğru gidildiğinde hızlardaki azalma görülmektedir. Kanat izlerini takip eden bölgede vorteks oluşumları görülmektedir. Kanadın hem üst hemde alt bölgesinde farklı vorteks oluşumları görülmektedir. Tankın üst bölgesinde döngüsel bir hareket meydana geldiği görülmektedir. Tankın alt kısmında kanat ile milin birleşim noktalarında durağan bölgelerin oluştuğu söylenebilir.



Şekil 4.13. Radyal Kanat Yapısına Ait Hız Vektörleri



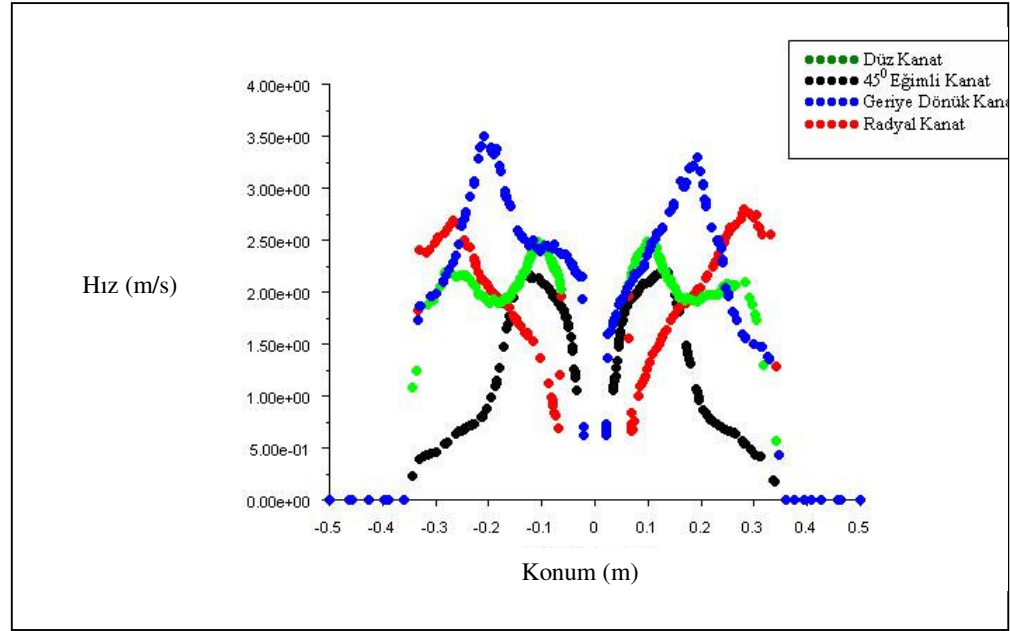
## BÖLÜM V

### SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

#### 5.1 Farklı Kanat Yapılarının Karşılaştırılması

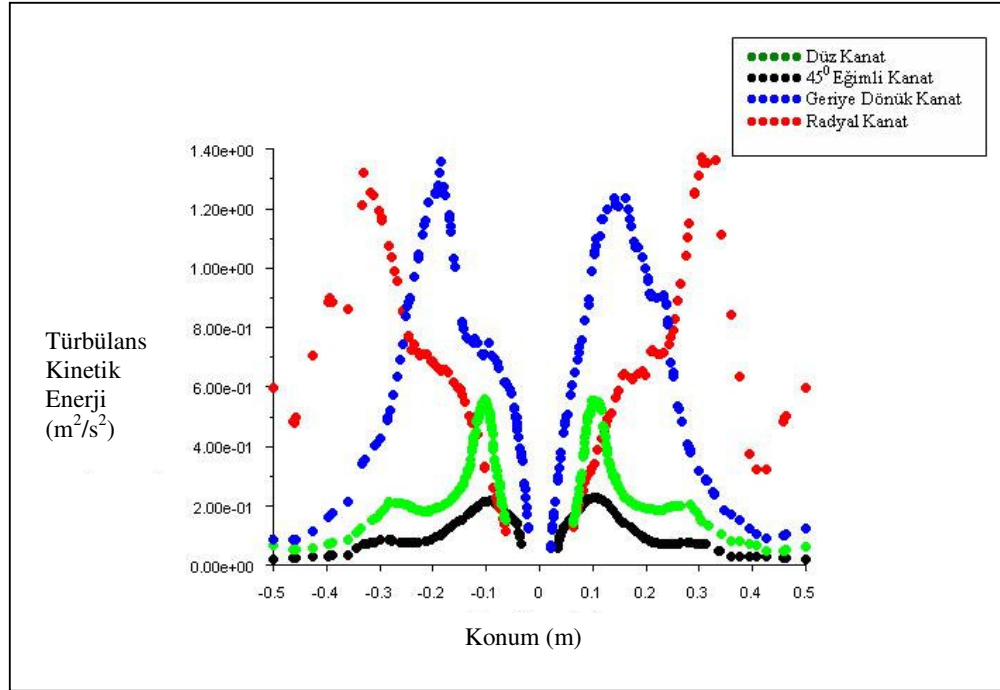
4 farklı kanat yapısının karşılaştırılması için, elde edilen x yönündeki hız değişimleri Şekil 5.1'de, x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri Şekil 5.2'de, z yönündeki hız değişimleri Şekil 5.3'de, z yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri Şekil 5.4'de verilmiştir.

