

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇİFT FAZLI ÜRÜNLERİN KARIŞIMI İÇİN YÜKSEK KAYMA  
GERİLMELİ KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI**

**FURKAN KORKMAZ**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

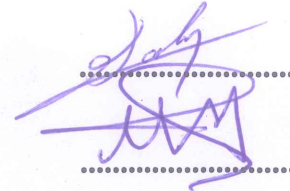
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇİFT FAZLI ÜRÜNLERİN KARIŞIMI İÇİN YÜKSEK KAYMA**  
**GERİLMELİ KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI**

**FURKAN KORKMAZ**

**Prof. Dr. Hasan KARABAY**  
**Danışman, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**Doç. Dr. Müslüm ARICI**  
**Jüri Üyesi, KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**Prof. Dr. Fikret YÜKSEL**  
**Jüri Üyesi, YALOVA ÜNİVERSİTESİ**



**Tezin Savunulduğu Tarih: 18.10.2019**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, karışım proseslerinin kullanıldığı sektörlerin en temel ihtiyacı olan homojen bir karışım elde etme gereksinimleri göz önüne alınmıştır. Bu ihtiyacı gidermek için başarılı bir şekilde kullanılan yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıların tasarımı üzerine çalışılarak katı-sıvı karışımları için gerçekleştirilen tasarımlar deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Başarılı bir çalışma gerçekleştirmem için benimle değerli fikirlerini paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan KARABAY'a, proje çalışması esnasında mühendislik yorumlarını benimle paylaşan Avni ERTAŞ'a, deney setinin kurulmasında gerekli her türlü desteği veren Asyamak Firmasına teşekkürlerimi sunarım. Proje de ortak çalışmalar yürütmüş olduğum değerli arkadaşım Selim ÜNAL'a ayrıca teşekkür ederim.

Her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve daima yanımda olan ailelerime çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarını süresince gerekli azmi göstermemi sağlayan ve daima olumlu düşünmemi sağlayan sevgili eşime çok teşekkür ederim.

Haziran – 2019

Furkan KORKMAZ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT .....	viii
GİRİŞ .....	1
1. GENEL BİLGİLER.....	5
1.1. Karıştırıcı Başlıklar .....	6
1.1.1. Pervane tip karıştırıcılar .....	6
1.1.2. Yüksek kayma gerilmeli rotor-stator karıştırıcı başlıklar.....	8
1.2. Karıştırıcı Tipleri .....	12
1.2.1. Kazan tipi rotor-stator karıştırıcılar .....	12
1.2.2. Sürekli tip rotor-stator karıştırıcılar.....	13
1.3. Deney Ürünlerinin Özellikleri.....	15
1.4. Literatür Özeti .....	17
2. UYGULANAN TESTLER VE TEST YÖNTEMLERİ .....	27
2.1. Viskozite Ölçümü.....	27
2.2. Yoğunluğun Hesaplanması .....	28
2.3. Devir Ölçümü .....	30
2.4. Debi Ölçümü .....	30
2.5. Güç Ölçümü .....	31
3. YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ KARIŞTIRICI ÜRETİMİ.....	34
3.1. Karıştırıcı Başlıkların Tasarımı ve İmalatı.....	34
3.2. Besleme Hattı Tasarımı ve İmalatı .....	40
3.3. Ana Tank Tasarımı.....	42
3.4. Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcı Tasarımı ve Test Düzenegi.....	44
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	46
4.1. Başlık Tasarımlarının Akış Hızına Olan Etkisinin Değerlendirilmesi.....	46
4.2. Elde Edilen Viskozite Değerlerinin Değerlendirilmesi.....	49
KAYNAKLAR .....	54
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	59

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Farklı karıştırıcı uygulamaları.....	5
Şekil 1.2.	Karıştırıcı elemanları.....	6
Şekil 1.3.	Pervane tipi karıştırıcı başlık tasarımları.....	7
Şekil 1.4.	Eksenel ve radyal başlıkların akış üzerindeki etkisi .....	7
Şekil 1.5.	Karıştırıcı başlıkların ayrıştırma işleminde .....	8
Şekil 1.6.	Rotor-stator karıştırıcı başlık örneği .....	9
Şekil 1.7.	Delikli tip stator ve rotor .....	10
Şekil 1.8.	Dişli rotor-stator tasarımı .....	11
Şekil 1.9.	Eksenel etkili rotor-stator başlık tasarımları a) Tek kademeli b) Çift kademeli .....	11
Şekil 1.10.	Kazan tipi rotor-stator karıştırıcının gerçekleştirdiği aşamalar.....	13
Şekil 1.11.	Sürekli tip karıştırıcıda gerçekleşen aşamalar .....	14
Şekil 1.12.	Newtonien ve Newtonien olmayan akışkanlar.....	16
Şekil 1.13.	Silverson marka: (a) EMSC stator (b)GPDH – SQHS stator (c) rotor .....	20
Şekil 1.14.	Ytron marka: (a) rotor (b) stator (c) rotor + stator .....	20
Şekil 1.15.	Besleme hattındaki dirsek yarıçaplarına bağlı türbülans yoğunluğu bölgelerinin oluşumu.....	21
Şekil 1.16.	Kesme rotor stator bölgesindeki hız vektörleri .....	23
Şekil 1.17.	Rotor-stator karıştırıcılarda jet hızı oluşumu .....	24
Şekil 1.18.	Rotor-stator karıştırıcılarda haznenin karakteristik uzunluğu ( $D_v$ ).....	25
Şekil 2.1.	Rotasyonel viskozitemetre .....	28
Şekil 2.2.	Mezür ve hassas terazi.....	29
Şekil 2.3.	Takometre.....	30
Şekil 2.4.	Debi ölçüm sisteminin besleme hattına bağlantısı .....	31
Şekil 2.5.	Tork ölçüm sistemi.....	32
Şekil 2.6.	Tork ölçüm sistemi.....	33
Şekil 3.1.	Kanatlı tip rotor tasarımı .....	34
Şekil 3.2.	Kanatlı rotor .....	35
Şekil 3.3.	Delikli stator tasarımı .....	36
Şekil 3.4.	Delikli stator ürün görseli.....	36
Şekil 3.5.	Dar delikli stator tasarımı.....	37
Şekil 3.6.	Dar delikli ürün görseli .....	38
Şekil 3.7.	Oluklu stator tasarımı .....	39
Şekil 3.8.	Oluklu ürün görseli.....	39
Şekil 3.9.	Ürün hattı tasarımı.....	41
Şekil 3.10.	Eğimli ürün hattı.....	42
Şekil 3.11.	Ana tank tasarımı .....	43
Şekil 3.12.	Ana tank imalatı .....	44
Şekil 3.13.	Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı tasarımı .....	45
Şekil 3.14.	Sürekli tip yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı deney düzeneği .....	45
Şekil 4.1.	Rotor-stator başlıkların rotor dönüş hızına bağlı olarak akış hızına olan etkisi.....	46

Şekil 4.2. Sistemde oluşan topaklanmalar .....	50
Şekil 4.3. Dönme hızına bağlı olarak enerji kullanımı .....	53



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Rotor ve stator tasarımlarının karışım hacmi içerisindeki yerleşimleri.....	40
Tablo 4.1. Başlık tasarımlarının farklı rotor hızlarındaki enerji dağılım oranları .....	47
Tablo 4.3. 2500d/dk'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda farklı tasarımlara ait viskozite ve yoğunluk değerleri.....	51
Tablo 4.4. Başlık tasarımına bağlı olarak ürünlerin karışım hacmi içerisinde kalma süreleri .....	52



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\tau$	: Kayma gerilmesi, (N/mm <sup>2</sup> )
$\delta$	: Rotor-stator arası mesafe, (m)
$\gamma$	: Kinematik viskozite, (m/s <sup>2</sup> )
$\rho_f$	: Akışkanın yoğunluğu, (kg/m <sup>3</sup> )
$\mu$	: Dinamik viskozite, (Pa.s)
A	: Alan, (mm <sup>2</sup> )
D	: Rotor çapı, (mm)
$d_h$	: Hidrolik çap, (mm)
$D_{\text{radyal}}$	: Karakteristik uzunluk, (mm)
g	: Yerçekimi, (m/s <sup>2</sup> )
L	: Ağırlığın şaftın ağırlık merkezine olan uzaklığı, (mm)
N	: Açısal hız, (s <sup>-1</sup> )
P	: Akış alanı çevresel genişliği, (mm)
P	: Güç, (W)
$P_0$	: Güç sayısı (Newton sayısı)
Re	: Reynold sayısı
t	: Ölçülen süre, (sn)
T	: Tork, (Nm)
$T_R$	: Rotorda kalma süresi, (s)
$T_\delta$	: Kesme boşluğunda kalma süresi, (s)
$T_S$	: Stator da kalma süresi, (s)
$T_V$	: Karışım hacminde kalma süresi, (s)
$T_T$	: Toplam kalma süresi, (s)
$u_{\text{jet}}$	: Jet hızı, (m/s)
$u_{\text{tip}}$	: Uc hızı, (m/s)
W	: Ağırlık, (N)
$\rho_c$	: Akışkan yoğunluğu, (gr/cm <sup>3</sup> )

## Kısaltmalar

CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği)
CMC	: Carboxy Methyl Cellulose (Carboxy Metil Selüloz)
DSD	: Droplet Size Distribution (Damlacık Boyutu Dağılımı)
LDA	: Laser Doppler Anemometry (Lazer Dopler Anemometresi)
PIV	: Particle Image Velocimetry (Parçacık Görüntü Hız Ölçümü)
RSK	: Rotor Stator Karıştırıcı



## ÇİFT FAZLI ÜRÜNLERİN KARIŞIMI İÇİN YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI

### ÖZET

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar, rotor ve statorun da etkisi ile birlikte yüksek oranda deformasyon performansına sahiptirler. Bu da katı-sıvı homojen karışımlarda kısa sürede istenilen ürünün elde edilmesini sağlarken, süspansiyon oluşturacak katı-sıvı karışımlarda ise partiküllerin parçalanması ve daha küçük boyutlara ulaşmasını sağlamak için kullanılır.

Katı-sıvı karışımlar için örnek uygulama ürünü olarak karboksimetil selüloz (CMC) ile suyun ağırlıkça %1'lik karışımı tercih edilmiştir. Newtonien olmayan akışkan özelliği gösteren bu karışımın 2500d/dk rotor hızında farklı başlık tasarımları ile yapılan testleri sonucunda karışım süresine bağlı olarak  $\approx 0,4$  Pa.s viskozite değerleri elde edilmiştir. İşlem süresinin yeterince uzun tutulması durumunda elde edilen ürünün özellikleri statorlu geometrilerin hepsinde eşit olmaktadır. Ancak sistem tarafından kullanılan enerji miktarı önemli oranda değişmektedir. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken husus enerji ve zaman verimlilikleridir. Bu durumları incelemek için her bir başlık tasarımı ile elde edilen tork ve debi miktarları farklı rotor hızlarında değerlendirilmiştir.

Debinin rotor hızına bağlı olduğu karıştırıcılarda stator geometrisinin akış hızlarında önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Bunun için aynı işletme koşulları altında farklı geometrik tasarımlar ile deneyler yapılmıştır. Tüm rotor hızları için yaklaşık olarak debi ve tork değerlerinin ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Debi miktarları yönünden en başarılı başlık geometrisi büyük delikli statora sahip karıştırıcı başlıktır. Enerji dağılım oranı yönünden ise en başarılı geometri oluklu statora sahip karıştırıcı başlık olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Rotor-Stator Karıştırıcı, Süspansiyon, Topaklaşma, Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcı.

## **HIGH SHEAR MIXER DESIGN AND MANUFACTURING FOR MIXING OF TWO PHASES PRODUCTS**

### **ABSTRACT**

High shear mixers have high deformation performance with effect of rotor and stator. Thus have solid and liquid mixtures in a short time. Also, in the solid-liquid mixtures to form a suspension is used to provide access to the particle breakdown and a smaller size.

As an exemplary application product for solid-liquid mixtures, 1% by weight of carboxymethyl cellulose (CMC) and water were preferred. The viscosity values of  $\approx 0.4$  Pa.s were obtained depending on the mixing time as a result of the tests performed with different head designs at 2500rpm rotor speed of this mixture showing non-Newtonian fluid properties. If the process time is kept long enough, the properties of the product obtained are equal in all stator geometries. However, the amount of energy used by the system varies considerably. Therefore, energy and time efficiencies should be considered. In order to examine these cases, torque and flow rates obtained with each head design were evaluated at different rotor speeds.

It was found that stator geometry is an important factor in flow formation in mixers where flow rate depends on rotor speed. Experiments with different geometric designs were performed under the same operating conditions. For all rotor speeds, it has been found that flow and torque values are inversely proportional.

The most successful head geometry in terms of flow rates is the mixer head with a large holes stator. In terms of energy distribution rate, the most successful geometry was determined as the mixing head with corrugated stator.

**Keywords:** Energy Efficiency, Rotor-Stator Mixer, Suspension, Agglomeration, High Shear Mixer.

## GİRİŞ

Bileşik, karışım ve karıştırma işlemini birbirinden ayırt etmek önemlidir. Bileşik, iki ya da daha fazla maddenin kimyasal reaksiyon oluşturarak kimyasal ve fiziksel özellikleri ham maddelerinden farklı olan yeni bir ürün ortaya çıkmasıdır. En basit örnek gaz halinde bulunan hidrojen ve oksijenin bir araya gelmesi ile suyun meydana gelmesidir.

Karışım ise iki ya da daha fazla ürünün fiziksel olarak bir araya gelmesi ile ortaya çıkan saf olmayan yeni bir üründür diyebiliriz. Bu ürünün içerisinde bulunan madde ya da bileşikler, kimyasal özelliklerini korur ve fiziksel işlemler ile yeniden ayırt edilebilir.

Karışımlar özelliklerine göre ikiye ayrılırlar. Bunlar homojen ve heterojen karışım olarak nitelendirilir. Homojen karışım, ürünlerin karışım içerisinde dengeli bir şekilde dağıldığı ve her yerinde aynı bileşen özelliklerini barındırdığı karışımlardır. Hava homojen karışımlara verilebilecek en bilinen örnektir. Heterojen karışımlar, homojen karışımların tersine her bölgede farklı bileşen özellikleri gösterirler. Genel bir ifade olarak homojen karışımlar gözle bakıldığında bütün gibi görünürken heterojen karışımlarda birden fazla ürün görülmektedir. Ancak bu her zaman gözle belli olmamakta mikroskop gibi ekipmanlar ile gözlemlenebilmektedir. Bu duruma en güzel örnek ise süttür. Süt görüntüde homojen gibi görünse de mikroskop ile incelendiğinde heterojen bir karışımdır. Heterojen karışımlar; süspansiyon, emülsiyon, aerosol, koloit ve basit (adi) karışımlar şeklinde 5 sınıfa ayrılırlar. Şeker ile çay gibi katı-sıvı karışımlar süspansiyon, zeytinyağı-su gibi sıvı-sıvı karışımlar emülsiyon olarak adlandırılmaktadır. Duman gibi katı-gaz ya da sis gibi sıvı-gaz karışımları aerosol olarak isimlendirilmektedir. Sıvı içerisinde askıda kalmış olan katı partiküllerin ancak mikroskop ile görülebileceği karışımlardır. Süt ve kan bu karışım türü için verilebilecek en güzel örnektir. Son olarak basit (adi) karışımlar ise katı-katı karışımlardır. Un-tuz adi karışımlar için en güzel örnektir.

Karıştırma işlemi, insanoğlunun toprak ve suyu karıştırarak çamuru elde edebilmeyi öğrenmesinden itibaren gerçekleştirdiği bir eylemdir. Karıştırıcılar ile ilgili ilk patentler 19. yy. ilk yarısına denk gelse de bir disiplin olarak kabul edilmesi ve akademik olarak yayınların gerçekleştirilmesi 20. yy. ortalarını bulmaktadır [1-3]. Karıştırma işlemi denildiğinde akla ilk olarak iki ya da daha fazla ürünün birbiri ile etkileşimi sayesinde yeni bir ürün elde edilmesi işlemi gelmektedir [4]. Ancak karıştırma işleminin amacı, daha homojen yani dengeli dağılıma sahip bir ürün elde etmek, ürünler arasında ısı ya da kütle transferi gerçekleştirmek, ürünlerin birleşerek daha büyük bir kütle (topaklaşma) oluşturmasını engellemek, durağan durumda donmasını engellemek ya da gerçekleşmesi istenen kimyasal reaksiyonu hızlandırmakta olabilir.

Karışım kalitesi, karıştırılacak ürünlerin istenilen oranda ve homojen bir şekilde karışıma dahil edilmesi olarak açıklanabilir. Özellikle büyük boyutlu endüstriyel karışım işlemlerinde karışım kalitesini istenilen şekilde sağlamak oldukça güçleşmektedir. Bu nedenle de her geçen gün ihtiyaçlara yönelik olarak karıştırıcı teknolojisi geliştirilmektedir.

Karıştırma teknolojisi pek çok üretim ve geri dönüşüm prosesinde anahtar rol oynamaktadır. Aynı zamanda da buldukları proseslerin işlem süresi ve elde edilecek olan ürünün kalitesini oldukça etkilemektedirler. Bu teknoloji mutfaktaki el mikserinden çimento karma makinalarına, boya pigmentleri ile diğer kimyasalları karıştırarak duvar boyası elde etmekten el kremlerinin pürüzsüz bir yapıya sahip olmasına, belirli katkıların karıştırılarak ketçap imalatı gerçekleştirilmesinde asfalt imalatına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Karıştırma teknolojisinin sıkça kullanıldığı sektörleri listeleyecek olursak [1];

- Tarımsal ve farmasotik (ilaç) kimya
- Petrokimya
- Biyoteknoloji
- Polimer malzeme
- Boya
- Kozmetik
- Gıda

- Atık su prosesleri
- Kağıt hamuru imalatı ve geri dönüşümü

Bu sektörlerde dönem dönem bazı araştırmalar gerçekleştirilmiş ve bu araştırmalarda karışım kalitesinin imalat ile ürün maliyetlerine olan yansımaları incelenmiştir. Obeng ve arkadaşlarının, 2004 yılında endüstriyel karıştırıcılar ile ilgili geniş kapsamlı bir kitap hazırlamışlardır. Bu kitapta sektörel olarak maliyet değerlendirmeleri ve karıştırıcı teknolojisinin maliyetlere olan etkisi ile ilgili bazı bilgiler verilmiştir [1];

- Karıştırma teknolojisinin etkin olarak kullanıldığı önemli sektörlerden biri olan ilaç sektöründe maliyet değerlendirmeleri 4 kategoriye ayrılmıştır:

1. Düşük verim nedeniyle maliyetler
2. Proses boyutlarının değiştirilmesi ve süreç geliştirme sorunlarından kaynaklanan maliyetler
3. Kaybedilen fırsatlardan kaynaklanan maliyetler
4. Karıştırma sorunlarının yeni ürünlerin pazara ulaşmasına engel olmasıdır (çok büyük bir maliyete sebep olur).

Bu değerlendirme alanlarından 1. ve 4. maddede geçen maliyetler karışım teknolojisini oldukça ilgilendirmektedir. Keza 4. madde direkt olarak karıştırıcı teknolojisi ile alakalıdır. 1. maddede ise prosesteki genel verimden bahsedilmiştir. Karıştırıcının performansı ve karışım kalitesi de verimi etkileyen önemli unsurlardan biridir.