Kanatlara ait x yönündeki hız değişimleri incelendiğinde, kullanılan sınır şartlarında, geriye dönük kanat modelinde yüksek hız dağılımının varlığı dikkat çekmektedir. Diğer üç kanatta ise hız değişimlerinin daha az olduğu görülmektedir. Maksimum hız değerlerine bakılır ise geriye dönük kanat modelinin yaklaşık 2,25 m/s olduğu görülmektedir.



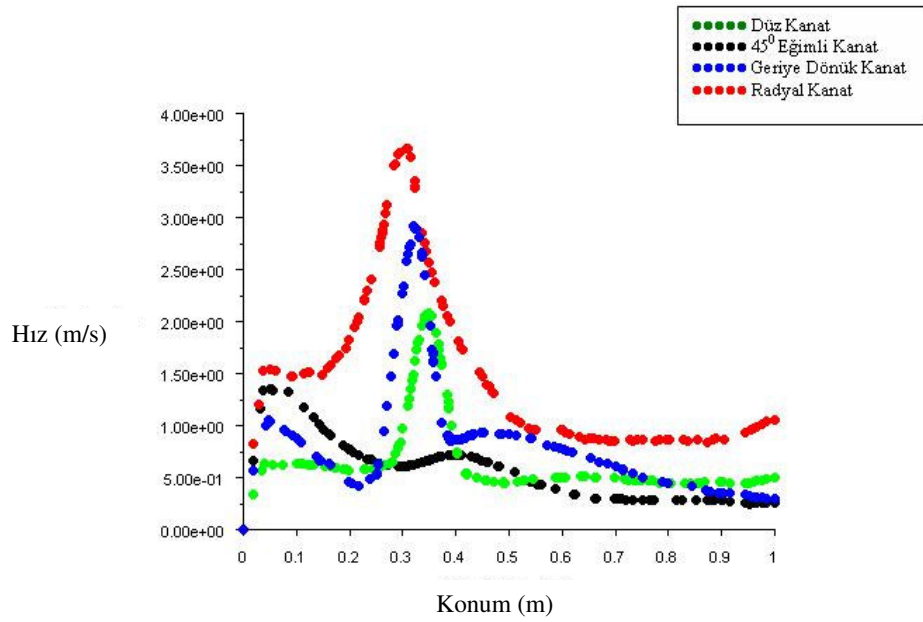
Şekil 5.1. Modellere Ait U<sub>x</sub> Hız Değişimi

Kanatlarla ait x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri incelendiğinde, geriye dönük kanat ve radyal kanat modellerinde yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Diğer iki kanatta türbülans kinetik enerji dağılımlarının az olduğu görülmektedir. Maksimum türbülans kinetik enerji değerlerine bakılır ise geriye dönük kanat modelinin yaklaşık  $1,40 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , radyal kanat modelinin  $1,40 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , düz kanat modelinin  $0,6 \text{ m}^2/\text{s}^2$  ve  $45^\circ$  eğimli kanat modelinde ise  $0,2 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olduğu görülmektedir.



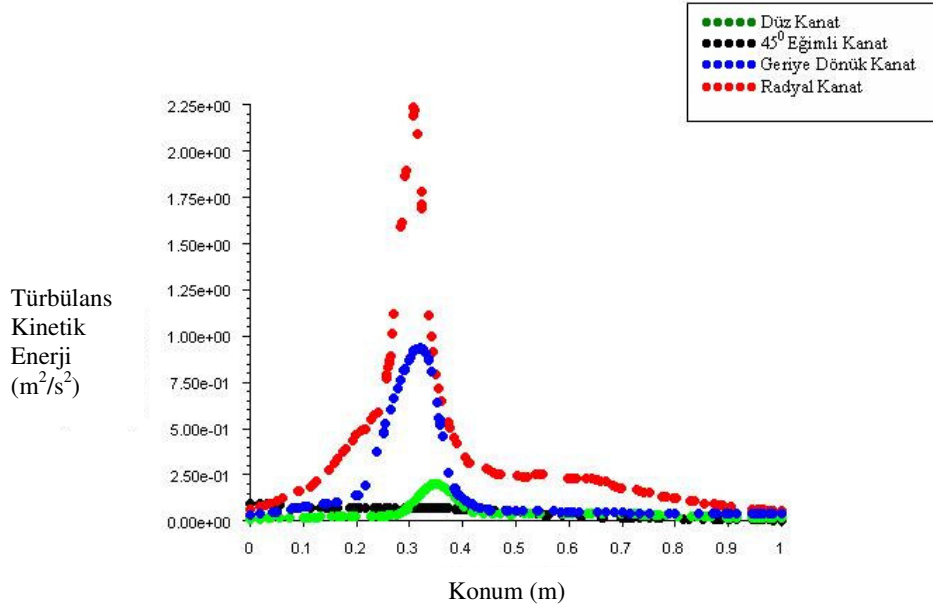
Şekil 5.2. Modellere Ait X Yönündeki Türbülans Kinetik Enerji Değişimi

Kanatlara ait z yönündeki hız değişimleri incelendiğinde, radyal kanat modelinde yüksek hız dağılımının varlığı dikkat çekmektedir. Diğer üç kanatta ise hız değişimlerinin daha az olduğu görülmektedir. Maksimum hız değerlerine bakılır ise radyal kanat modelinin yaklaşık 3,75 m/s, geriye dönük kanat modelinin 3 m/s, düz kanat modelinin 2,25 m/s ve 45° eğimli kanat modelinde ise 1,50 m/s olduğu görülmektedir. Kanat uçlarında maksimum hızların meydana geldiği açıkça görülmektedir. Tankın üst kısımlarına doğru gidildikçe hızlardaki azalmanın olduğu vurgulanmalıdır.



Şekil 5.3. Modellere Ait  $U_z$  Hız Değişimi

Kanatlara ait z yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri incelendiğinde, radyal kanat modellerinde yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Diğer üç kanatta ise türbülans kinetik enerji dağılımlarının az olduğu görülmektedir.  $45^{\circ}$  eğimli kanat modelinde türbülans kinetik enerji değişiminin diğer kanat modellerine nazaran çok az olduğu vurgulanmalıdır. Maksimum türbülans kinetik enerjileri değerlerine bakılır ise radyal kanat modelinin yaklaşık  $2,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , geriye dönük kanat modelinin  $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , düz kanat modelinin  $0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$  ve  $45^{\circ}$  eğimli kanat modelinde ise  $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olduğu görülmektedir. Kanat uçlarında maksimum dağılımın olduğu görülmektedir. Tankın alt ve üst kısımlarında türbülans kinetik enerji dağılımlarının çok az olduğu söylenebilir.