- Kimya sektöründe kullanılan karıştırma teknolojisinin karışım kalitesini istenilen seviyeye getirememesinden ya da işlem sürelerinin çok uzun olmasından dolayı 1989 yılında ABD ekonomisini 1 ila 10 milyar dolar arasında zarara uğrattığı tespit edilmiştir. Yine benzer bir sebepten ötürü, kimyasal ürünler üzerine çalışan çokuluslu bir firma yıllık bazda 100 milyon dolarlık bir değer kaybı yaşamıştır [1].

- Karıştırıcı teknolojisinin kullanıldığı ve önemli bir yere sahip olduğu sektörde kâğıt sektörüdür. Kağıt sektöründe, 1980'li yıllarda CPPA'nın (Central Power Purchasing Agency) tarafından bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma sonucunda kağıt üretim proseslerinde kullanılan karıştırıcı teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte kimyasal etken maddelerden ortalama %10 ila %15 aralığında

kazanç elde edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca fabrikalar teknolojilerini geliştirmek adına yapmış oldukları yatırımların maliyetlerini 3 ay gibi kısa bir sürede kazanmışlardır [1].

- Sulu Poliakrilamid (PAA), kağıdın mukavemetini arttırmak için kullanılan bir maddedir. Nikiforov ve arkadaşları (1990), sulu poliakrilamid çözeltilerinin üretiminde geleneksel karıştırıcılara alternatif bir üretim yöntemi olarak rotor-stator karıştırıcıları geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geleneksel karıştırıcılarda, karışımın gerçekleştirildiği tankta durağan bölgeler oluşmaktadır. Bu bölgelere yerleşen maddeler karışıma dahil edilememekte ve karışım kalitesi istenilen seviyeye ulaşamamaktadır. Ayrıca karışımın her bölgesi için üniform bir PAA çözeltisinin elde edilemediği ve ideal özgül enerji oranının ( $\epsilon$ ) 10W/kg'a kadar yükseldiği tespit edilmiştir. PAA çözeltileri için üniform bir yapıya rotor-stator karıştırıcılar ile birlikte çok kısa bir zamanda ulaşılabildiği gibi ideal özgül enerji oranının ( $\epsilon$ ) 1015 W/kg değerine kadar arttığı belirlenmiştir [5].

Bu gibi örneklerden de anlaşılabilceği gibi karıştırıcıların kullanıldığı alanlarda, gerçekleştirilmek istenilen emülsiyon, dispersiyon ve kimyasal reaksiyon işlemlerini Yüksek Kayma Gerilmeli Rotor-Stator Karıştırıcı ile daha başarılı bir şekilde gerçekleştirmek mümkündür [6].

Bu çalışmada, karışım teknolojisinde ileri bir seviye olan Yüksek Kayma Gerilmeli Rotor-Stator Karıştırıcıların tasarımı ve imalatı gerçekleştirilerek katı-sıvı karışımlar için başlık tasarımların etkileri incelenmiştir. 1. Bölüm'de geleneksel karıştırıcılar, rotor stator karıştırıcılar (RSK) ve karışımlarda kullanılan malzemeler hakkında genel bilgiler verilmiştir. 2. Bölüm'de ise performans değerlendirilmesi için kullanılan ölçüm ve hesaplama yöntemlerinden bahsedilmiştir. 3. Bölüm'de ise yüksek kayma gerilmeli karıştırıcının imalatından görsel ürünler ile birlikte bahsedilmiştir.

Çalışmam da Selim Ünal ile birlikte yüksek kayma gerilmeli karıştırıcının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmal edilen yüksek kayma gerilmeli rotor-stator mikser ile birlikte bu çalışma da kanatlı rotor tasarımı ile delikli tip statorların katı-sıvı karışımlara olan etkisi incelenirken Selim Ünal'ın çalışmasında sıvı-sıvı karışımların üzerine dişli rotor-stator tasarımının etkisi incelenmiştir.

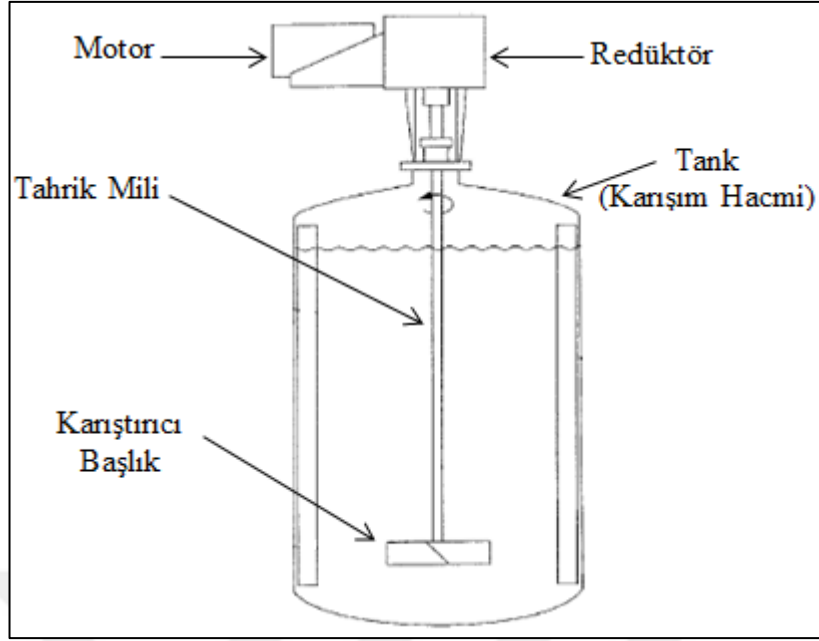
## 1. GENEL BİLGİLER

Mutfakta kullanılan el mikserinden hamur yoğurma mikserine, metal matrisli kompozit karıştırıcılardan laboratuvarlarda kullanılan numune karıştırıcılara kadar farklı amaçlarla ve farklı boyutlarda kullanılan karıştırıcılardan bahsedebiliriz. Şekil 1.1’de farklı karıştırıcı uygulamalarından bazıları verilmiştir.



Şekil 1.1. Farklı karıştırıcı uygulamaları

Karıştırma işlemi, karıştırıcının dönüş hareketi yapması ile gerçekleşir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi karıştırıcılar üç temel bölümden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi tank (karışım hacmi), ikincisi karıştırıcı başlık, üçüncüsü ise tahrik sistemidir (motor-redüktör-tahrik mili) [7]. Karıştırıcı başlık ve karışım hacmi değiştirilerek uygulama alanlarına göre birçok farklı karıştırıcı tasarımı gerçekleştirilebilir.



Şekil 1.2. Karıştırıcı elemanları [7]

### 1.1. Karıştırıcı Başlıklar

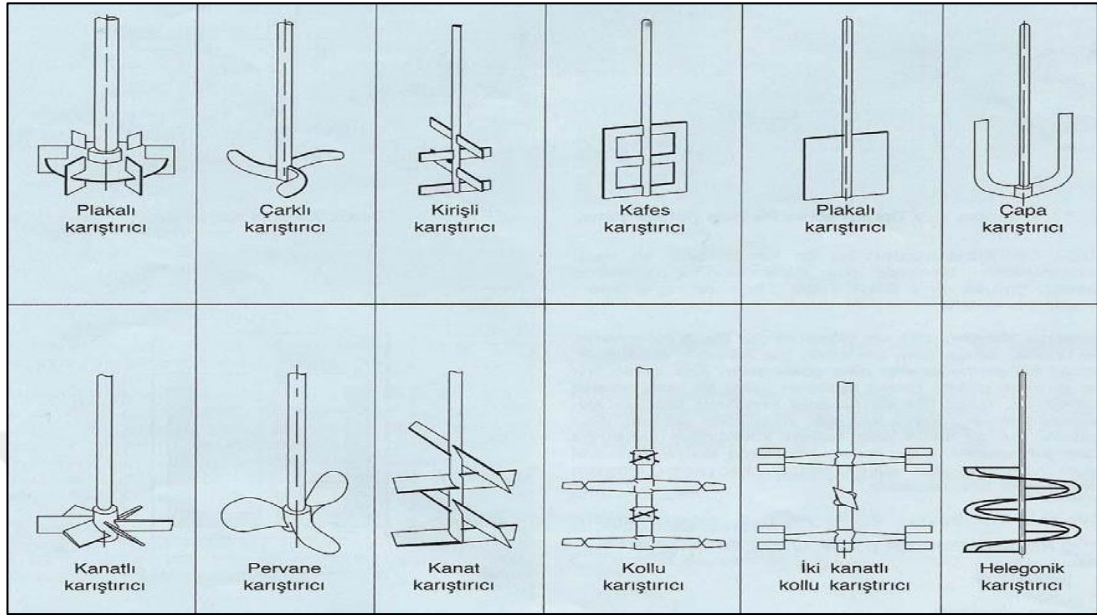
Karıştırıcı başlıklar tank ve tahrik sistemine nazaran karıştırıcı sisteminde en önemli yere sahiptir. Bu nedenle de başlıkların tasarımı ile ilgili çok farklı tasarımlar gerçekleştirilmiş ve üzerinde çalışılmıştır. Karıştırıcı başlığın ürünler üzerinde oluşturduğu kesme kuvvetleri partikül ya da damlacıkların parçalanmasını ve karışmasını sağlamaktadır.

#### 1.1.1. Pervane tip karıştırıcılar

Şekil 1.3'de pervane tipi karıştırıcı başlıkları ile ilgili örnekler verilmiştir. Ürün fazlarına, karıştırılacak olan ürünlerin viskozitelerinin farkına ve miktarına göre karışım başlığının tipine karar verilmektedir. Örneğin Şekil 1.3'deki kafes tipi karıştırıcı başlıklar el mikserlerinde sıkça kullanılan pervane tipi karıştırıcı tasarımıdır. Çapa tipi karıştırıcılar ise sıkça kullanılan bir diğer pervane tipi karıştırıcı tasarımıdır. Bunlar özellikle yüksek viskozitelere sahip ve düşük hızla karıştırma işlemi gerçekleştirilmesi gereken prosesler de tercih edilirler. Hamur karışımı ve teflon malzemelerin karışımı için sıkça tercih edilmektedir. Önemli avantajlarından birisi de karışım tankının yüzeylerine yakın bir şekilde geçiş sağladığı için ürünlerin duvarlara yapışmasına engel olmakta ve karışım dahil

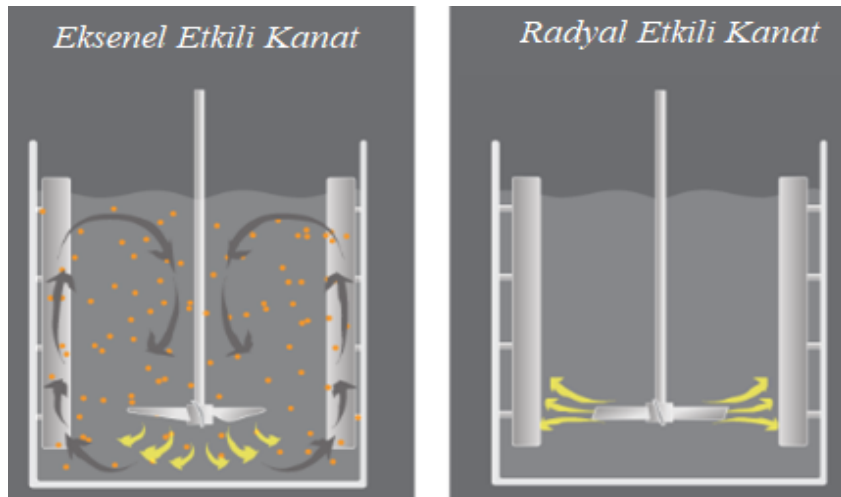


olmasını sağlamaktadır. Helegonik karıştırıcılar ise çapa türü karıştırıcıların farklı bir geometrik tasarımıdır. Ancak aynı amaçla kullanılmaktadırlar.



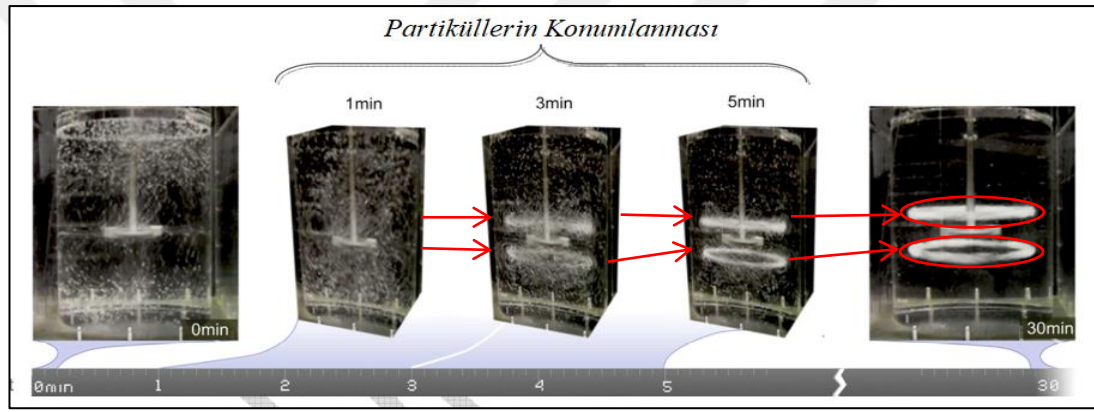
Şekil 1.3. Pervane tipi karıştırıcı başlık tasarımları [7]

Karıştırıcı başlıkları akışkanı sürükledikleri yöne göre de iki şekilde isimlendirilir. Bunlar aksenal ve radyal kanatlardır. Aksenal ve radyal kanatların etkisi ile karışan akışkanların kazan tipi modellerindeki hareketleri Şekil 1.4’de verilmiştir. Aksenal etki ile akışkanlar önce tankın alt kısmına hareket edip ardından tekrar yüzeye doğru hareket gerçekleştirir. Sonunda ise tekrar karıştırıcı başlığın mekanik etkisi altına girer. Radyal karıştırıcılarda ise başlıkların oluşturduğu etki ile akışkanlar başlıklardan tank çevresine yönlendirmektedir.



Şekil 1.4. Aksenal ve radyal başlıkların akış üzerindeki etkisi

Geleneksel karıştırıcılarda rotasyonel hareketi gerçekleştirerek, tank içerisinde granüllerin ya da akışkanın karışmasını sağlayan pervaneler bulunmaktadır. Özellikle birbiri ile reaksiyona girmeyen katı-sıvı karışımlarda kullanılmak istenildiğinde partiküllerin kümelenmesi riski bulunmaktadır. Partiküllerin kümelenmesi özellikle biyokimya alanında ayrıştırma yöntemi olarak kullanılır. Plakalı pervanenin sıkça kullanıldığı bu yöntem de pervanenin dönüş işlemine devam etme süresine bağlı olarak Şekil 1.5’de görüldüğü gibi dağınık halde bulunan katı ürünler pervanenin üst ve alt bölgesinde karışım bölgeleri oluşturur. Ardından bu bölgelerde kümelenmiş olan partiküller bir pompa yardımıyla tahliye edilerek ayrıştırma işlemi gerçekleştirilir [8].



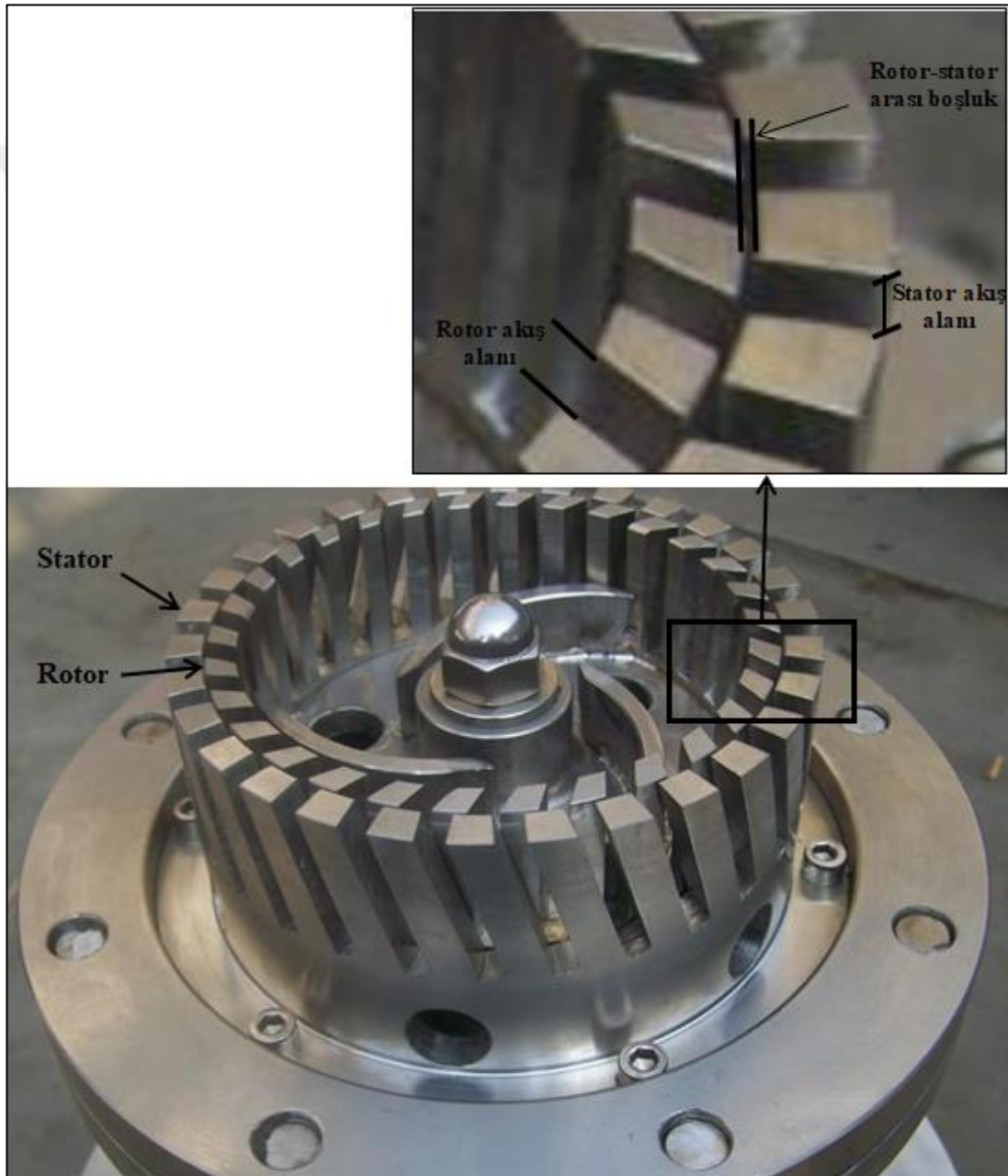
Şekil 1.5. Karıştırıcı başlıkların ayrıştırma işlemi [8]

Karışım işlemlerinde kullanılacak ürünlerin özellikleri karıştırıcı başlıkların özelliklerinin belirlenmesi için önemli bir parametredir. Karıştırıcıya dahil edilen ürünlerin miktarı yalnızca kimyasal olarak değil aynı zamanda da karıştırıcının karışım hızına göre de ayarlanmalıdır.

### 1.1.2. Yüksek kayma gerilmeli rotor-stator karıştırıcı başlıklar

Rotor-stator karıştırıcılar olarakta isimlendirilen bu karıştırıcıların diğer karıştırıcı türlerine göre en önemli farkları stator içerisindeki rotorun yüksek bir hızla dönmesidir. Rotorun dış çapındaki akışkanın hızı 10 ile 50m/s arasında değişiklik göstermektedir [1,9,10]. Lokal enerji dağılım oranları ve oluşturdukları kesme kuvvetleri miktarının geleneksel karıştırıcılara göre çok yüksek olması nedeniyle de “Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcılar” ismini almışlardır. Yüksek hız ve hassas işlenen başlık tasarımları sayesinde geleneksel karıştırıcılara göre %90’a kadar

üretim süresini kısaltabilirler [11]. Myers ve arkadaşları, geleneksel karıştırıcıların 1m çapına sahip karıştırıcı başlıklar ile gerçekleştirebildiği işlemleri rotor-stator karıştırıcıların 0,1m'lik çapa sahip karıştırıcı başlık ile gerçekleştirilebileceğini belirtmiştir. Yüksek hızları sayesinde işlem sürelerini kısaltmalarının yanında geometrik özellikleri sayesinde de geleneksel karıştırıcılara nazaran önemli avantajları mevcuttur [12]. Şekil 1.6'da rotor stator karıştırıcılarda kullanılan bir başlık örneği verilmiştir.



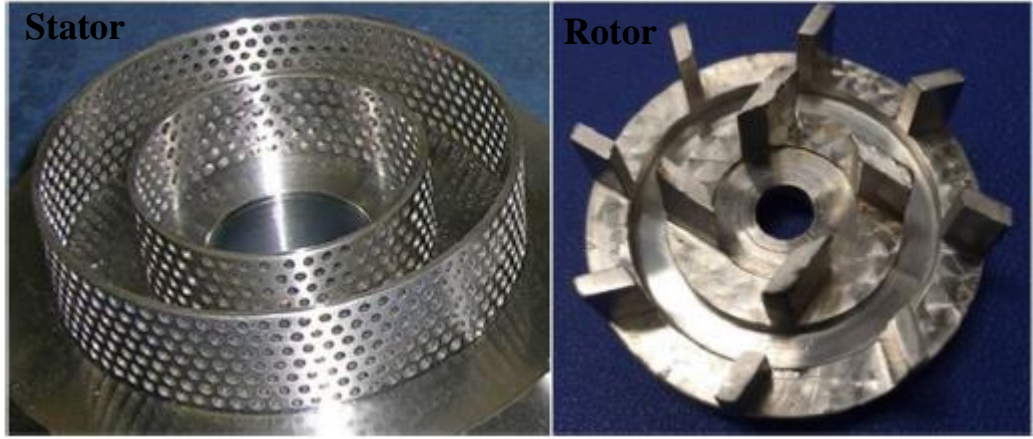
Şekil 1.6. Rotor-stator karıştırıcı başlık örneği

Rotor-stator karıştırıcılarda parçalama ve karıştırma işlemleri şu şekilde gerçekleşir [10,13-15];

1. Stator içerisine konumlandırılmış olan rotorun yüksek açısal hızı ile birlikte ürünler ilk olarak rotorun oluşturduğu kuvvetlere maruz kalırlar.
2. Yine rotorun oluşturduğu merkezkaç etkisi ile birlikte akışkan rotor ile stator arasındaki kesme boşluğundan geçer. Bu boşluk yaklaşık olarak 100 ile 3000 $\mu$ m arasında değişen ölçülere sahiptir.
3. Statorun geçiş alanından geçerken son kez kayma gerilmesine maruz kalan ürünler karışım hacmini terk eder.

Sürekli tip rotor-stator karıştırıcı kullanımında genellikle karşılaşılan 3 farklı karışım başlığı tasarım mevcuttur [16];

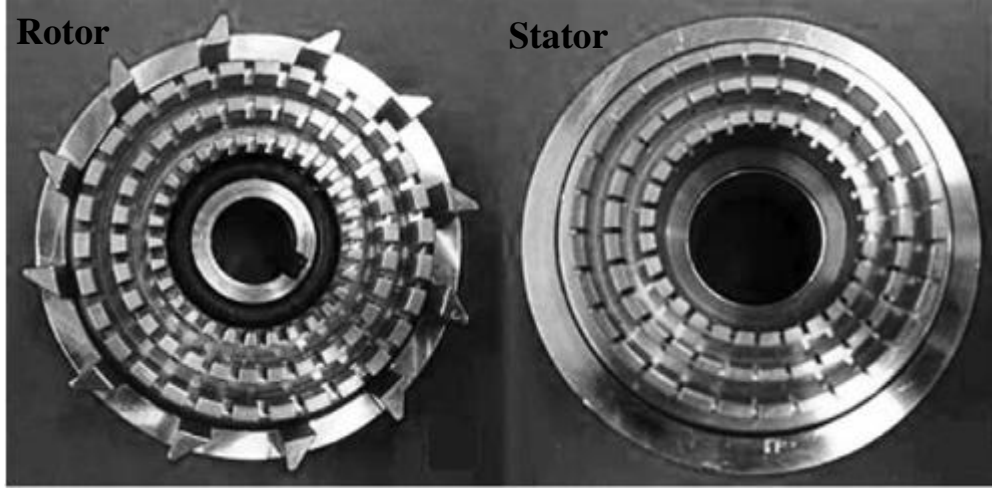
- 1) Şekil 1.7’da verilmiş olan rotor ve stator tasarımları en sık karşılaşılan rotor-stator tasarımıdır. Stator geometrisindeki geçiş alanlarının boyutları ve şekilleri değiştirilerek üreticiler tarafından özel isimler alsalar da stator geometrisinden dolayı en genel ismi ile delikli tip rotor-stator tasarımı olarak adlandırılırlar. İçerisinde bulunan rotorlar ise tek başlarına kanatlı tip rotor olarak isimlendirilmektedirler.



Şekil 1.7. Delikli tip stator ve rotor [17]

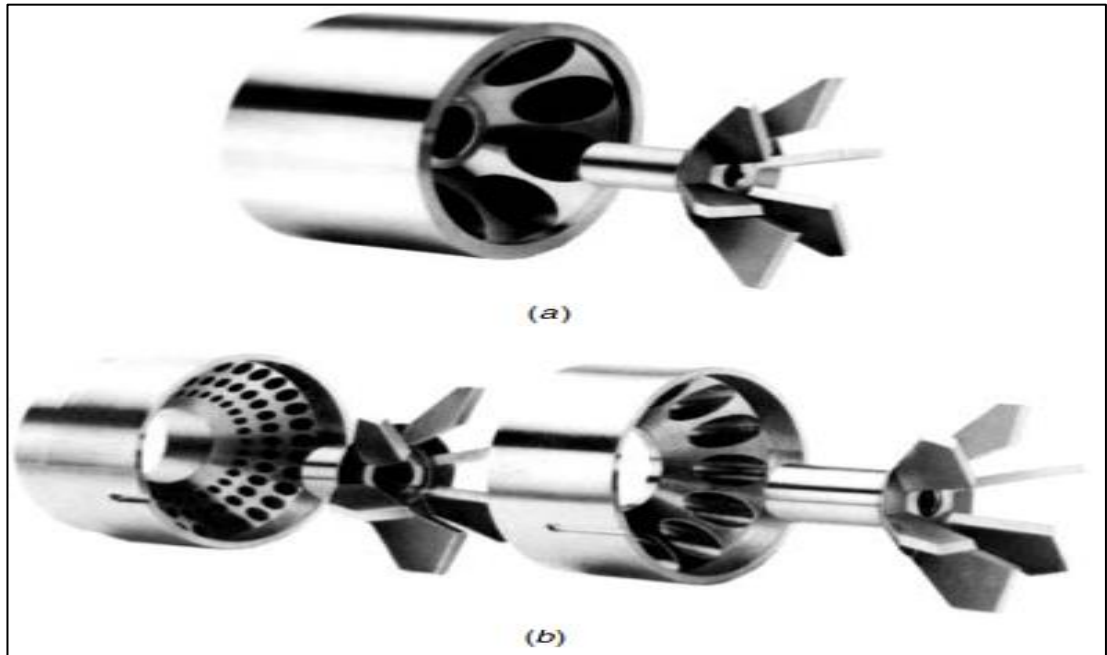
- 2) Sıkça karşılaşılan bir diğer rotor-stator tasarımı ise Şekil 1.8’da görülen dişli rotor-stator tasarımıdır. Tek kademeli olabildiği gibi Şekil 1.8’deki gibi çok kademeli olan rotor-stator tasarımında, kademe sayısı arttıkça rotor ve statorun bulunan geçiş bölgelerinin boyutları genişletilerek rotor ve statorun akış alanlarının hizalanması amaçlanmaktadır.





Şekil 1.8. Dişli rotor-stator tasarımı [18]

3) Radyal etkiye sahip olan delikli ve dişli rotor-stator tasarımlarının yanında Şekil 1.9'de verilmiş olan aksenal etkili rotor-stator tasarımları da mevcuttur. Rotor kanatlarının tasarımları sayesinde akışkanı aksenal olarak statora iletmektedirler. Şekil 1.9(b)'de verilmiş olan çift kademeli statorda motor miline bağlanmış olan rotor-1 ve rotor-2 eş zamanlı olarak dönüş hareketini gerçekleştirmektedir. Radyal etkili başlık tasarımlarında olduğu gibi kademe sayısı arttıkça stator geçiş alanlarının geometrileri küçültülerek partiküllerin daha küçük boyutlara ulaştırılması amaçlanmaktadır.



Şekil 1.9. Aksenal etkili rotor-stator başlık tasarımları a) Tek kademeli b) Çift kademeli [1]

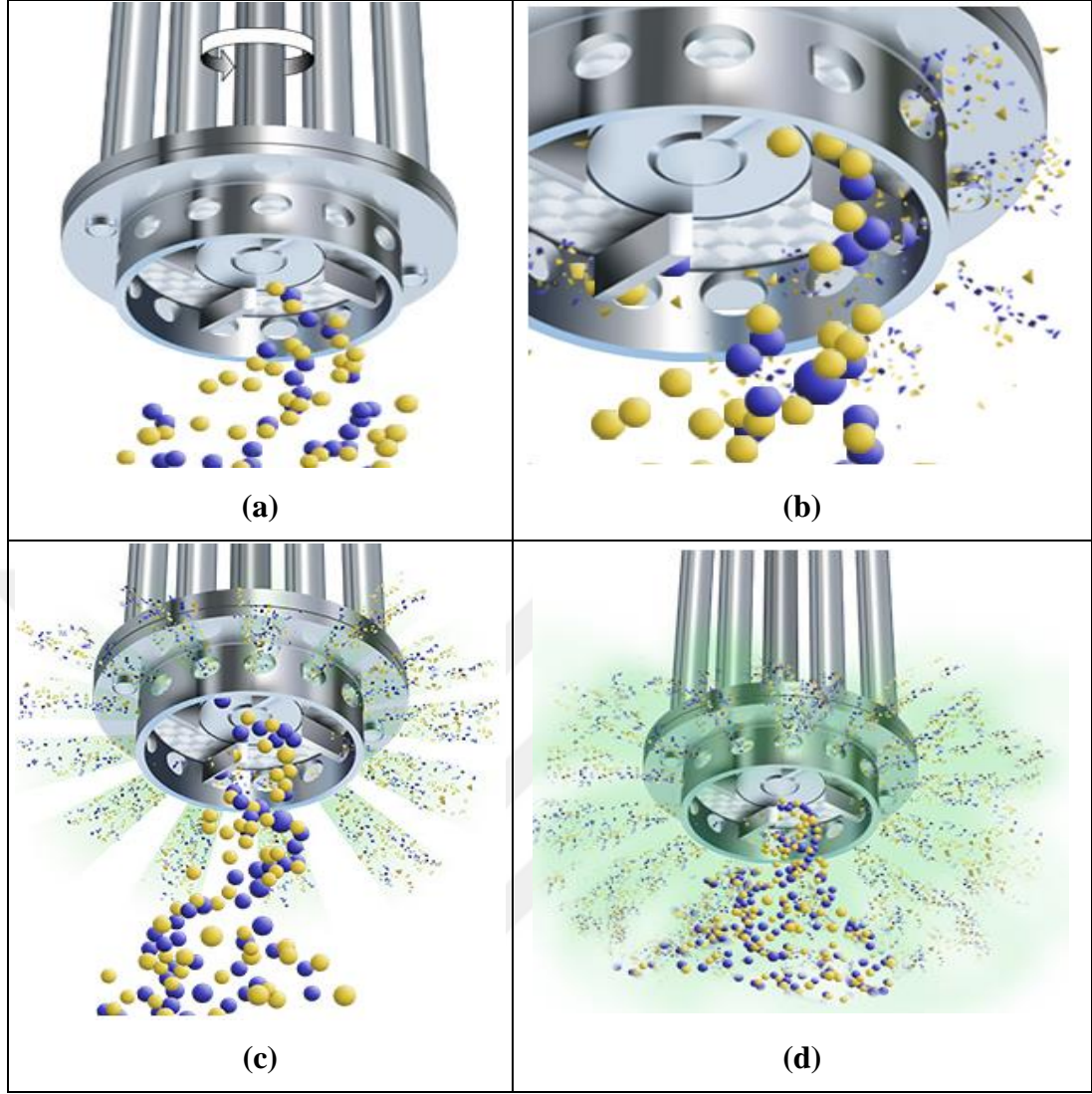
## 1.2. Karıştırıcı Tipleri

İki farklı Yüksek Kayma Gerilmeli Rotor-Stator Karıştırıcı modeli kullanılmaktadır. Bunlar “Sürekli Tip” ve “Kazan Tipi” olarak adlandırılmaktadır. Sürekli tip rotor-stator karıştırıcılar bir hat içerisinde konumlandırılarak karışım işlemini hat içerisinde gerçekleştirirler. Kazan tipi rotor-stator karıştırıcılar ise tank içerisinde karıştırma işlemini gerçekleştirirler.

### 1.2.1. Kazan tipi rotor-stator karıştırıcılar

Kazan tipi rotor-stator karıştırıcılar geleneksel karıştırıcılar gibi bir tank içine konumlandırılmışlardır. Ancak tank içerisindeki en önemli problem olan ölü bölge oluşumunu engellemek adına genel itibari ile karıştırıcı başlık çapının tank çapına oranına bağlı olarak tankın dikey merkezinden belli bir oranda kaçık olarak yerleştirilir. Ayrıca tankın alt ve üst bölgelerine yaklaşma oranı yine rotor-stator başlığın ve tankın boyutlarına göre belirlenir. Bu nedenle karışım hacminin bulunduğu konum ve tank boyutlarına oranı tasarım açısından önemli bir yer tutar. Geometrik özelliklerinde yapılan değişiklikler ile birlikte her ne kadar firmalar tarafından özel isimlendirmeler yapılmış olsa da kazan tipi karıştırıcı olarak isimlendirilirler.

Kazan tipi karıştırıcılarda ilk olarak Şekil 1.10(a)'da görüldüğü gibi rotorun dönüş işlemi gerçekleştirilmesi ile birlikte akışın ve içerisinde bulunan ürünlerin karışım hacmi içerisinde oluşan alçak basınç bölgesine hareketi gerçekleşir. 2. aşama olarak bu bölgeye ulaşan ürünler Şekil 1.10(b)'de görüldüğü gibi ilk önce rotorun meydana getirdiği kayma gerilmelerine maruz kalırlar. Ardından rotorun meydana getirdiği merkezkaç etkisi ile birlikte statora yönelen ürünler kesme boşluğu ve stator duvarlarında asıl parçalanma ya da dağılma işlemini gerçekleştirir. Statorun geçiş alanlarından ayrılan akışkanlar tank içerisinde devridaim yaparak Şekil 1.10(c) ve Şekil 1.10(d)'de olduğu gibi tekrarlı bir şekilde karışım hacmine dahil olurlar. Bu sayede partikül boyutları küçültülerek homojen bir karışım elde edilmesi sağlanır. Buradan da anlaşılacağı üzere parçalama kinetiğinde etkin faktörlerden birisi merkezkaç etkisini meydana getiren rotorun dönüş hızıdır. Diğer bir faktör ise kesme boşluğunun ve statorun geometrisidir.

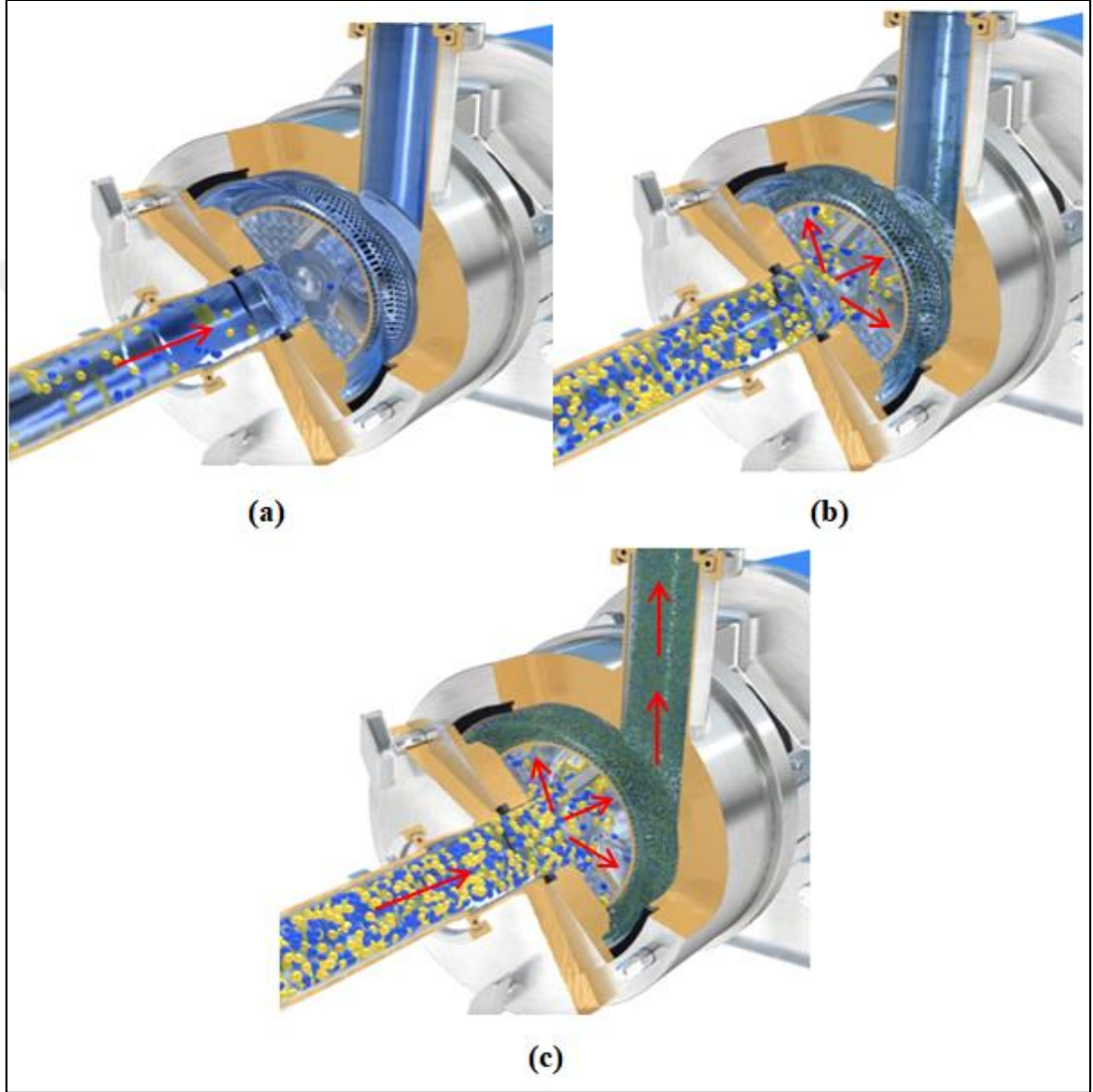


Şekil 1.10. Kazan tipi rotor-stator karıştırıcının gerçekleştirdiği aşamalar [11]

### 1.2.2. Sürekli tip rotor-stator karıştırıcılar

Sürekli tip rotor-stator karıştırıcılar bir hat içerisinde yerleştirilmiş olan rotor-statorun meydana getirdiği yüksek kayma gerilmesi ile ürünlerin parçalanmasını ve homojen bir şekilde karışmasını sağlarlar. Şekil 1.11(a)'da olduğu gibi ihtiyaca bağlı olarak ürünlerin karışım hacmine yönelmesi sağlanır. Bu işlem ihtiyaca bağlı olarak rotor-statorun dönüş hareketi ile birlikte merkezinde oluşturduğu alçak basınç bölgesine akışkanın kendiliğinden yönelmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi ekstra bir pompa ile birlikte de gerçekleştirilebilir. Kazan tipi rotor-stator karıştırıcılarda olduğu gibi karışım hacmine dahil olan ürünler Şekil 1.11(b)'de olduğu gibi rotorun merkezkaç etkisi ile birlikte stator hareket ederler. Bu kısımda öncelikli olarak rotorun, ardından kesme boşluğunun ve son olarak stator duvarlarının etkisi ile ürünler parçalanır ve

topaklar dağıtılır. Ürünler son olarak Şekil 1.11(c)'de görüldüğü gibi stator geçiş alanlarından karıştırıcı başlığı ardından da karışım hacmini terk eder. İhtiyaca bağlı olarak ürünlerin karışım hacmine bir defa dahil olduğu sistemler tek geçişli sistem olarak adlandırılırken ürün kalitesini arttırmak için ürünlerin karışım hacmine tekrar tekrar dahil edildiği sistemlere devridaim sistemler adı verilmektedir.