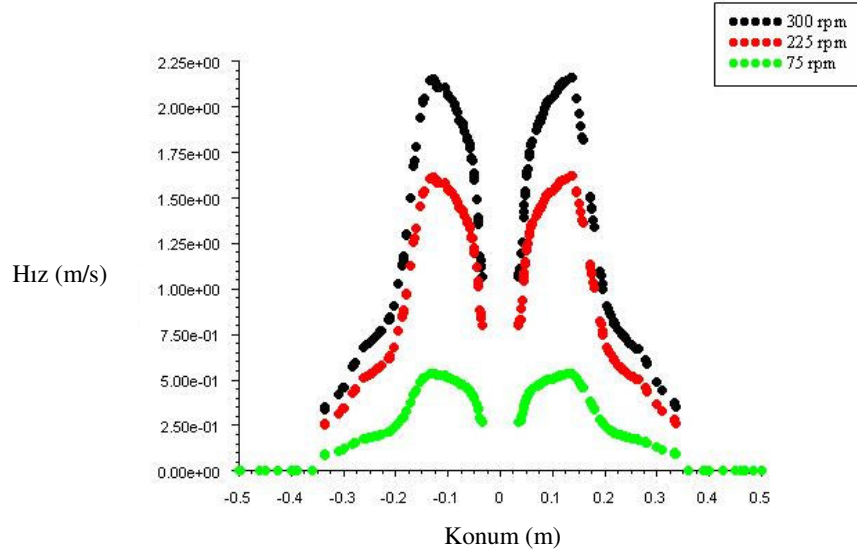


Şekil 5.4. Modellere Ait Z Yönündeki Türbülans Kinetik Enerji Değişimi

## 5.2 Devir Sayılarının Karşılaştırılması

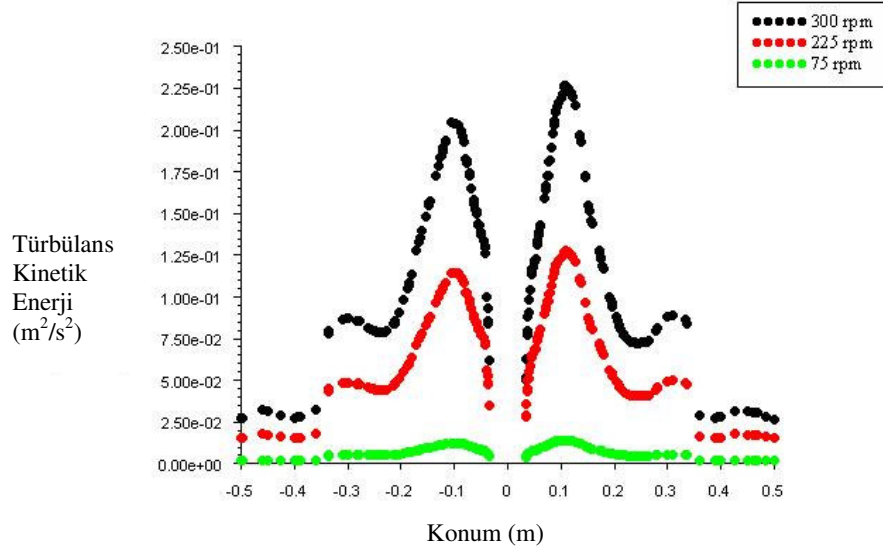
3 farklı devirdeki kanat yapısının karşılaştırılması için, elde edilen x yönündeki hız değişimleri Şekil 5.5'de, x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri Şekil 5.6'da, z yönündeki hız değişimleri Şekil 5.7'de, z yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri Şekil 5.8'de verilmiştir.

Kanatlara ait x yönündeki hız değişimleri incelendiğinde (Şekil 5.5), 300 rpm ile dönen kanat modelinde yüksek hız dağılımının varlığı dikkat çekmektedir. Diğer iki modelde ise hız değişimlerinin daha az olduğu görülmektedir. Maksimum hız değerlerine bakılır ise 300 rpm ile dönen kanat modelinin yaklaşık 2,25 m/s, 225 rpm ile dönen kanat modelinin 1,60 m/s, 75 rpm ile dönen kanat modelinin ise 0,5 m/s olduğu görülmektedir.



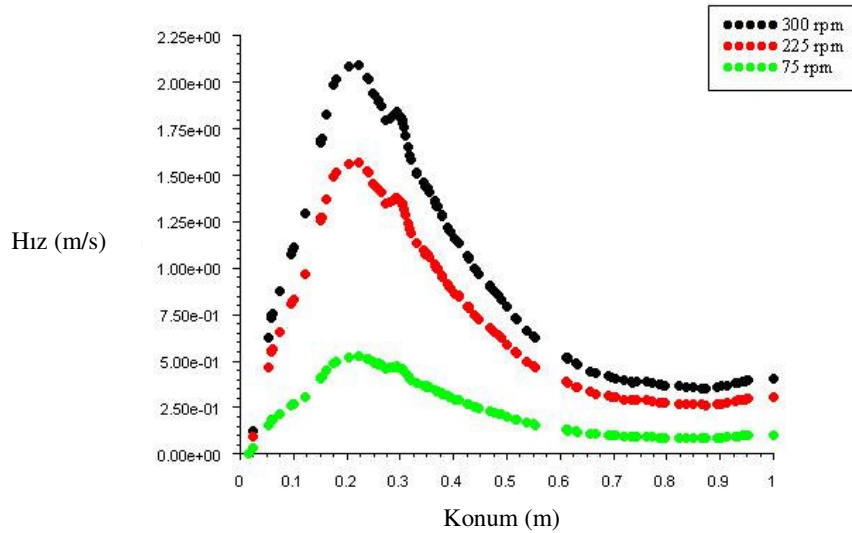
Şekil 5.5. Modeller Ait  $U_x$  Hız Değişimi

Kanatlara ait x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri incelendiğinde (Şekil 5.6), 300 rpm ile dönen kanat modelinde yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Diğer iki kanatta türbülans kinetik enerji dağılımlarının az olduğu görülmektedir. Maksimum türbülans kinetik enerjileri değerlerine bakılır ise 300 rpm ile dönen kanat modelinde yaklaşık  $0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 225 rpm ile dönen kanat modelinde  $0,125 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 75 rpm ile dönen kanat modelinde ise  $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olduğu görülmektedir.