Şekil 1.11. Sürekli tip karıştırıcıda gerçekleşen aşamalar [11]

Sürekli tip karıştırıcılar Newtonien olmayan ortamlarda partiküllerin karışımında ve dağılık faz partiküllerin (homojen ve heterojen karışımlar arasında kalan, içerisinde büyük boyutlu partiküller barındıran karışım) boyutlarının küçültülmesinde kazan tipi mikserlere göre daha az etkili olmasıyla birlikte endüstriyel uygulamalar için çok önemlidir [1,19]. Özellikle tüm sistemin takip edildiği, hijyenik bir ortamda karışım gerçekleştirmek istenildiğinde sürekli tip karıştırıcılar daha fazla tercih edilmektedir.



Ayrıca sürekli tip karıştırıcılarda akışkanın tamamıyla rotorun dönüş hızıyla kontrol edilir olması da sistemin takip edilebilirliğini kolaylaştırmaktadır [6]. Sürekli tip karıştırıcının diğer bir önemli özelliği ise ürün tanklarındaki malzemelerin karışım hacmine doğru belli bir debi ile hareket etmesini ve besleme hattından gelen akışkanın karışım hacminin çıkışına doğru yönlendirilmesini kendi kendine sağlamasıdır.

Kazan tipi karıştırıcılar  $30\text{m}^3$ 'e kadar düşük viskoziteli ürünlerin karışımı gerçekleştirebilir iken sürekli tip karıştırıcılar saatte  $200\text{m}^3$ 'e kadar düşük viskoziteli ürünleri iletebilmektedir. Viskoz ürünlerin karışımı için kazan tipi karıştırıcı tercih edildiğinde ekstra kanat ya da helisel karıştırıcı kullanılması gerekmektedir. Sürekli tip karıştırıcılarda ise ekstra pompa kullanımı tercih edilebilir [20].

Sürekli tip karıştırıcılara nazaran statik mikserlerin tercih edildiği durumlar da mevcuttur. Genel itibari ile bunun sebebi rotor-stator karıştırıcılara (RSK) göre anlık kullanımda daha az enerji sarf etmeleridir. Ancak rotor-stator karıştırıcılar uygulamanın bütününde sisteme yüksek güç girişi sağlamalarından dolayı statik karıştırıcılara göre daha iyi bir enerji tasarrufu sunmaktadırlar. Ayrıca statik karıştırıcılarda akış hızı ve basınç düşüşü birbiri ile alakalıyken, rotor-stator karıştırıcıların akış hızlarının ve rotor dönüş hızının, karıştırıcının geri kalan sabit geometriden bağımsız olarak ayarlanabilmesi esnek bir sistem tasarımı imkanı sunmaktadır [19].

### **1.3. Deney Ürünlerinin Özellikleri**

Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanabilir [4]. Viskozite değeri akışkan koşullarına göre değişirken akışkanın türüne göre de viskozite özellikleri değişkenlik göstermektedir. Bahsedilen akışkan türleri, Newtonien ve Newtonien olmayan akışkan olarak isimlendirilirler.

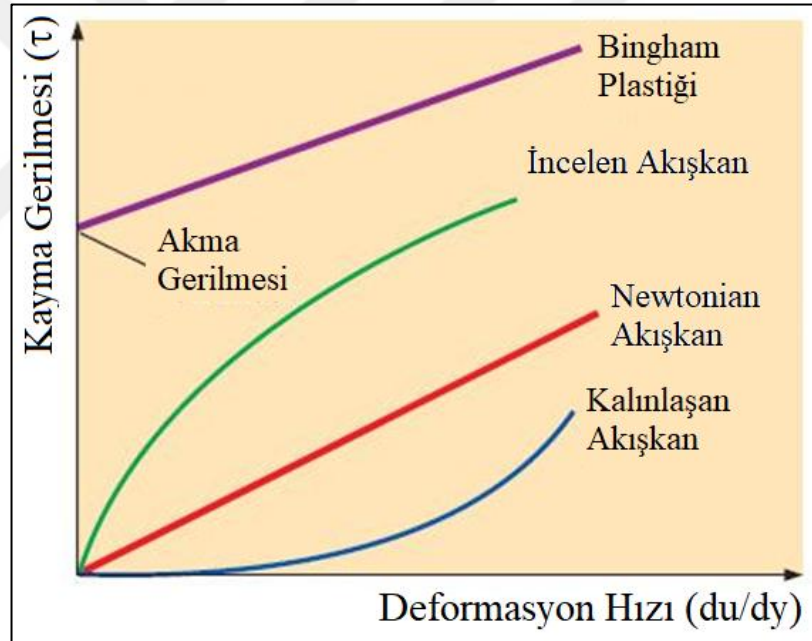
Şekil 1.12'de görüldüğü gibi şekil değiştirme hızının, kayma gerilmesi ile doğrusal olarak değiştiği akışkan türüne, Newtonien akışkan ismi verilmiştir. Newtonien sıvılar için, viskozite değeri sıcaklık arttıkça azalır. Su, benzin ve yağlar Newtonien özellik gösteren sıvılar için başlıca örneklerdir [21].

Newtonien olmayan akışkanlarda, uygulanan kayma gerilmesi ile şekil değişimi doğrusal olarak değişmemektedir. Sıcaklık sabit tutulsa bile viskozite değeri değişkenlik gösterebilir. Newtonien olmayan akışkanlar, Şekil 1.12’de görüldüğü gibi kayma gerilmesi ile şekil değiştirme özelliklerine göre İncelen, Bingham ve Kalınlaşan akışkanlar şeklinde 3 başlığa ayrılmaktadır [21];

1) İncelen (Sanki plastik) akışkanlar; Şekil değişimi hızları arttıkça viskozite değerleri azalan akışkanlardır. Duvar boyası ya da kan incelen akışkanlara en uygun örneklerdir.

2) Bingham plastiği; Harekete geçmesi için akma gerilmesi seviyesinde bir gerilim uygulanması gereken akışkanlardır. Diş macunları Bingham plastiği özelliği gösterir.

3) Kalınlaşan (Dilatant) akışkanlar; Şekil değiştirme hızı arttıkça daha viskoz hale gelen akışkanlardır. Bu tip akışkanlardaki en güzel örnek nişasta-su karışımıdır [21].



Şekil 1.12. Newtonien ve Newtonien olmayan akışkanlar

Akış bazen düzenli ve düzgün gerçekleşirken bazen de çalkantılı ve düzensiz olarak gerçekleşir. Akışın düzenli ve düzgün olarak gerçekleşmesi durumu laminar akış, çalkantılı ve düzensiz olarak gerçekleşmesi durumu da türbülans akış olarak adlandırılır. Akışın düzenli ya da düzensiz olarak gerçekleşmesi akış hızı ile viskoz kuvvetlerin oranına bağlıdır. Osborne Reynolds tarafından tanımlanan Reynolds sayısında bu oranda yararlanılmıştır. Reynolds sayısının belirlenmesi için kullanılan eşitlik Denklem (1.1)’de verilmiştir;

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad (1.1)$$

$\rho$  : Yoğunluk, (kg/m<sup>3</sup>)

$U$  : Ortalama hız, (m/s)

$D$  : Karakteristik uzunluk (Boru çapı), (m)

$\mu$  : Dinamik viskozite, (kg/ms)

Denelerimizde çift fazlı ürünü meydana getirecek olan mamuller olarak Karboksi Metil Selüloz (CMC-Carboxy Metil Cellulose) ile su kullanılmıştır. CMC'nin tercih edilmesinin öncelikli sebebi viskozite değerinin sıcaklıktaki küçük değişikliklere karşı duyarsız kalmasıdır. Aynı zamanda hızlı bir şekilde suyu emme özelliği sayesinde karıştırıcı performansını değerlendirirken en önemli parametre olan topaklaşma probleminin giderilip giderilemediği rahatça gözlemlenebilecektir. Bu özelliklerinden dolayı karıştırıcı teknolojisi üzerine yapılan testlerde sıkça tercih edilmektedir.

CMC'nin başlıca özellikleri şu şekildedir [22];

- Su tutma özellikleri yüksektir. Petrol sondaj işlemlerinde sondaj çamurlarını nemli tutarak rahatlıkla çamurun çıkartılmasını sağlamak için kullanılır.
- Dolgu olarak kullanılır. Kâğıt sektöründe sıkça kullanılan CMC, gözenekleri doldurarak düzgün bir kağıt yüzeyi elde edilmesini sağlar.
- Bağlayıcıdır. Boyalar içerisinde pigmentleri bağlayıcı olarak kullanılarak boyaların sürülebilirliğini artırır. Ayrıca bağlayıcı özellikleri sayesinde göz damlası gibi ilaçların uçuculuk özelliğini azaltır.
- Kıvamlaştırıcıdır. Akışkanın viskozite değerini ayarlayarak boya ya da gıda sektöründe istenilen kıvam oranının yakalanması için kullanılır.
- Daha çok incelen Newtonien olmayan akışkan özelliği gösterir.

#### 1.4. Literatür Özeti

Yüksek kayma gerilmeli rotor-stator karıştırıcılar kullanım alanının geniş olmasına rağmen ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle henüz benimsenmemiştir. Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar hakkında yapılan çalışmalar enerji dağılımları, enerji verimliliği, partikül dağılımı ve akış profilleri konularını kapsamaktadır

[6,15,23-26]. Gerçekleştirilmiş olan çalışmalar genellikle nümerik analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte deneysel çalışmalarda elde edilen ürünlerin viskozite, partikül boyutu ve karışım oranlarının karşılaştırılması da sıkça karşılaşılan bir diğer yöntemdir. Deneysel çalışmalarda PIV (Particle Image Velocimetry) ya da LDA (Laser Doppler Anemometry) ile akışın görselleştirilmesi de az da olsa uygulanan bir diğer yöntemdir [13,27].

Karıştırma teknolojisinin gelişimi deyince “karıştırıcı hızını arttırmak” olarak anlaşılması karşılaşılan en büyük hatadır. Karıştırıcıların dönüş hızlarını arttırırken kritik hıza dikkat etmek gerekir. Doğal frekanslarında çalışan milin kritik hızına ulaşması durumunda titreşim miktarı artar ve gerek milde gerekse pervane de hasara neden olur. Bu nedenle dönüş hızlarını arttırırken o mil için geçerli olan kritik hıza dikkat etmek gerekir [28].

Wang ve arkadaşları, katı-sıvı heterojen karışımların ayrıştırılması üzerine yapmış oldukları bir çalışmada pervanenin dönüş hızının arttırılmasının etkisi ile ilgili önemli bir sonuca ulaşmışlardır. Bu çalışmaya göre, belirlenmiş olan hızın üzerine ne kadar çıkılırsa karışım içerisindeki partiküllerin kümelenme oranı artmaktadır. Ayrıştırma işlemi için faydalı bir özellik olan bu durum karıştırma işlemlerinde ise tam tersine istenmeyen bir duruma sebep olmaktadır [8].

Utomo ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, stator tasarımının akış alanına ve güç dağılımına etkisini incelemişlerdir. Rotor ile arasında dar bir açıklık bulunan statorlarda, sıvının rotorun dönüş yönüne göre ters yönde hareket ettiği tespit edilmiştir. Yapmış oldukları CFD analizleri sonucunda güç sayısının (Newton sayısı) akışkan hızına bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Güç sayısı ( $P_0$ ) boyutsuz bir sayıdır. Direnç kuvvetleri ile atalet kuvvetlerini ilişkilendiren bu sayı karıştırıcı başlıkların boyutlarındaki değişim ile gerekli olan gücü tahmin etmekte kullanılır. Bu sayede karıştırıcıların ölçeklendirmesinde önemli bir parametre hesaplanmış olur. Güç sayısının belirlenmesi için Denklem (1.2) kullanılmaktadır [9];

$$P_0 = \frac{60P}{\rho N^3 D^5} \quad (1.2)$$

Minnick ve arkadaşları, iki aşamalı eksenel dişlinin akış ve güç karakteristiği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Verimin, rotorun pozisyonu, statorun kanat sayısı

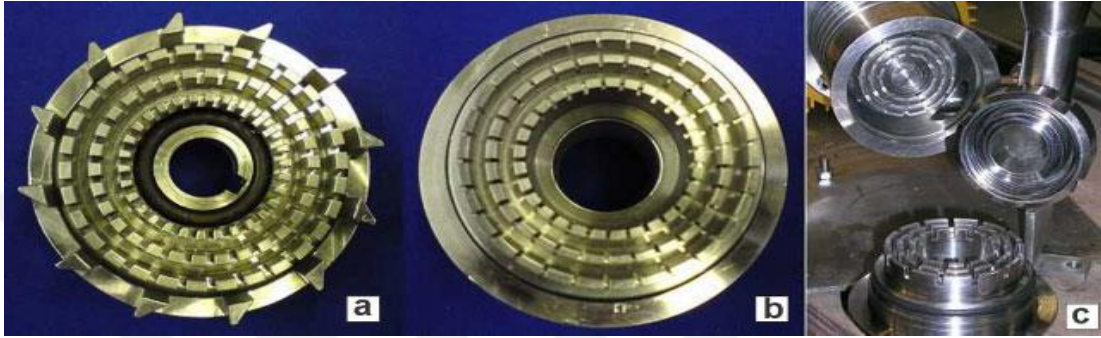
ve statorun üzerindeki açıklıklarının boyutlarına bağılı olarak değiştirdiğini de tespit etmişlerdir [29].

Francis oluklu stator tasarımı ile yaptığı çalışmada, stator tasarımının rotor-stator arasındaki boşluktan daha etkili olduğunu tespit etmiştir. Rotor-stator arasındaki mesafe iki katına çıkarılması partikül boyutlarında çok az miktarda değişiklik oluşturmuştur [30]. Benzer şekilde Padron, kazan tipi karıştırıcılar üzerinde yapmış olduğu çalışma neticesinde rotor-stator arası boşluğun stator geometrisi kadar önemli bir etkiye sahip olmadığını tespit etmiştir [31]. Bir diğer çalışmada da ise Calabrese ve arkadaşları, radyal eksenli karıştırıcılarda rotor-stator arasındaki mesafeyi 0,5mm'den 1mm'ye genişletildiğinde türbülans bölgesi içerisindeki ortalama küçük partikül boyutlarının daha da küçüldüğünü tespit etmişlerdir.

Özcan Taşkın ve arkadaşları, 2 farklı markaya ait 3 ayrı rotor-stator başlığının tek fazlı bir karışımda akış ve güç karakteristikliklerini inceleyerek aralarındaki farklılıkları vurgulamıştır. Bu başlıklar arasındaki temel farklılık, aynı markaya ait başlıklarda, statorların delik çapları farklı tutulurken, rotor ve rotor-stator arasındaki boşluklar benzer tutulmuştur. Bu geometriler Şekil 1.13'de görülmektedir. Diğer bir markaya ait başlık tasarımında ise rotor ve statorun dişli tasarımı ele alınmıştır. Bu geometri ise Şekil 1.14'de görülmektedir. Aynı markaya ait, delikli stator tasarımına sahip olan başlıkların hız profillerinin benzer olduğunu ve iç-dış hizalamaların doğru yapılması ile birlikte güçlü bir jet etkisi oluşturabilecekleri tespit etmişlerdir [32]. Bununla birlikte, delik çapları daha düşük olan EMSC modelinde enerji tüketiminin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Delikli stator tasarımına sahip ürünlerde enerji dağılımlarının rotor dış yüzeyleri ile stator iç yüzeyleri arasında yoğunlaştığı ve bu sebeple partiküllerin dağılımının bu bölgelerde gerçekleştiği belirlenirken, Ytron marka dişli başlık tasarımında daha homojen bir enerji dağılımı olmasından dolayı, tüm başlık tasarımı boyunca partiküllerin parçalanması gerçekleşebileceği elde edilen önemli bir bulgudur [32,33].



Şekil 1.13. Silverson marka: (a) EMSC stator (b)GPDH – SQHS stator (c) rotor [32]



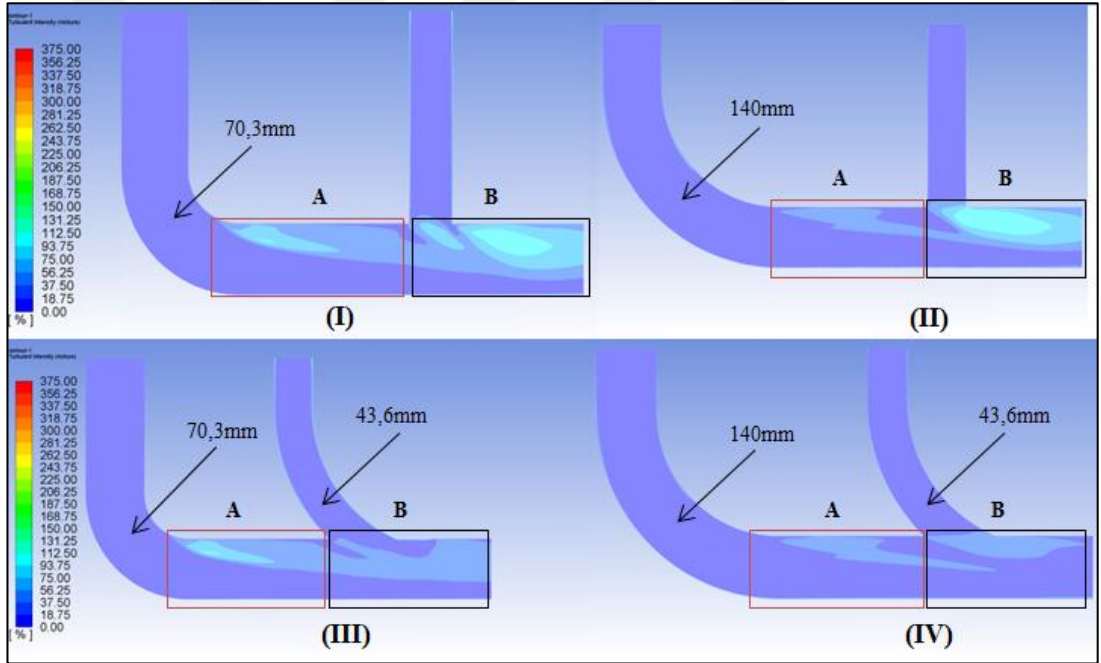
Şekil 1.14. Ytron marka: (a) rotor (b) stator (c) rotor + stator [32]

Hall ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, damlacık boyutlarının küçültülmesi için uygun Yüksek Kayma Gerilmeli Mikser (YKGM) tasarımı üzerinde durmuşlardır [25]. Rotor hızının ve dağılmış faz viskozitesinin kayda değer bir etkiye sahip olduğu tespit edilirken, debi, giriş damlacık boyutu, viskozite oranı ve dağılmış faz hacminin çok daha az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Mikserlerde enerji verimliliğini arttırmak için akışkan debisinin yüksek tutulması gerektiği de vurgulanan bir diğer noktadır [25].