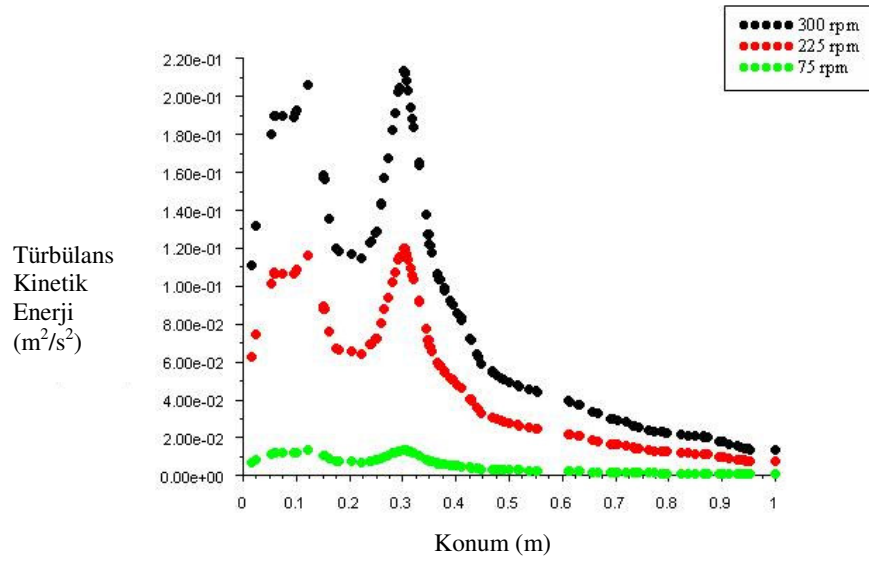
Şekil 5.6. Modellerde Ait X Yönündeki Türbülans Kinetik Enerji Değişimi

Kanatlarla ait z yönündeki hız değişimleri incelendiğinde (Şekil 5.7), 300 rpm ile dönen kanat modelinde yüksek hız dağılımının varlığı dikkat çekmektedir. Diğer iki modelde ise hız değişimlerinin daha az olduğu görülmektedir. Maksimum hız değerlerine bakılır ise 300 rpm ile dönen kanat modelinin yaklaşık 2,25 m/s, 225 rpm ile dönen kanat modelinin 1,60 m/s, 75 rpm ile dönen kanat modelinin ise 0,5 m/s olduğu görülmektedir. Kanat uçlarında maksimum hıza ulaştığı bölgeler açıkça görülmektedir. Tankın alt ve üst kısımlarına gidildikçe hızlardaki azalma miktarının oldukça fazla olduğu söylenebilir.



Şekil 5.7. Modellerde Ait Z Yönündeki  $U_z$  Hız Değişimi

Kanatlara ait z yönündeki türbülans kinetik enerji değişimleri incelendiğinde (Şekil 5.8), 300 rpm ile dönen kanat modelinde yüksek denilecek miktarda türbülans kinetik enerjinin varlığı dikkat çekmektedir. Diğer iki kanatta türbülans kinetik enerji dağılımlarının az olduğu görülmektedir. Maksimum türbülans kinetik enerjileri değerlerine bakılır ise 300 rpm ile dönen kanat modelinde yaklaşık  $0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 225 rpm ile dönen kanat modelinde  $0,125 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , 75 rpm ile dönen kanat modelinde ise  $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  olduğu görülmektedir. Kanat uçlarında maksimum türbülans kinetik enerjilerin oluştuğu bölgeler açıkça görülmektedir. Tankın alt ve üst kısımlarına gidildikçe türbülans kinetik enerji miktarının azaldığı söylenebilir.



Şekil 5.8. Modeller Ait Z Yönündeki Türbülans Kinetik Enerji Değişimi

## BÖLÜM VI

### TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak düz kanat yapısı daha sonra  $45^\circ$  eğimli kanat, geriye dönük kanat ve son olarak ta radyal kanat yapısı incelenmiştir.

Düz kanat yapısına sahip, tanktan alınan sonuçlar incelendiğinde, akışkan hacmine ait dik kesitte elde edilen hız konturları, karıştırıcı kanatlarından uzaklaştıkça akışkan bölgelerinde (özellikle tankın üst yüzeyinde ve karıştırıcı milinin alt bölgesinde) yoğun olarak durgun bölgelerle karşılaşıldığı görülmektedir.  $45^\circ$  eğimli, geriye dönük kanat ve radyal kanat modeli ile karşılaştırma yapılır ise kanattan çıkan akışkanın kanat izi etkisi düz kanatta daha az diğer üç kanatta daha fazla olduğu görülmekte ve bu durumunda karışımı olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Düz kanatta hız konturlarından görülebileceği gibi hızın kanat yakınında büyük hemen sonrasında azaldığı, geriye dönük kanatta hızın daha büyük olduğu görülmekte ve bununda akışkan karışımını iyi yönde etkilediği söylenebilir. Düz kanatta akışkan hacmine ait dik kesitte elde edilen türbülans kinetik enerji konturları incelendiğinde tankın karıştırıcı kanatlardan uzak olan kısımlarında durgun bölgelerin olduğu gözlemlenmiştir. Türbülans kinetik enerji için,  $45^\circ$  eğimli, geriye dönük kanat ve radyal kanat modeli ile karşılaştırma yapılır ise, düz kanatta kanada yakın bölgelerde yüksek onun dışında kalan bölgelerde daha az olduğu görülmekte, en iyi dağılımın radyal kanat modelinde sağlandığı, tankın hemen hemen tamamını kapsayacak şekilde türbülans kinetik enerji dağılımını sağladığı görülmüştür. Türbülans kinetik enerjideki bu dağılımın karışım üzerine olumlu etkisinin olduğu açıktır. Düz kanata ait hız vektörleri verilmiş olup burada kanat uçlarında tankın alt ve üst bölgesi olarak iki adet karışım bölgesinin olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde girdap oluşumunun kanat ucundan tank alt yüzeyine doğru olduğu, tankın üst kısmında oluşan girdabın ise tankın üst yüzeyine doğru olduğu ve çapının büyük olduğu görülmektedir. Burada oluşan iki adet bölgenin birbiri ile etkileşiminin olmadığı görülmekte ve bunun da karışımı olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Diğer modellerle karşılaştırma yapılır ise,  $45^\circ$  eğimli kanat yapısına sahip modelde hız vektörleri tankın alt bölgesine doğru bir hareket yaptıktan sonra hareket tankın üst kısmına doğru bir dögüsel harekete dönüşmektedir. Geriye dönük kanat modelinde yine düz kanat modelindeki gibi iki adet bölgenin olduğu ancak girdap çekirdeklerinin daha küçük olması nedeniyle üst ile alt bölgede karışımın devam ettiği söylenebilir.

4 farklı kanat yapısının x yönündeki hız değişimlerine bakıldığında en yüksek hız değerinin geriye dönük kanat yapısında meydana geldiği, x yönündeki türbülans kinetik enerji değişimine bakıldığında en yüksek değer radyal kanat modelinde meydana geldiği söylenebilir. Z yönündeki hız değişimlerine bakıldığında en yüksek hız değerinin radyal kanat modelinde ve aynı şekilde en yüksek türbülans kinetik enerji değerinin de bu kanatta meydana geldiği görülmüştür.



3 farklı grid yapısından alınan sonuçlarda ise, modellere ait x yönündeki hız değişimlerinin eşit olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda uygulanan sınır koşullarında grid değişiminin hız dağılımlarına etkisi olmadığı söylenebilir. Modellere ait x yönündeki türbülans kinetik dağılımlarının eşit olduğu ancak en yüksek grid sayısına sahip olan modelde kanada yakın bölgelerdeki değişimlerin biraz yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun sonucunda uygulanan sınır koşullarında grid değişiminin türbülans kinetik enerji değişimlerine bir miktar etkisinin olduğu söylenebilir.

3 farklı devir sayısından alınan sonuçlarda ise, modellere ait x yönündeki hız değişimlerinin ve türbülans kinetik enerji değişimlerinin düzenli bir şekilde artış gösterdiği söylenebilir. Aynı şekilde z yönünde de düzenli bir artış olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada hız konturları ve türbülans kinetik enerji dağılımlarında bakıldığında en iyi karıştırma etkisine sahip kanat yapısının radyal kanat olduğu görülmüştür.

Yüksek hız konturları istenilen karıştırıcı bir tankta, uygulanan sınır şartları altında en iyi kanat modeli olarak radyal kanat modeli seçilmeli ve daha sonra; sırası ile geriye dönük kanat modeli, düz kanat modeli ve  $45^\circ$  eğimli kanat modelleri seçilmelidir.