Hall ve arkadaşları yapmış oldukları bir diğer çalışmada, boyutlandırmanın, proses koşullarının, ara yüzey gerilimlerinin ve viskozitenin, güç çizgisi ve parçalanmış ürün dağılımına olan etkilerini incelemişlerdir [34]. Tek geçişli ve karışım bölgelerindeki kalma süreleri aynı olan, farklı boyutlardaki 3 ayrı sistem üzerinde yapılan çalışmalarda, karıştırıcının uç kısmındaki çevresel hızın en önemli tasarım etkeni olduğu belirlenmiştir. Deshwar ve Kumar ise yapmış oldukları çalışmada, farklı rotor hızlarında elde edilen karışım kalitesini gözlemlemişlerdir [35]. Bunun sonucunda da yüksek bir rotor hızında daha kararlı bir karışım elde edileceğini belirtmişlerdir.

Rodgers ve Cooke, partikül boyutlarının küçültülmesinde statordan daha çok rotor hızının ve oluşturduğu kesme oranının etkili olduğunu belirlemiştir, bu durum özellikle de düşük akış oranlarında göz önüne alınmalıdır [36].

Korkmaz ve arkadaşları, besleme hattı tasarımının karıştırıcı performansına etkisi üzerine yapmış oldukları çalışma da silikon yağı ve suyu kullanarak farklı besleme hattı tasarımlarında oluşan türbülans yoğunluğu bölgelerini belirlemiştir. 6 kg/s'lik bir kütleli debi altında yapmış oldukları inceleme de Şekil 1.15'de verilmiş olan türbülans yoğunluğu bölgelerini elde etmişlerdir. Dirsek yarıçaplarının artırılması ile birlikte türbülans yoğunluğunun azaldığını vurgulamıştır. B bölgesinde türbülans yoğunluğunun fazla olması katı-sıvı karışımlarda katı partiküllerin bu bölgede topak oluşturma riskinin arttığını belirtmişlerdir [37].



Şekil 1.15. Besleme hattındaki dirsek yarıçaplarına bağlı türbülans yoğunluğu bölgelerinin oluşumu [37]

Lindhahl ve Thapar çalışmalarında nümerik analiz yöntemleri kullanmışlardır. Her ikisi de sistem içerisindeki hızın sadece rotorun hızı olarak tanımlanması ve her bölgede debi miktarlarının bu değere göre hesaplanmasının doğru olmadığını belirtmiştir. Bunun için sürekli tip karıştırıcıları bölge olarak 5 bölüme ayırmaktadırlar [16,23];

1) Besleme hattındaki hız: Rotorun dönüş hareketi ile birlikte boru içerisindeki akışkan boru boyunca dönerek karışım hacmine doğru hareket eder. Böylelikle ürünler rotora ulaşmadan önce ön karışımı gerçekleştirmiş olur. Boru içerisindeki hız ( $u$ ) Denklem (1.3)'deki gibi hacimsel debinin ( $Q$ ) borunun kesit alanına ( $A$ ) oranı ile hesaplanır [16];

$$u=Q/A \quad (1.3)$$

2) Rotor: Rotor bölgesine giren akışkan teğetsel olarak hız kazanır. Rotorun kanatlarına doğru hareket eden akım çizgileri rotorun uc bölgesinde iki ayrı hız olarak tanımlanır. Bunlardan ilki rotor-stator performansında en çok etkiye sahip olan işletme ve tasarım karakteristiği olan “uc hızı”dır. Diğer bir hız ise radyal hızdır. Radyal hız kanat ya da diş uzunluğu ile tanımlanmaktadır. Ancak rotor hızları daha çok uc hızı ile tanımlanır. Bunun sebebi rotor bölgesinde uc hızlarının radyal hızlara göre çok daha yüksek olmasıdır. Rotorda meydana gelen uc hızı ( $u_{tip}$ ) ve radyal hız ( $u_{radyal}$ ) sırası ile Denklem (1.4) ve (1.5) ile ifade edilmektedir [16];

$$u_{tip} = \pi ND/60 \quad (1.4)$$

$$u_{radyal} = Q/A \quad (1.5)$$

Radyal hızın hesaplanması ile birlikte akışkanın rotor bölgesindeki kalma süresi hesaplanır. Hesaplama işlemi için kanat tipi rotor tasarımlarında karakteristik uzunluk olarak rotor kanatlarının uzunlukları, dişli tip rotor tasarımlarında ise diş uzunlukları baz alınır. Kalma süresini hesaplamak için Denklem (1.6)'da verilmiş olan formül kullanılır [16];

$$T_R = D_{radyal}/u_{radyal} \quad (1.6)$$

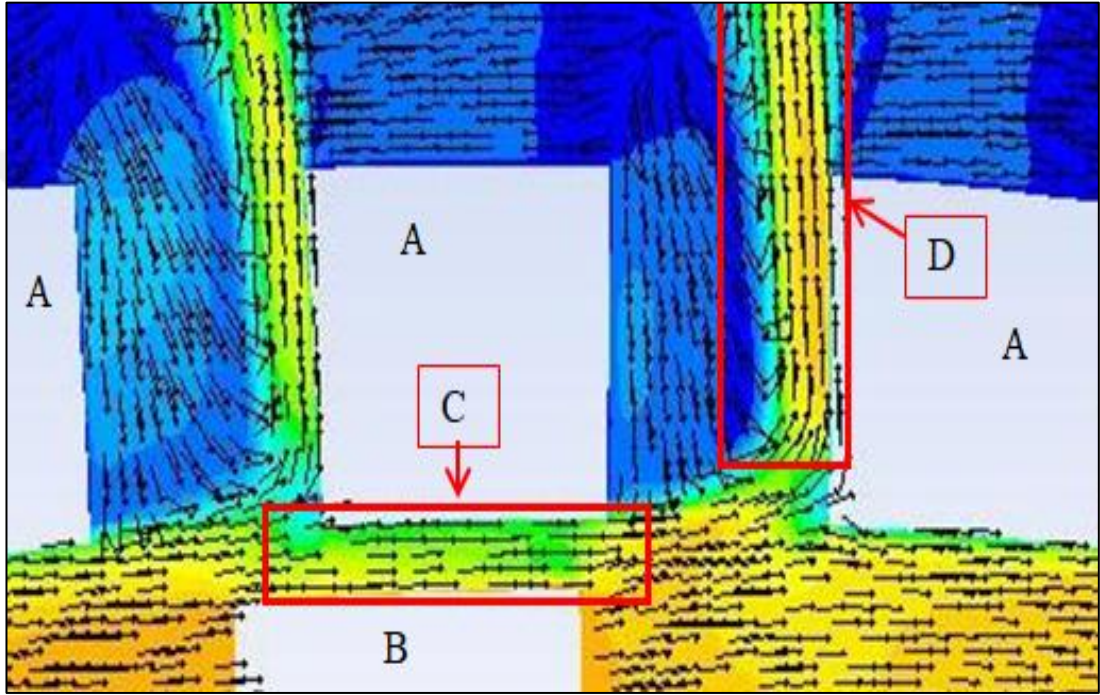
Rotorun içerisinde gerçekleşen hareket radyal hız ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle bu bölgedeki akış rejimi radyal hız ile birlikte hesaplanmaktadır.

3) Kesme Boşluğu (Rotor-stator arası boşluk bölgesi): Şekil 1.16'da rotor (A) ve stator (B) arasında bulunan kesme boşluğu bölgesinde (C) akışkan daha çok uc hızının etkisi ile hareket etmektedir. Radyal hızların uc hızına nazaran çok daha



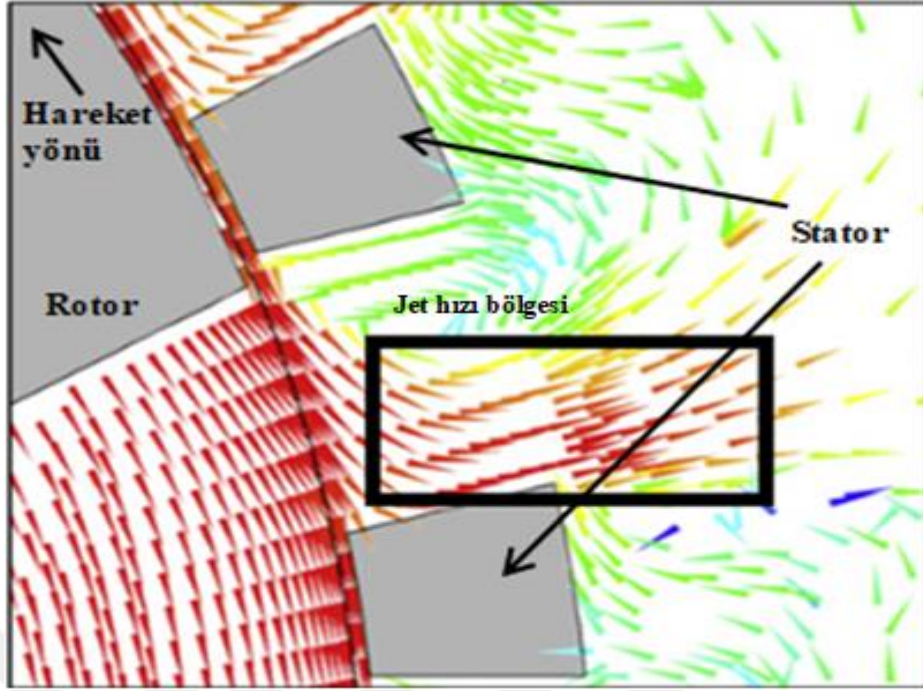
düşük olması sebebiyle kesme boşluğu bölgesindeki hız uc hızı ile tanımlanmaktadır. Bu bölgenin karakteristik uzunluğu ise rotor-stator arası genişliktir. Bu bölgedeki kalma süresi rotor-stator arasındaki mesafenin ( $\delta$ ) uc hızına oranı ile hesaplanmaktadır. Denklem (1.7)'de kesme boşluğu için kalma süresi formül olarak verilmiştir [16];

$$T_{\delta} = \frac{\delta}{u_{tip}} \quad (1.7)$$



Şekil 1.16. Kesme rotor stator bölgesindeki hız vektörleri [16]

4) Stator: Rotordan ayrılan akışkanlar radyal olarak kesme boşluğunu geçerek statora yönelir ve stator duvarlarına çarpar. Kesme boşluğu içerisindeki akışkan rotora teğet olarak uc hızı ile birlikte hareket ederken Şekil 1.16(D) ve Şekil 1.17'deki gibi stator akış bölgesinden karıştırıcı başlığı terk eder. Bu bölgelerde teğetsel bir hız olan uc hızı radyal hıza dönüşür. Bu sebeple bu hızları diğer radyal hızlardan ayırt edebilmek için “jet hızı” ( $u_{jet}$ ) denmektedir.



Şekil 1.17. Rotor-stator karıştırıcılarda jet hızı oluşumu [16]

Jet hızı hesaplanırken hacimsel debi ile hareket eden akışkanın stator üzerindeki toplam açıklık alanına bölünmesi ile Denklem (1.8)'deki gibi hesaplanması gerçekleştirilir [16,38];

$$u_{jet} = \frac{Q}{A_T} \quad (1.8)$$

Statorda bulunan açıklıklar her zaman tam dairesel bir kesit alanı ile tasarlanmayabilir. Bu gibi durumlarda karakteristik uzunluk olarak hidrolik çap ( $d_h$ ) hesaplanacaktır. Hidrolik çapın hesabı Denklem (1.9)'a göre gerçekleştirilir [16,38];

$$d_h = \frac{4A}{\text{Ç}} \quad (1.9)$$

A: Akışa dik kesit alanı, ( $\text{mm}^2$ )

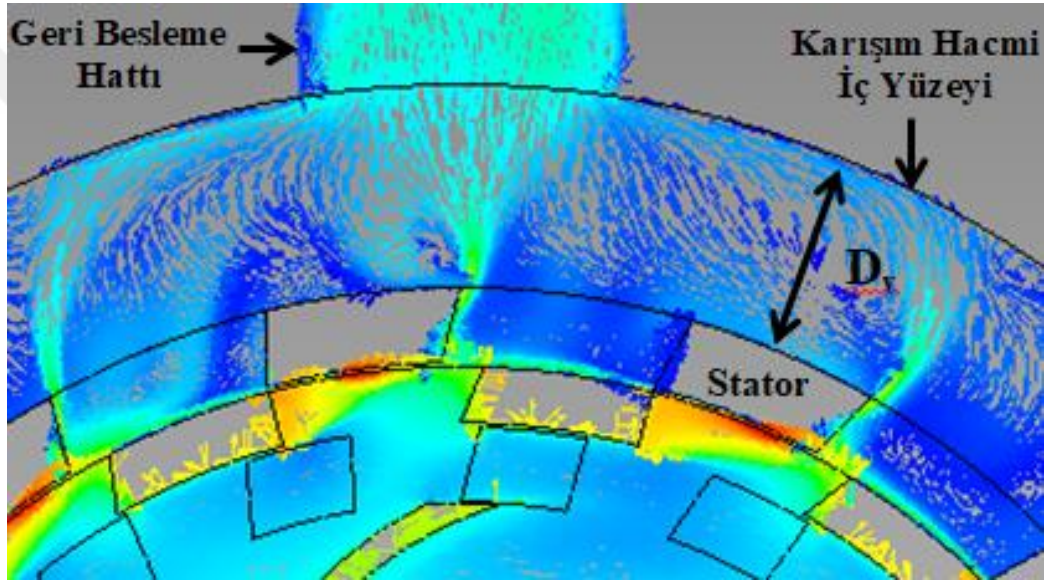
Ç: Kesit çevresi, (mm)

Stator açıklıklarında gerçekleşen akışın rejimi belirlenirken jet hızı ( $u_{jet}$ ) ve hidrolik çap ( $d_h$ ) kullanılır [16,38].

Statorda akışkanın kalma süresi ise jet hızı ile bağlantılıdır. Bunun için delik derinliği (L) önem kazanmaktadır. Statordaki kalma süresini hesaplamak için Denklem (1.10) kullanılmaktadır [16];

$$T_s = \frac{L}{u_{jet}} \quad (1.10)$$

5) Hazne: Statordan çıkan akışkanın karışım hacmini terk etmeden önce bulunduğu bölgedir. Karışım hacmi içerisinde kalan mil, rotor-stator gövdesi ve geri dönüş hattının konumu bu bölgenin karakteristik özelliklerini direkt olarak değiştirmektedir. Bu nedenle akışkanın tamamının statordan çıkarak geri besleme hattına yöneldiği varsayımı yapılır ve hız olarak jet hızı baz alınır. Ancak karakteristik uzunluk olarak Şekil 1.18’de görüldüğü gibi stator dış yüzeyi ile karışım hacminin iç yüzeyi arasında kalan mesafe ( $D_v$ ) baz alınır [16].



Şekil 1.18. Rotor-stator karıştırıcılarda haznenin karakteristik uzunluğu ( $D_v$ )

Akışkanın genel kalma süresini esas olarak hazne içerisindeki kalma süresi oluşturmaktadır. Özellikle delikli ya da dişli rotor-stator tasarımlarında başlıkların belirlemiş olduğu kalma süresine nazaran haznenin kalma süresinin çok daha yüksek olması, kalma süresini hesaplama da çok daha yüksek öneme sahip olmasını sağlamaktadır. Hazne içerisindeki kalma süresi Denklem (1.11)’deki gibi karışım hacminin iç duvarı ile stator dış duvarı arasında kalan hacmin ( $V_v$ ) hacimsel debiye oranı ile tespit edilmektedir [16];

$$T_v = \frac{V_v}{Q} \quad (1.11)$$

Bu bilgilere göre ürünlerin karışım hacmi içerisindeki toplam kalma süreleri ( $T_T$ ) Denklem (1.12) ile hesaplanabilir;

$$T_T = T_R + T_\delta + T_s + T_v \quad (1.12)$$



## 2. UYGULANAN TESTLER VE TEST YÖNTEMLERİ

Üretilen yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıda CMC-su karışımı gerçekleştirmesinin ardından, karıştırıcı başlıkların performanslarını karşılaştırmak adına debi, tork, viskozite değerleri karşılaştırılmıştır. Debi ve tork ölçümleri özellikle pompasız devridaim sistemlerinde önemli bir performans göstergesidir. Sistemin çalışma süresi, enerji verimliliği ve karışım hacminde kalma süreleri yine karıştırıcı başlıkların oluşturduğu debiye bağlıdır. Bu değerler yalnızca su ile test edilerek belirlenecektir. Ürünler ile testler yalnızca 2500dev/dk rotor hızlarında gerçekleştirilecektir. Elde edilen ürünleri ve karıştırıcı başlıkların performanslarını irdelemek için gerçekleştirilecek olan viskozite değerlerini ölçebilmek adına uygun viskozite ölçüm yöntemleri incelenmiştir [39,40].

### 2.1. Viskozite Ölçümü

Viskozite değeri aynı karışım oranına sahip ürünler arasında karşılaştırma yapılacağı taktirde performans açısından değerlendirme yapabilmemizi sağlayacaktır. Çalışmamızda %1'lik CMC-su karışımı tüm karıştırıcı başlıklarında sabit tutulmuştur. Aynı zamanda ortam sıcaklığı, karıştırma süresi ve rotor hızı gibi önemli işletme koşulları tüm deneyler içinde sabit tutulmuştur. CMC'nin karışım hacminde oluşan küçük sıcaklık değişimlerine karşı duyarsız olması sayesinde viskozite değerlerinde önemli bir parametre olan sıcaklık değişimi ihmal edilmiştir.

Newtonien olmayan akışkanların viskozite ölçümünde rotasyonel viskozitemetreler sıkça kullanılmaktadır. Sakarya Üniversitesi'nde bulunan Fungilab ALPHA H V100001 rotasyonel viskozitemetre ölçüm cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.1'de verilmiş olan cihazın ölçüm aralığı 0,2-106000 Pa.s'dir.