Yüksek türbülans kinetik enerjisi istenilen karıştırıcı bir tankta, uygulanan sınır şartları altında en iyi kanat modeli olarak radyal kanat modeli seçilmeli ve daha sonra; sırası ile geriye dönük kanat modeli, düz kanat modeli ve  $45^\circ$  eğimli kanat modelleri seçilmelidir.

Daha sonraki çalışmalarda tank geometrisinin, kanat sayısının ve akışkan özelliklerinin değiştirilmesi durumunda akış yapısının nasıl etkilendiği incelenebilir.

## BÖLÜM VII

### KAYNAKLAR

- Patwardhan, A.W., Joshi, J.B., (1999)** "Relation between flow pattern and blending in stirred tanks", *Ind. Eng. Chem. Res.* 38 3131–3143.
- Firoz, R.K., Chris, D.R., Grahan, K.H., (2004)** "A multi-block approach to obtain angle resolved PIV measurements of the mean flow and turbulence fields in a stirred vessel", *Chem. Eng. Technol.* 27 264–269.
- Schafer, M., Yianneskis, M., Wachter, (1998)** "P., F. Durst, Trailing vortices around a 45° pitched blade impeller", *AIChE J.* 44 1233–1265.
- Fasano, J.B., Bakker, A., Penney, W.R., (1994)** "Advanced impeller geometry boosts liquid agitation", *Chem. Eng.* 110–116.
- Ranade, V.V., Joshi, J.B., (1989)** "Flow generated by pitched blade turbines. I. Measurements using laser Doppler anemometer", *Chem. Eng. Commun.* 81 197–224.
- We-Ming, L., Hong-Zhang, W., Nai-Yu, C., Yu-Li, L., (2000)** "Effect of the blade size on the vortex structure and gas dispersion in gas–liquid stirred vessels with a single Rushton turbine impeller", *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)* 166–175.
- Rutherford, K., Mahmoudi, M.S., Lee, K.C., (1996)** "Yianneskis, M., The influence of Rushton impeller blade and disk thickness on the mixing characteristics of stirred vessels", *Chem. Eng. Res. Des.* 74 369–378.
- Bujalski, W., Nienow, A.W., Chatwin, S., Cooke, M., (1986)** "The dependency on scale of power numbers of Rushton disc turbines", *Proceedings of the International Conference on Mechanical agitation, Toulouse*, pp. 1.37–1.46.
- Medek, J., Fort, I., (1985)** "Mixing in vessel with eccentric mixer", *Proceedings of the Fifth European Conference on Mixing, Wurzburg, Germany*, , pp. 263–271.
- Fentiman, N.J., Hill, N.S.T., K.C. Lee, Paul, G.R., Yianneskis, M., (1998)** "A novel profiled blade impeller for homogenization of miscible liquids in stirred vessels", *Chem. Eng. Res. Des., Part A* 76 835–842.
- Jaworski, Z., Nienow, A.W., Dyster, K.N., (1996)** "An LDA study of the turbulent flow field in a baffled vessel agitated by an axial, down-pumping hydrofoil impeller", *Can. J. Chem. Eng.* 74 3–15.
- Tomas M., Linek, V., Eva, P., (2003)** "Gas hold-up, mixing time and gas–liquid volumetric mass transfer coefficient of various multiple-impeller configurations: Rushton turbine, pitched blade and techmix impeller and their combinations", *Chem. Eng. Sci.* 58 1839–1846.
- Bugay, S., Renaud, E., Alain L., (2002)** "Experimental analysis of hydrodynamics in axially agitated tank", *AIChE J.* 48 463–475.

- Mavros, P., Xuereb, C., Bertrand, J., (1998)** "Determination of 3-D flow fields in agitated vessels by laser Doppler velocimetry: use and interpretation of RMS velocities", *Chem. Eng. Res. Des.* 76 223–233.
- Zhou, G., Kresta, S.M., (1996)** "Distribution of energy between convective and turbulent flow for three frequently used impellers", *Chem. Eng. Res. Des.* 74 379–389.
- Swapnil, S.P., Niten, A.D., Joshi, J.B., (2004)** "Mass transfer characteristics of surface aerators and gas inducing impellers", *Ind. Eng. Chem. Res.* 43 2765–2774.
- Kulkarni, A.A., Joshi, J.B., Ravi Kumar, V., Kulkarni, B.D., (2001)** "Application of multiresolution analysis for simultaneous measurement of gas and liquid velocities and fractional hold-up in bubble column using LDA", *Chem. Eng. Sci.* 56 5037–5048.
- Sahu, A., Kumar, P., Joshi, J.B., (1998)** "Simulation of flow in stirred vessel with axial flow impeller: zonal modeling and optimization of parameters", *Ind. Eng. Chem. Res.* 37 2116–2130.
- Bird, R.B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.N., (1994)** "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ranade, V.V., Mishra, V.P., Saraph, G.B., Deshpande, G.B., Joshi, J.B., (1992)** "Comparison of axial flow impellers using a laser Doppler anemometer", *Ind. Eng. Chem. Res.* 31 2370–2379.
- Hockey, R.M., Nouri, J.M., (1996)** "Turbulent flow in a baffled vessel stirred by a 60° pitched blade impeller", *Chem. Eng. Sci.* 51 4405–4421.
- Kresta, S., Wood, P., (1993)** "The mean flow field produced by a pitched blade turbine: changes in the circulation pattern due to off bottom clearance", *Can. J. Chem. Eng.* 71 42–53.
- Galletti, C., Paglianti, A., Lee, K.C., Yianneskis, M., (2004)** "Reynolds number and impeller diameter effects on instabilities in stirred vessels", *AIChEJ.* 50 2050–2063.
- Sudhanshu, H.M., Niranjana, K., (2000)** "Observations on the shear damage to different animal cells in a concentric cylinder viscometer", *Biotech. Bioeng.* 68 (6) 697–704.
- Ghadge, R.S., Patwardhan, A.W., Sawant, S.B., Joshi, J.B., (2005)** "Effect of flow pattern on cellulase deactivation in stirred tank bioreactors", *Chem. Eng. Sci.* 60 1067–1083.
- Yianneskis, Popiolek, M., Z., Whitelaw, J.H., (1987)** "An experimental study of the steady and unsteady flow characteristics of stirred reactors", *J. Fluid Mech.* 175 537–555.
- Kemoun, A., Lusseyran, F., Mahouast, M., Mallet, J., (1994)** "Experimental determination of the complete Reynolds stress tensor in fluid agitated by a Rushton turbine", *Proceedings of the Eighth European Conference on Mixing*, , pp. 399–406.
- Renaud, E., Denis, B., Alain L., (2004)** "Characterization of trailing vortices generated by a Rushton turbine", *AIChE J.* 50 75–86.
- Drbohlav, J., Fort, I., Maca, K., Placek, J., (1978)** "Turbulent characteristics of discharge flow from the turbine impeller", *Coll. Czech. Chem. Commun.* 43 3148–3162.

**Costes J., Couderc, J.P., (1988)** "Study by laser Doppler anemometry of the turbulent flow induced by a Rushton turbine in a stirred tank: influence of the size of the units. I. Mean flow and turbulence", Chem. Eng. Sci. 43 2751–2764.

**Ranade V.V., Joshi J.B., (1990)** "Flow generated by a disc turbine. I. Experimental", Chem. Eng. Res. Des. 81 197–224.

**Lee, K.C., Yianneskis, M., (1998)** "Turbulence properties of the impeller stream of a Rushton turbine", AIChE J. 44 13–24.

**Ng, K., Yianneskis, M., (1998)** "Assessment of sliding mesh CFD predictions and LDA measurements of the flow in a tank stirred by a Rushton impeller", Chem. Eng. Res. Des. 76 737–747.

**Ng, K., Yianneskis, M., (2000)** "Observations on the distribution of energy dissipation in stirred vessels", Chem. Eng. Res. Des. 78 334–341.

**Wechsler, K., Breuer, M., Durst, F., (1999)** "Steady and unsteady computations of turbulent flows induced by a 4/45° pitched blade impeller", J. Fluids Eng. 121 318–329.

**Patwardhan, A.W., Joshi, J.B., (1999)** "CFD—an emerging tool for the design of stirred vessel", Proceedings of Third International Symposium on Mixing in Industrial Processes, , pp. 13–20.

**Fluent User's Guide, 2000.**

## BÖLÜM VIII

### ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden Otomotiv Öğretmeni unvanıyla mezun oldu. 2006 yılında Cumhuriyet Üniversitesi'ne bağlı Teknik Eğitim Fakültesi'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Şu anda hala Cumhuriyet Üniversitesi Teknik Eğitim Makine Eğitimi Bölümünde görevini sürdürmektedir.

#### **Yayımları:**

1. D. Engin ALNAK, Adnan ÖZTÜRK, Ali PINARBAŞI, “ Karıştırıcı Tanklarda Akış Yapısının İncelenmesi”, 15. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 7-8-9 Eylül 2005, Trabzon, TÜRKİYE.