Şekil 2.1. Rotasyonel viskozitemetre

## 2.2. Yoğunluğun Hesaplanması

Ürünlerin karışımı esnasında sisteme dahil olan birim kütle başına enerji girişini hesaplayabilmek için yoğunluğun hesaplanması gerekmektedir. Yoğunluk hesabında Şekil 2.2’de verilmiş olan 100(±0,5)ml’lik göstergeli mezür ile 200(±0,01)g’a kadar ölçüm yapabilen hassas terazi kullanılmıştır. Elde edilen her bir ürünün yoğunluğu hesaplanacaktır. Ölçme işlemindeki hata paylarımızı öğrenmek için belirsizlik analizine başvurulmuştur. Belirsizlik analizi yönteminde kullanılan formül Denklem (2.1)’de verilmiştir;

$$w_R = \pm \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial X_1} w_{X_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial X_2} w_{X_2} \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial X_n} w_{X_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

R hesaplanan değerdir,  $x_1, x_2, \dots$  ise bağımsız değişkenlerdir.  $w_{x_1}, w_{x_2}, \dots$  bağımsız değişkenlerin hata oranlarıdır.  $w_R$  ise hesaplanan değerdeki belirsizlik miktarıdır. Yoğunluk hesabı kütlenin hacme oranı ile gerçekleştirilmektedir. Buna bağlı olarak

Denklem (2.1)'e göre yoğunluk ölçümündeki belirsizlik Denklem (2.2)'de verilmiştir. ve son olarak Denklem (2.3) şeklinde yazılabilir;

$$w_{\rho} = \pm \left[ \left( \frac{\partial \rho}{\partial m} w_m \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho}{\partial V} w_V \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Mezür ve hassas terazi

### 2.3. Devir Ölçümü

Motorun kontrolü sürücü ile gerçekleştirilerek farklı dönüş hızlarında çalışması sağlanmaktadır. Ancak sürücüde elde edilen rotasyonel hız göstergesi motordaki gerçekleşen kayıplardan dolayı birebir olarak motora yansımamaktadır. Motorun işlem esnasındaki rotasyonel hızını ölçmek için dijital takometre kullanılmıştır. Takometre doğrudan motordan gücü rotora aktarmak için bağlanmış olan şafttan ölçüm gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.3’de kullanılmış olan takometrenin ve ölçümün gerçekleştirildiği şaft bağlantı noktasının görüntüsü verilmiştir. Takometrenin şaftın merkezine tam olarak temas ettirilmesi ve herhangi bir salınım yapmaması önemlidir. Kullanılmış olan Shimpoo EE-1 dijital takometrenin ölçüm aralığı ise 1-25000 d/dk’dır.



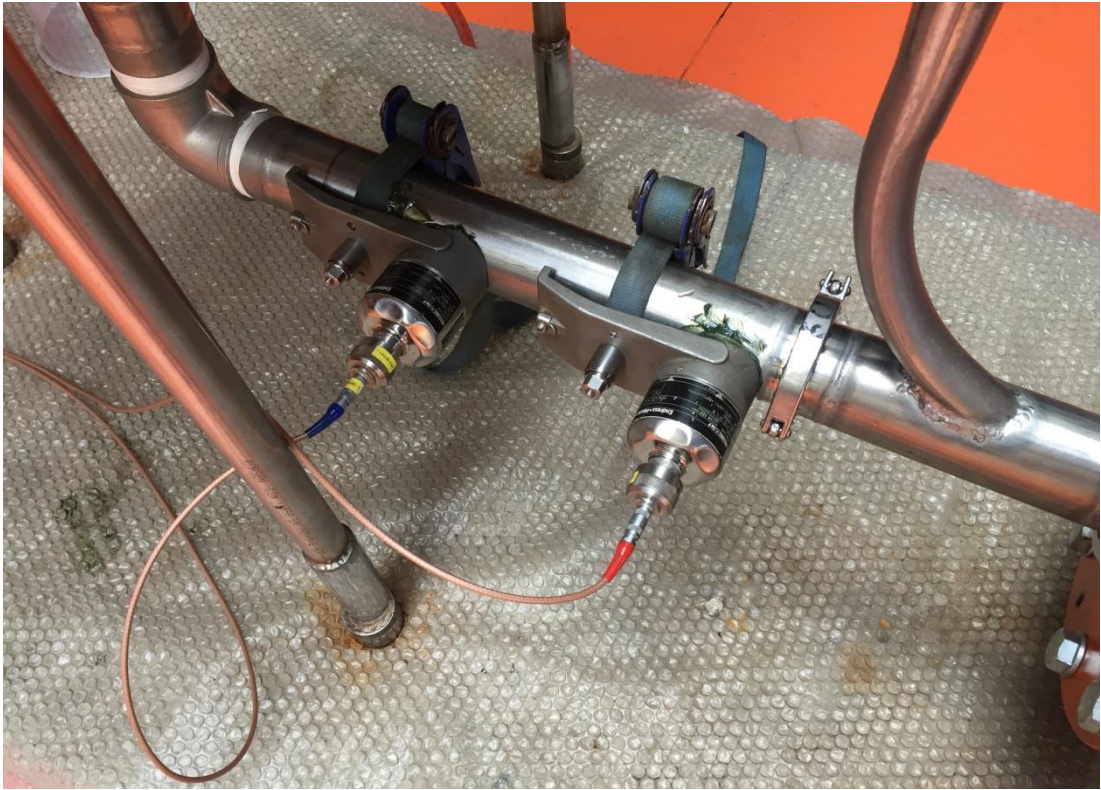
Şekil 2.3. Takometre

### 2.4. Debi Ölçümü

Karıştırıcı başlıkların farklı devirlerde oluşturdukları debiler ultrasonik debi ölçer cihazı olan Endress Hauser Prosonic Flow 93T ile ölçülmüştür. 452389 m<sup>3</sup>/saat’e kadar hacimsel debi ölçümü yapabilen debi ölçüm cihazı ana hatta bağlanmıştır [41]. Probların yerleşim düzeni cihazın kullanım kılavuzunda belirtilmiş olan ölçülere göre gerçekleştirilmiştir [42]. Ana hattı TS EN 10025 standartına göre üretilmiş olan



60,33mm dış çapa sahip paslanmaz çelik olarak seçilmiştir. Bu nedenle kullanım kılavuzuna uygun olarak tercih edilmiş olan P-CL-6F proplar kullanarak Şekil 2.4'deki gibi boru hattının tek bir yönünde montajı gerçekleştirilmiştir. Proplar arasındaki mesafe propların yerleşim yönünü ve ana hattı oluşturan malzemenin fiziksel özelliklerini girdikten sonra cihaz tarafından 175mm olarak belirlenmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise propların dirsek kısımlarından mümkün olduğunca uzak tutulmasıdır.

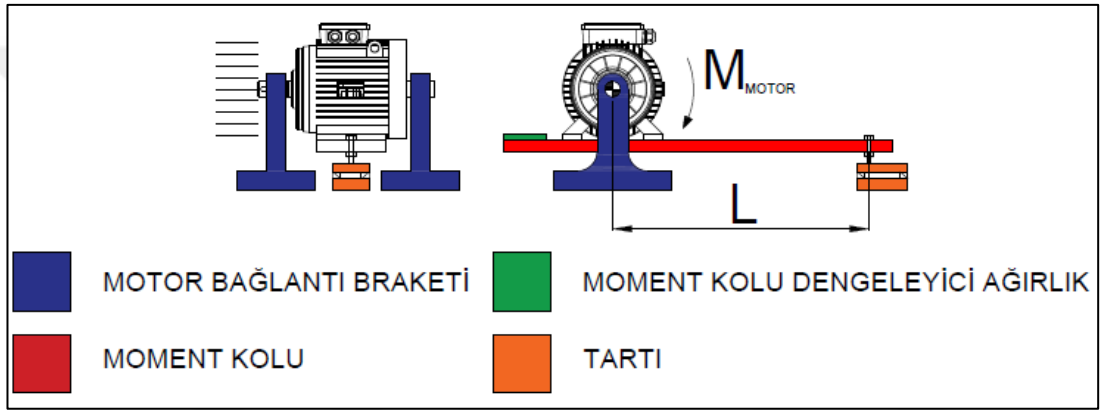


Şekil 2.4. Debi ölçüm sisteminin besleme hattına bağlantısı

## 2.5. Güç Ölçümü

Motorun gücünü devir sayısına bağlı olarak tespit edebilmek için dinamometre imal edilmiştir. Dinamometre prensibinde elektrik motorunun kendisi direkt olarak bir zemine bağlanmaz. Motorun mili Şekil 2.5'de mavi renk ile gösterilmiş olan bağlantı braketinde bulunan rulmanlardan geçirilerek motorun desteklenmesi sağlanır. Bu sayede motor rotasyonel hareketi gerçekleştirdiği düzlemde serbest bırakılır. Motorun dönüş yönüne dik olarak Şekil 2.5'de kırmızı ile belirtilmiş olan bir adet moment (kuvvet) kolu montajı gerçekleştirilir. Moment kolunun motora montajı gerçekleştirilirken bir kısmı kısa tutulur ve motorun çalışmaması durumunda yatayda

eğimsiz bir şekilde durması için Şekil 2.5’de yeşil ile gösterilmiş olan dengeleyici ağırlık kısa tutulmuş kısma bağlanır. Motorun ürettiği döndürme momenti ile birlikte shaftın dönüş yönüne bağlı olarak motorun kendisi de dönme hareketi gerçekleştirme eğilimindedir. Bu esnada moment kolunun ucuna Şekil 2.5’de turuncu renk ile gösterildiği gibi yerleştirilmiş olan hassas bir tartı sayesinde motoru yatay pozisyonda dengede tutmak için gerekli olan ağırlık oranı tespit edilir. Bu sayede motorun üretmiş olduğu döndürme momenti (T), ölçülen ağırlığın (F) moment kolunun döndürme ekseninin merkezine olan uzaklığı (L) ile çarpılmasıyla hesaplanır.



Şekil 2.5. Tork ölçüm sistemi [43]

Güç hesabı için öncelikli olarak Denklem (2.3) ile tork hesabı gerçekleştirilmiştir;

$$\vec{T} = \vec{L} \times \vec{F} \quad (2.3)$$

Motor milinin birim dakikada gerçekleştirdiği devir sayısı bilinmektedir. Aynı zamanda Denklem (2.3) ile birlikte tork hesabı gerçekleştirilmiştir. Milin belirlenen hız ile birlikte bir devrini tamamlaması için gerekli olan torku sağlamak için uygulanan güç Denklem (2.4) ile hesaplanmaktadır [6,32,44];

$$P = |\vec{T}| \omega \quad (2.4)$$

Tasarıma bağlı kalınarak üretilmiş olan tork ölçüm sistemi Şekil 2.6’de verilmiştir. Sistemde ağırlık kullanmak yerine hassas ölçüm yapabilmek adına moment kolu ucuna 50cm’ye denk gelecek mesafede bir tartı yerleştirilmiştir. Uygulanan kuvveti %1 doğruluk ile ölçebilmemizi sağlayan bu terazi sayesinde anlık olarak devre ve karıştırıcı başlığa bağlı olarak oluşan tork değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2.6. Tork ölçüm sistemi

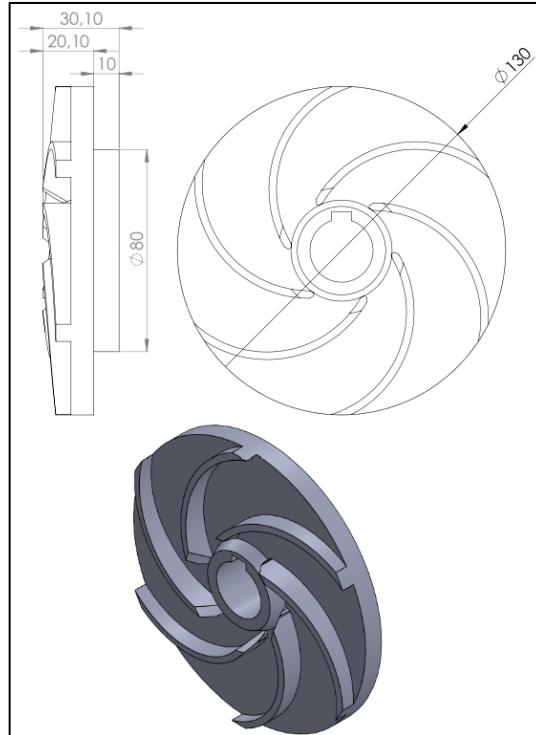
### 3. YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ KARIŞTIRICI ÜRETİMİ

Mevcut yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı üreticilerinin kataloglarının incelenmesi ve literatür çalışması ile birlikte yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılacak karıştırıcı başlık tasarımları yaygın olarak kullanılan başlık tasarımlarından tercih edilmiştir.

#### 3.1. Karıştırıcı Başlıkların Tasarımı ve İmalatı

Rotor stator başlıklarında aşınma ve paslanma problemlerinin önüne geçebilmek için genel itibari ile paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Ancak ham madde maliyetlerinin yüksek olması ve talaşlı imalat zorluklarından dolayı, yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip bir malzeme olan Delrin (POM) malzeme seçilmiştir.

Karıştırıcı başlıkların karıştırıcı performansına etkisi incelenirken en genel rotor tasarımı olan kanatlı rotor tasarımı kullanılacaktır. Kullanılacak olan kanatlı tip rotor için elde edilmiş olan tasarım Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Kanatlı tip rotor tasarımı



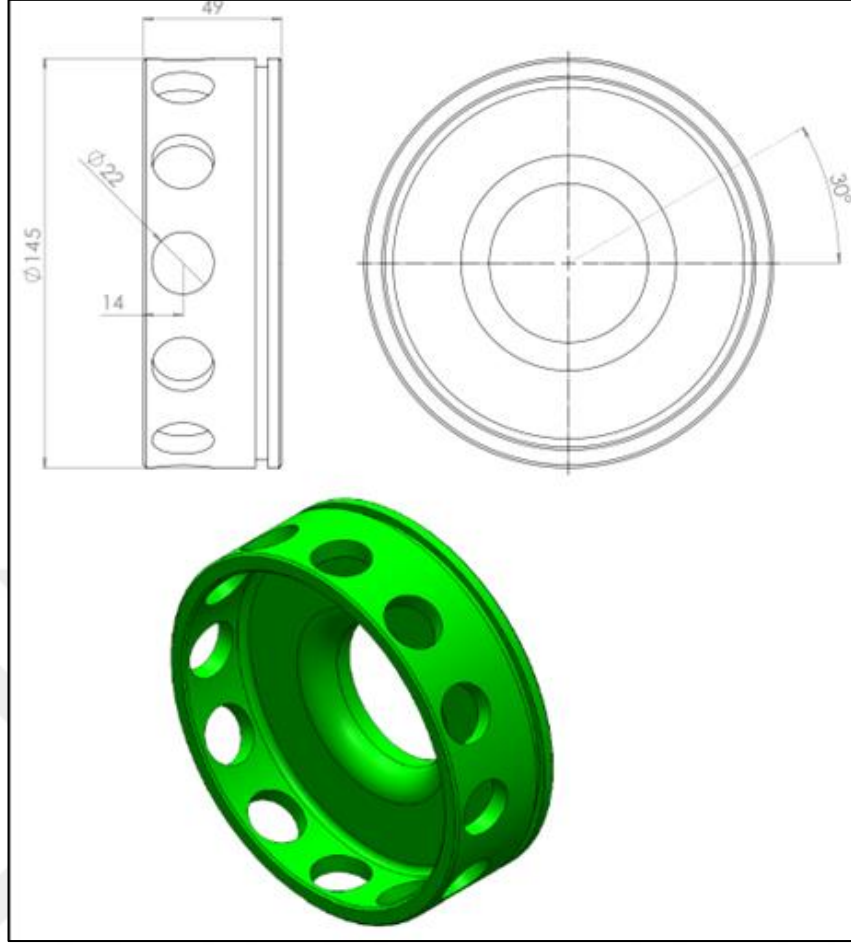
Kanatlı tip rotor imalatı için  $\text{çap:140mm}$ ,  $\text{boy:40mm}$  delrin malzeme tercih edilmiştir.  $\text{Çap ve boy tornalama işlemi yapılarak kanat profillerinin oluşturulması için 3 eksen CNC frezeleme tezgahı kullanılmıştır. Son olarak keskin kenar ve çapakları temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda delrin malzemeden üretilmiş olan kanatlı rotora ait görsel Şekil 3.2’de gösterilmektedir.}$



Şekil 3.2. Kanatlı rotor

Stator tasarımlarının karıştırıcı performansına olan etkisini incelerken piyasa da en çok kullanıma sahip olan delikli stator tasarımı tercih edilmiştir. Statorda bulunan delik geometrilerinin farklı olduğu statorların imalatı için  $\text{çap:210mm}$   $\text{boy:55mm}$  delrin malzeme alınarak tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Stator geometrilerini incelemek adına kullanılan statorlardan ilki Şekil 3.3’de tasarımı verilmiş olan büyük delikli statorudur. Bu stator tasarımı 12 adet  $\text{çapı 22mm}$  olan dairesel açıklık ve bu açıklıklar arasında  $30^\circ$ ’lik açı mevcuttur. Bu tasarıma bağlı kalınarak edilmiş olan delrin ürün Şekil 3.4’de verilmiştir.

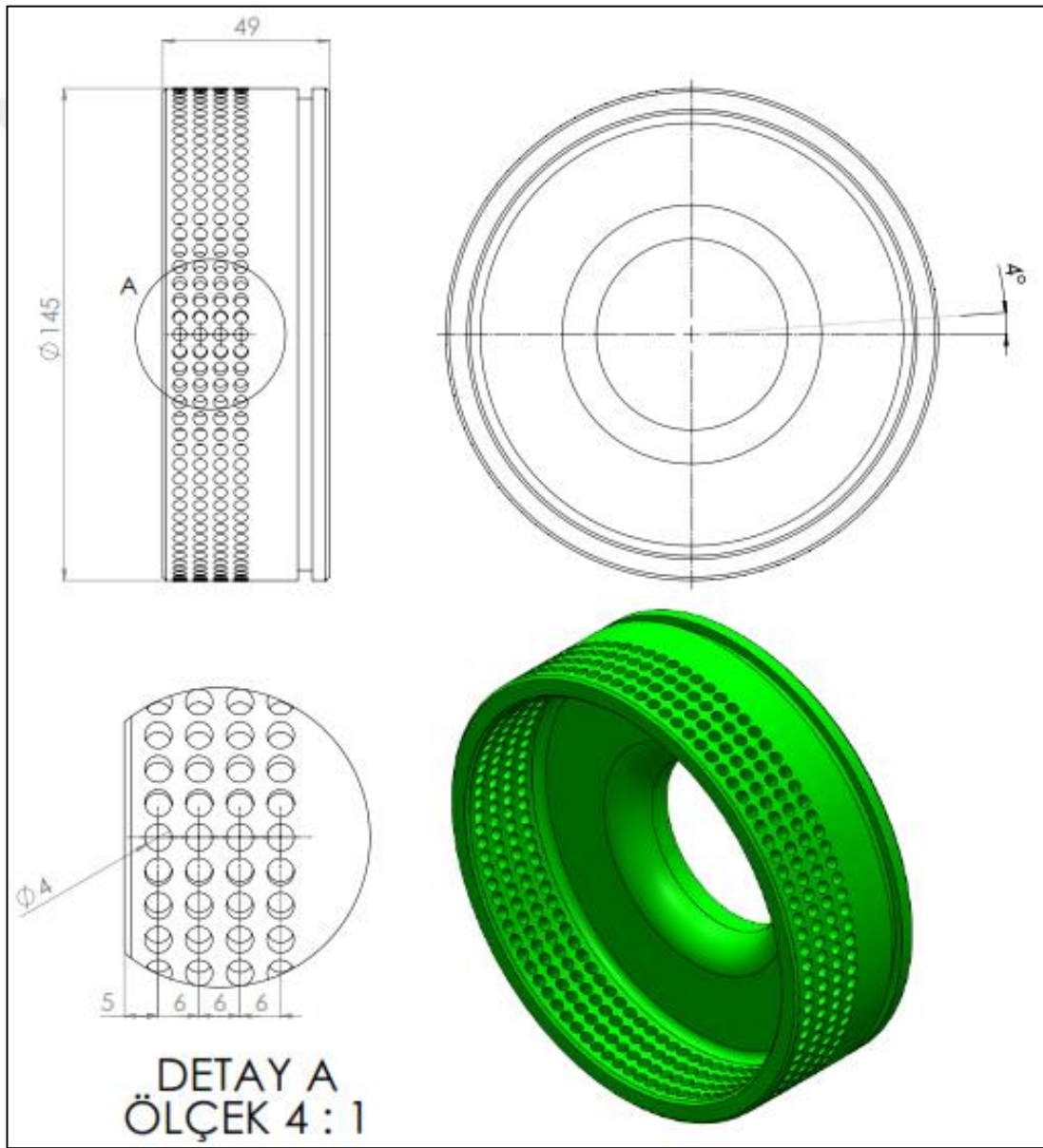


Şekil 3.3. Delikli stator tasarımı



Şekil 3.4. Delikli stator ürün görseli

Statorda bulunan delik çaplarının azaltılması ve sayısının arttırılması ile ürün kalitesinin nasıl etkileneceğini incelemek adına kullanılacak olan başlığa ait tasarım Şekil 3.5’de verilmiştir. Dar delikli stator tasarımı olarak adlandırılan bu tasarımda birim delik çapı 4mm’dir. 4 sıradan oluşan ve aralarında 4°’lik açı bulunan toplam 360 adet delik mevcuttur. Büyük delikli tasarımda toplam açıklık alanı 4560mm<sup>2</sup> iken dar delikli tasarımımızda 4524mm<sup>2</sup>’lik açıklığımız vardır. Hacimsel olarak kapladıkları alan eşit olan bu iki başlık tasarımımızda toplam açıklık sayıları eşit tutularak açıklıkların birim boyutlarının etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.5. Dar delikli stator tasarımı

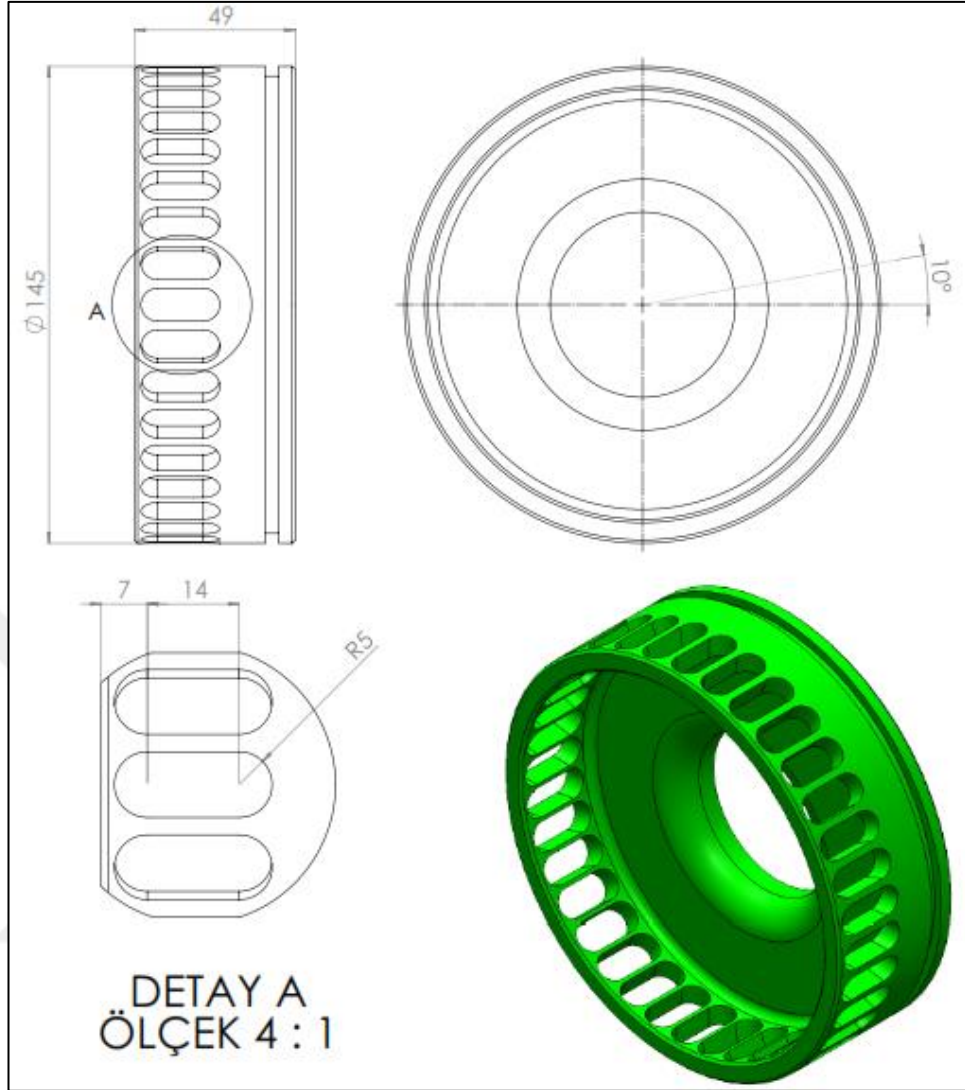
Şekil 3.5’de bulunan tasarıma uygun olarak delrin malzemededen üretilmiş olan ürün görseli Şekil 3.6’da verilmiştir. 4mm’lik delikler CNC torna tezgahında açılmıştır.



Şekil 3.6. Dar delikli ürün görseli

Şekil 3.7’de ise delikli statorların farklı geometrik özelliklere sahip olan oluklu stator tasarımı görülmektedir. Bu tasarımı meydana getiren oluklar 10°’lik açılar ile yerleştirilmiştir. Toplamda 36 oluk mevcuttur. Statorun akış alanını oluşturan bu olukların alanı toplamda 2828 mm<sup>2</sup>’dir. Bu tasarımın açıklık alanı diğer stator geometrilerine nazaran oldukça azdır. Bu sayede açıklık geometrisi ile birlikte toplam açıklık alanının katı-sıvı karışımlarda karıştırıcı performansına olan etkisi incelenmiştir. Oluklu stator tasarımına ait ayrıntıların verilmiş olan oluklu statorun delrin malzemededen ürün görseli ise Şekil 3.8’de verilmektedir.





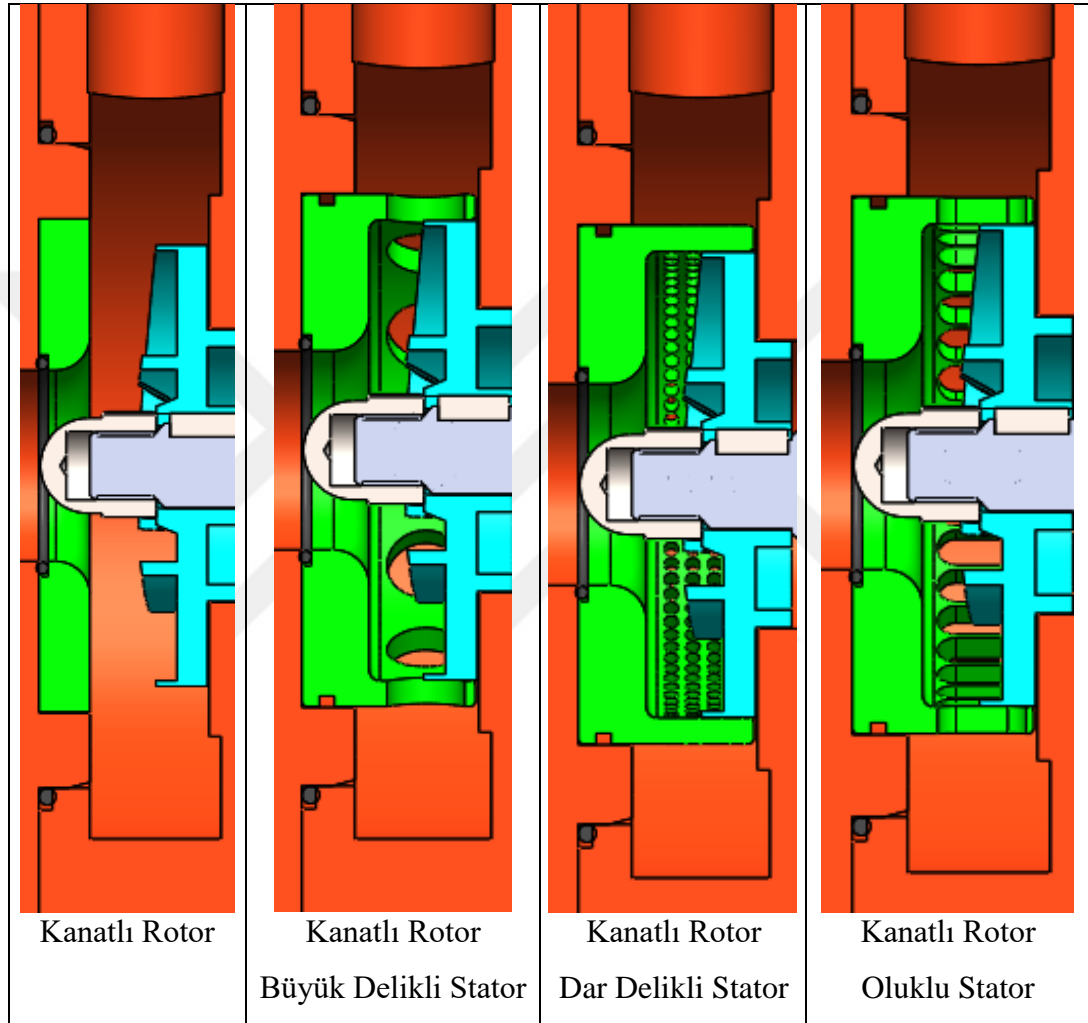
Şekil 3.7. Oluklu stator tasarımı



Şekil 3.8. Oluklu ürün görseli

Karıştırıcı başlıkların karışım hacmi içerisindeki yerleşimleri sırası ile tüm başlık tasarımları için Tablo 3.1’de verilmiştir. Rotorun statorsuz olarak kullanıldığı tasarımda, karışım hacmindeki montaj kanallarının kapatılarak sızdırmazlığın sağlanabilmesi için kapak montajı gerçekleştirilmiştir.

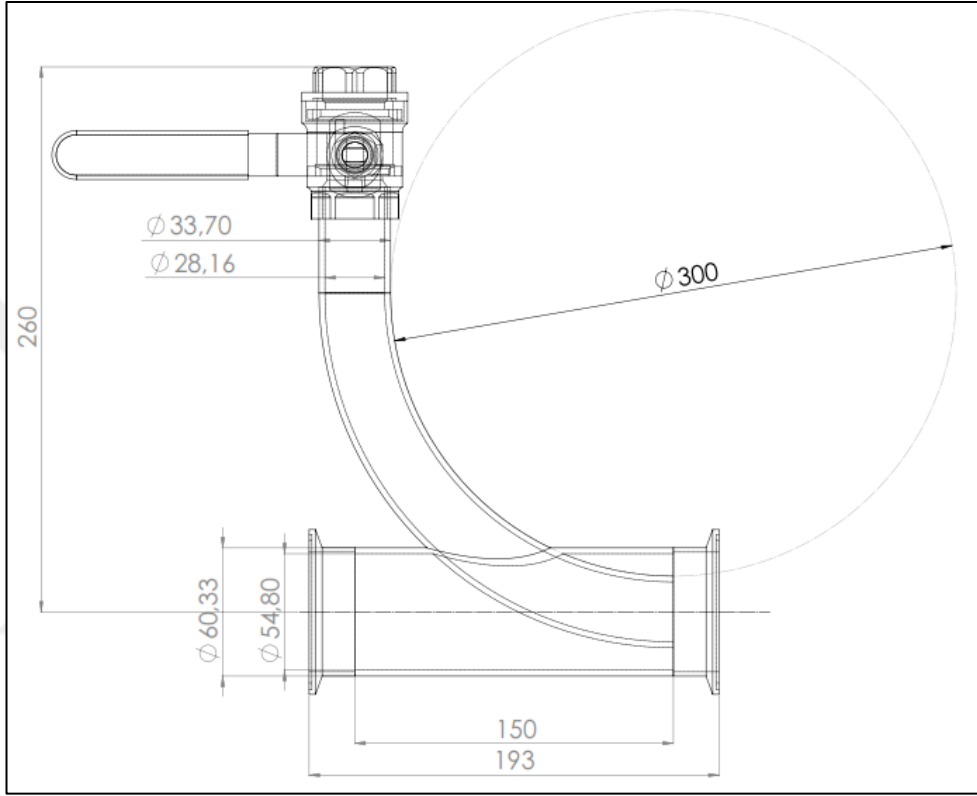
Tablo 3.1. Rotor ve stator tasarımlarının karışım hacmi içerisindeki yerleşimleri



### 3.2. Besleme Hattı Tasarımı ve İmalatı

Besleme hattının imalatında dikkat edilmesi gereken ilk husus ön karışımın doğru şekilde yapılması ve ürünlerin karışım hacmine tam olarak dahil edilebilmesidir. Karşılaşılabilecek en önemli risk ise partiküllerin karışım hacmine ulaşmadan sıvıyı emmesi ve hat içerisinde tıkanıklıklara sebep olmasıdır. Bu durum ürünlerin karışım hacmine istenilen oranda ulaşmasını engelleyeceği gibi prosesin durmasına da sebep olacaktır.

Korkmaz ve arkadaşlarının aldığı sonuçları dikkate alarak ürün hattı 150mm dirsek yarıçapı ile tasarlanmıştır. Ayrıca hat içerisindeki topaklaşma riskini indirgeyebilmek adına ürün hattından gelen mamullerin mümkün olduğunca kısa mesafeden karışım hacmine dahil edilmesi amaçlanmış ve buna bağlı kalınarak bir ürün hattı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ürün hattına ait tasarım Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Ürün hattı tasarımı

Ürün hattı ana hat bağlantı borusu için düşünülen  $\text{Ø}60,33 \times \text{Ø}54,8$  SCH10S 304L kalite paslanmaz boru ile  $\text{Ø}33,7 \times \text{Ø}28,16$  SCH10S 304L kalite paslanmaz borunun birbiri ile dirsek yarıçapı yaparak birleştirilmesi ile oluşmuştur. Dairesel testere ile paylı olarak kesilen ürün hattı ana hat bağlantı borusu üniversal torna tezgahında alın tornalama işlemi yapılarak hassas olarak 150mm boyuna tornalanmıştır. Ardından bu boruya,  $\text{Ø}33,7 \times \text{Ø}28,16$  borunun 150mm dirsek yarı çapı yapacak şekilde yerleştirilmesi için yuva açılma işlemi üniversal freze tezgahında delik delinerek sağlanmıştır.  $\text{Ø}33,7 \times \text{Ø}28,16$  SCH10S 304L kalite paslanmaz borunun da aynı şekilde boy tornalanması gerçekleştirilip, 150mm dirsek yarı çapı verilebilmesi için silindir bükme tezgahından geçirilmiştir. Ayrıca bu boruya küresel vana montajı için torna tezgahında diş çekilmiştir. Hazırlanan bu parçalar TIG kaynak yöntemi ile

birleştirilmiştir. Kaynak ile birleştirildikten sonra kaynak cürufları zımparalama yöntemi ile ortadan kaldırılarak kimyasal parlaticı ile temizlenmiştir. Bu işlemler sonucunda üretilmiş olan ürün hattı Şekil 3.10'de verilmiştir.

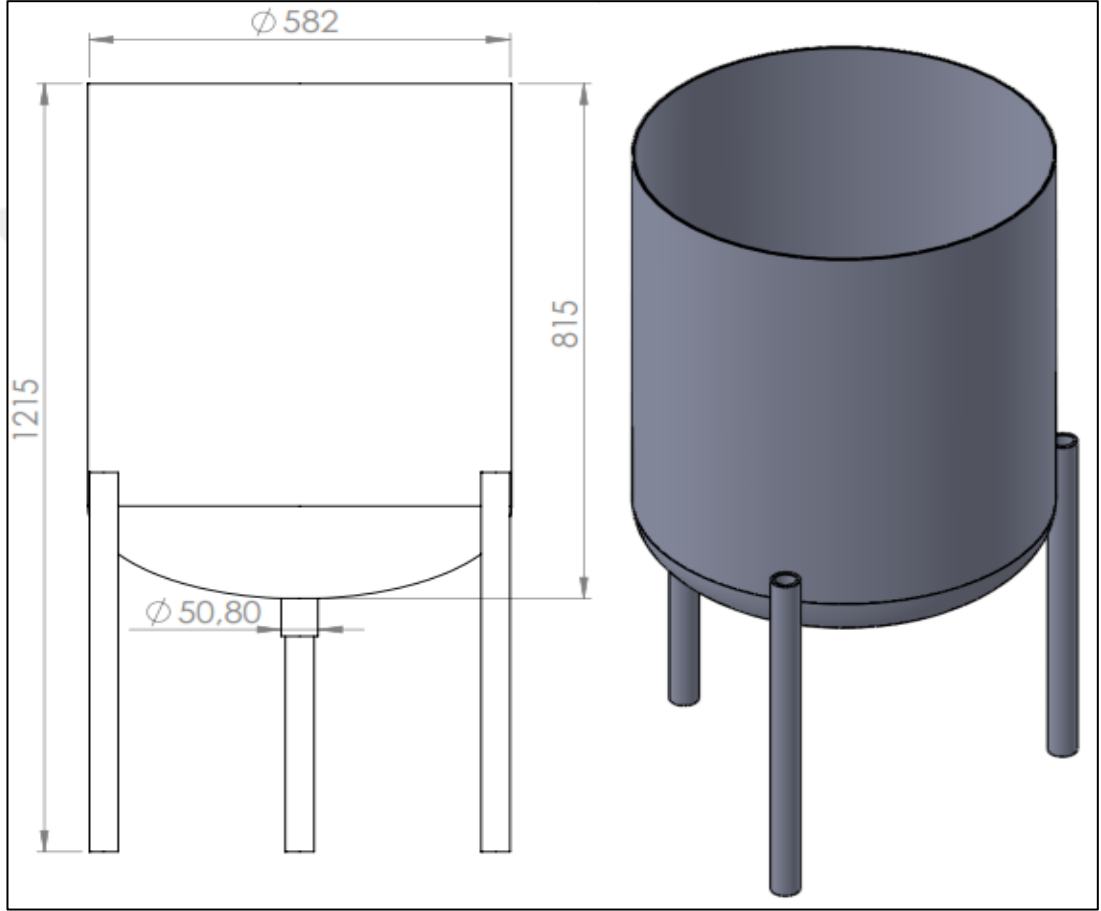


Şekil 3.10. Eğimli ürün hattı

### 3.3. Ana Tank Tasarımı

Kazan tipi karıştırıcılarda ölü bölge oluşumunu engellemek adına tank içerisinde dalgakıran ekleme ve başlığı konumunu doğru ayarlama gibi önlemler söz konusudur. Ancak sürekli tip karıştırıcı tasarımında tank içerisindeki ürünlerin tekrar tekrar ana hatta yönlenebilmesi ve herhangi bir bölgede türbülansın ya da imalat hatalarından dolayı karışıma dahil olmayan ürün kalmaması amaçlanmaktadır. Bu nedenle mümkün olduğunca konik bir tank dibi tasarımı amaçlanmıştır.

Ana tankın imalatında malzeme olarak paslanmaz çelik tercih edilmiştir. Paslanmaz çelik malzeme tercih edilmesinin sebebi ürünlerin pas ve kir gibi olumsuz çevresel etkenlere maruz kalmamasıdır. 582mm çap, 815mm yüksekliğine sahip olan tankın taban kısmının akışkanın besleme hattına doğru rahatça yönelebilmesi için dairesel konik bir hal alması sağlanmıştır. Bu kısımdan da 50,8mm çapında bir çıkış hattı eklenmiştir. Şekil 3.11’de tanka ait imalat resmi verilmiştir.



Şekil 3.11. Ana tank tasarımı

Şekil 3.12’de ise 304L paslanmaz malzemedен üretilmiş olan ürün görseli verilmiştir. Alt kısımda bulunan ana hatta ürünlerin daha sağlıklı bir şekilde ilerleyebilmesi için bombeli yapı kullanılmış ve kaynaklama işlemi sonrasında boru hattına ait kaynak çapakları temizlenmiştir. Bu sayede tasarım ve ürün kalitesi yönünden ürünlerin tamamının karışıma dahil olması sağlanmıştır.

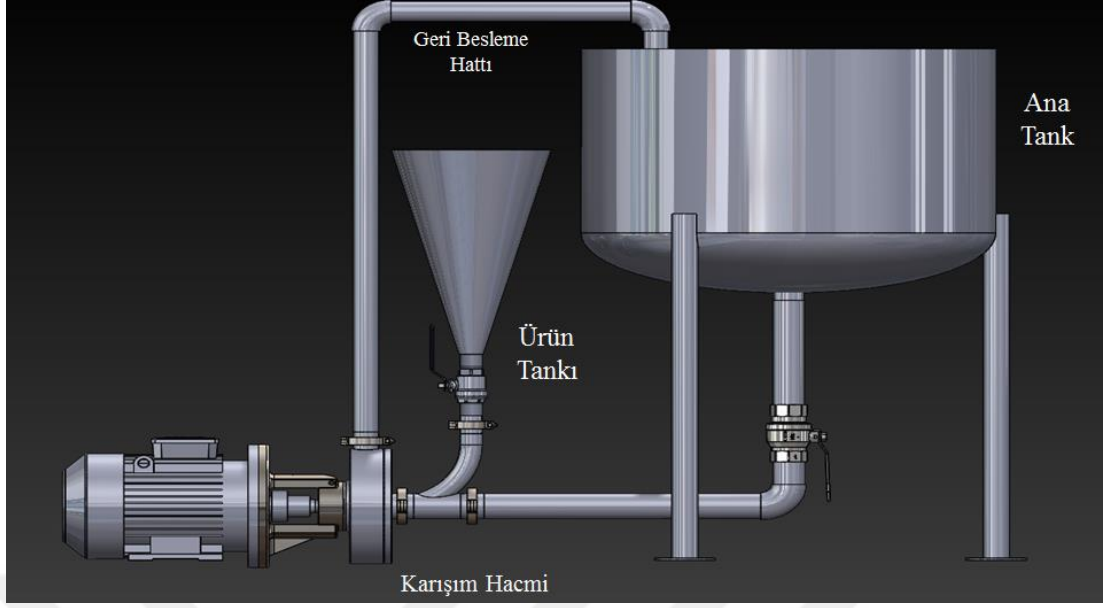


Şekil 3.12. Ana tank imalatı

### 3.4. Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcı Tasarımı ve Test Düzeneği

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcımızın tasarımı Şekil 3.13’de verilmiştir. Tasarıma bağlı kalınarak üretilen test düzeneği, rotor-statorların bir kısmı ve deneylerde kullanılan mamuller Şekil 3.14’de verilmektedir. Test işlemlerinde kolaylıkla karışım hacminin sökülerek karıştırıcı başlıkların değiştirilmesi ve test düzeneğinin temizlenmesi için bağlantı elemanları kelepçeli olarak tercih edilmiştir. Ayrıca sistem için sızdırmazlık özelliği büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle tüm eklentilerde contalar kullanılmıştır.





Şekil 3.13. Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı tasarımı



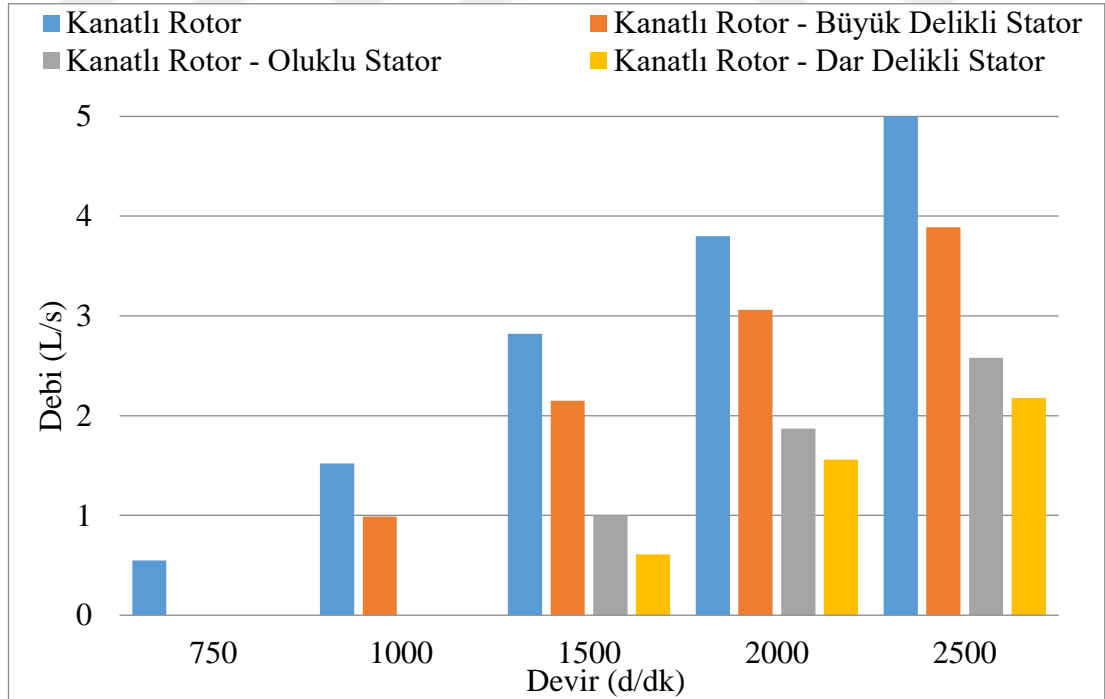
Şekil 3.14. Sürekli tip yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı deney düzeneği

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karboksimetil selüloz ile suyun karışımını kullanarak çift fazlı ürünler üzerinde karıştırıcı başlıkların etkisini incelemek için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yalnızca su ile birlikte 3. Bölüm’de verilmiş olan rotor-stator başlıklarının oluşturduğu debi ve tork değerleri tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise besleme hattı tasarımı ve rotor hızı sabit tutularak başlıkların karboksimetil selüloz ile suyun karışımındaki performansları değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Başlık Tasarımlarının Akış Hızına Olan Etkisinin Değerlendirilmesi

Rotor-stator başlıklar sırası ile farklı devirlerde test edilmişlerdir. Ürün olarak suyun kullanıldığı testler sonucunda elde edilmiş olan debi-devir grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Rotor-stator başlıkların rotor dönüş hızına bağlı olarak akış hızına olan etkisi



Şekil 4.1’de görüldüğü gibi kanatlı rotor, statorsuz şekilde kullanıldığı taktirde debi miktarı diğer karıştırıcı türlerine nazaran oldukça yüksektir. Rotor uc hızı ile birlikte sisteme dahil edilen enerjinin tamamı akışkana aktarılmıştır. Karşısında herhangi bir direnç ile karşılaşmayan akışkan merkezkaç kuvvetinin etkisi ile birlikte karışım hacmini terk ederek geri besleme hattına yönelir. Diğer başlıklarda ise karışım hacmine doğru gerçekleşen akış daha çok tank içerisinde bulunan ürünün karışım hacmi ile arasındaki yükseklik farkından dolayı sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca herhangi bir devridaim gerçekleşmemesinden dolayı statorlu başlıklarda 750d/dk’da debi miktarı 0 L/s olarak değerlendirilmiştir.

Statorlu başlıkların herhangi bir devridaim gerçekleştirilememesinin temel sebebi sisteme dahil edilen enerjinin geri besleme hattındaki yükseklik seviyesi nedeniyle oluşacak olan basınç farkını karşılayabilecek kadar basınç meydana getirememesidir. Geri besleme hattı 1000mm’lik bir yükseklik ile üretilmiştir. Bu nedenle devridaim gerçekleştirilebilmek için  $\approx 9781\text{Pa}$ ’lık bir basıncın karıştırıcı başlık tarafından yenilmesi gerekmektedir.

Tablo 4.1’de tüm rotor-stator tasarımlarına göre sisteme dahil edilmiş olan birim kütle başına enerji dağılımı görülmektedir. 750d/dk’da statorlu tasarımlar tarafından sisteme dahil edilen enerji oranlarının yalnızca rotorun kullanıldığı başlığa nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak buna rağmen devridaim gerçekleşmemektedir. Bunun sebebi sisteme dahil edilen enerjinin bir kısmının parçalama kinetiği olarak kullanılmasıdır.

Tablo 4.1. Başlık tasarımlarının farklı rotor hızlarındaki enerji dağılım oranları

Rotor Hızı (d/dk)	Enerji Dağılım Oranı (W/kg)			
	Kanatlı Rotor	Kanatlı Rotor Büyük Delikli Stator	Kanatlı Rotor Dar Delikli Stator	Kanatlı Rotor Oluklu Stator
750	22	43	28	28
1000	51	80	50	63
1500	144	162	142	199
2000	293	318	303	443
2500	479	667	615	822

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi rotor uc hızları aynı olmasına rağmen stator geometrilerine bağlı olarak birim kütle başına enerji dağılım oranı farklılık göstermektedir. Tüm stator tasarımlarının yüzey alanları yaklaşık olarak  $12300\text{mm}^2$  olarak tasarlanmış ve üretilmiştir. Büyük delikli ve dar delikli statorların toplam açıklık alanları birbirine oldukça yakındır. Büyük delikli stator tasarımının açıklık alanı  $4524\text{mm}^2$  iken dar delikli tasarımın açıklık alanı  $4560\text{mm}^2$  olarak üretilmiştir. Oluklu stator tasarımının ise açıklık geometrisi ile birlikte açıklık alanı da farklılık göstermektedir. Oluklu stator tasarımının açıklık alanı  $2828\text{mm}^2$  olarak üretilmiştir.

Özcan Taşkın ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 10 mm ve 1mm çaplarına sahip çift kademeli delikli statorların karşılaştırmasını yapmışlardır [33]. Yapmış olduğumuz çalışma sonucunda Özcan Taşkın’ın elde etmiş olduğu gibi  $\text{Ø}4\text{mm}$ ’lik açıklıklara sahip olan statorumuzun  $\text{Ø}22\text{mm}$ ’lik açıklıklara sahip olan statora göre sisteme daha fazla enerji girişi sağladığı tespit edilmiştir. Benzer akış alanı geometrisine sahip olan büyük ve dar delikli stator tasarımlarımızın debi miktarına olan etkisine göz attığımızda kanatlı rotorun büyük delikli stator tasarımı ile birlikte kullanıldığı başlık tasarımlarında debi miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Rotor geometrisi, kesme boşluğu mesafesi, karıştırıcı başlığın karışım hacmi içerisinde kapladığı alan eşit tutularak gerçekleştirilen deneylerde debi miktarlarında farklılıklar oluşması stator geometrisi ile açıklanabilir. Rotor kanatlarının dönüş yönünün tersi yönde teğetsel olarak hareket eden akışkanlar kanatların stator akış alanı hizasına geldiği anda radyal olarak hareketlerini hızlandırır. Daha önce de jet hızı olarak belirttiğimiz bu durum stator akış alanlarının hidrolik çaplarına göre değişiklik göstermektedir. Statorda bulunan birim akış alanı boyutlarının büyük olması jet hızlarının daha geniş bir alanda gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle birim stator akış alanı fazla olan büyük delikli stator tasarımının debi miktarı daha fazladır.

Güç sayıları  $2500\text{d/dk}$ ’da Denklem (1.2)’ye göre hesaplandığında yalnızca rotor başlığında 0,25, büyük delikli statorlu geometride 0,36, oluklu geometride 0,44 ve dar delikli statorlu geometri de 0,33 olarak hesaplanmıştır. Güç sayısının hesaplanması için gerekli değerler arasında yalnızca güç miktarının başlık geometrilerine göre değişiklik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca güç sayısının stator geometrisindeki akış alanlarının sayısının artması ile değil, açıklıkların birim

alanlarının artması ile arttığı görülmektedir. Özellikle toplam açıklık alanları olan büyük ve dar delikli stator geometrilerinde güç sayısının delik sayısının artmasına rağmen düşmesi birim akış alanının boyutu ile açıklanabilir.

#### **4.2. Elde Edilen Viskozite Değerlerinin Değerlendirilmesi**

Parçalanma kinetiği yönünden en önemli hususun rotor uc hızı olduğu yapılan akademik çalışmalarca belirtilmiştir [25,32,33,35]. Tez çalışmam da ise rotor uc hızını, rotor-stator arasındaki mesafeyi, karıştırıcıların karışım hacminde kapladıkları alanı sabit tutarak karıştırıcı başlıkların akış alanları geometrilerine bağlı olarak performansını incelemek adına deneyler gerçekleştirilmiştir. Rotor uc hızı 2500d/dk olarak belirlenmiş ve karışımlar bu hızda gerçekleştirilmiştir. Deneyde Karboksimetil selüloz-su karışımı ağırlıkça %1 oranında gerçekleştirilmiştir. Suyun içerisinde dağılarak sulu çözelti oluşturması amaçlanan karboksimetil selüloz ile yapılmış olan deneylerimiz de karışımlar 5dk'lık bir sürede gerçekleştirilmiştir.

İlk deney çalışmasında ana hat vanası ve ürün hattı vanası açık tutulmuştur. Ancak bu durum sürekli tip karıştırıcılarda karşılaşılabilecek en büyük problem kaynağı olan hattın tıkanmasına sebep olmuştur. Karıştırıcı çalıştırılmaya başlamadığı için suyun içerisinde durağan halde bulunan CMC partikülleri besleme hattı içerisinde suyu hızla emerek topaklaşmaya başlamıştır. Bu duruma bağlı olarak test işlemleri sonucunda elde edilmiş olan ilk sonuç hızla sıvıyı emme özelliği gösteren katı partiküllerin sisteme dahil edilmesinden önce rotorun belirlenen dönüş hızına ulaşmasını sağlamak gerektiğidir. Bu sayede eklenen katı partiküller akışkan ile birlikte direkt olarak karışım hacminin dağıtma ve parçalama etkisi altına girer. Bu sayede hat içerisindeki tıkanma riskinin önüne geçilmiş olur.

Elde edilen bir diğer sonuç ise statorsuz bir şekilde yalnızca rotor başlığı ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda topaklaşmaların yeterince engellenemediğidir. CMC tanelerinin oluşturduğu ve ekipman üzerinde kalan topaklar Şekil 4.2'de açıkça görülmektedir. Statorlu tasarımlarda ise 2500 rotor hızı ile 5 dakika süren karışım sonucunda herhangi bir topak oluşumu görülmemiştir. Bu durum kesme boşluğu ve stator geometrisinin topak oluşumuna olan etkisini kanıtlamaktadır.



Şekil 4.2. Sistemde oluşan topaklanmalar

2500d/dk'lık uc hızı ile gerçekleştirilen deney sonuçlarının irdelenmesi için Newtonien olmayan akışkan özelliği gösteren karboksimetil selüloz-su karışımlarının viskozite değerleri ölçülmüştür. 4 başlık tasarımı ile elde edilen ürünlerin viskozite ölçümü için Sakarya Üniversitesi'nde bulunan ve Şekil 2.1'de verilmiş olan viskozitemetre kullanılmıştır. Elde edilmiş olan sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'deki yoğunluk hesaplanmasında ise 2. Bölüm'de verilmiş olan nüve ve

hassas terazi kullanılmıştır. Yoğunluk değerlerinde belirtilmiş olan belirsizlikler Denklem (2.3) ile hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. 2500d/dk'de gerçekleştirilen deneyler sonucunda farklı tasarımlara ait viskozite ve yoğunluk değerleri

	Viskozite (Pa.s)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
Kanatlı Rotor	0,3	0,974 <sup>±0,007</sup>
Kanatlı Rotor-Büyük Delikli Stator	0,4	0,977 <sup>±0,007</sup>
Kanatlı Rotor-Oluklu Stator	0,4	0,982 <sup>±0,006</sup>
Kanatlı Rotor-Dar Delikli Stator	0,4	0,984 <sup>±0,007</sup>

Ölçüm esnasında cihazın sınırlamalarından dolayı Pa.s biriminde ondalık değerden daha ayrıntılı bir değer ölçümü gerçekleştirilememiştir. Karışım süresinin 5 dakika olarak gerçekleştirilmesinin de %1'lik CMC-su karışımında viskozite değerlerinin bu kadar yakın olmasına sebep olan bir diğer faktör olduğu düşünülmektedir.

Elde edilen viskozite değerlerine göre ilk göze çarpan durum kanatlı rotorun tek başına kullanıldığı uygulamada viskozite değerinin diğer başlıklara göre düşük olmasıdır. Bu durumun stator geometrisinin olmamasından dolayı kayma gerilmelerinin karboksimetil selüloz partikülleri üzerinde yeterince etkin şekilde meydana gelmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tablo 4.1'de verilmiş olduğu gibi 2500d/dk rotor uc hızında enerji dağılım oranı statorlu karışımlara nazaran oldukça düşüktür. Zhang ve arkadaşlarının belirttiği gibi karışım içerisindeki serbest su damlacıklarının fazla olmasının viskozite değerinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir [45]. Düşük viskoziteli ürünlerde parçalama kinetiği statorun eklenmesi ile birlikte özellikle kesme boşluğu bölgesinde stator geometrisi sayesinde artmaktadır. Bu da statorlu karışımlarda viskozite değerinin statorsuz başlık tasarımına göre daha yüksek olmasının diğer bir sebebi olarak yorumlanabilir.

Statorlu tasarımların elde ettiği viskozite değeri 0,4 Pa.s olarak belirlenmiştir. Daha önce konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalarda da benzer geometriler ve işletme koşulları altında yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarda benzer şekildedir. Zhang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada %1'lik karışım oranı ile 6000d/dk'lik

bir devirde elde etmiş olduğu viskozite değeri 0,36Pa.s iken Özcan Taşkın ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada daha düşük bir karışım oranında (%0,8) elde ettiği değer 0,42 Pa.s'dir [32,45]. Bu sonuçlar ile karşılaştırıldığında kullanmış olduğumuz 3 başlık tasarımının da başarılı sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir.

Denklem (1.12)'de eşitliğe ile birlikte her bir başlık geometrisi için karışım hacmi içerisindeki toplam kalma süreleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir. Bu sonuçlar ürünlerin yüksek kayma gerilmelerine ne kadar süre maruz kaldığını belirtmektedir. Özellikle tek geçişli sistemlerde bu husus çok yüksek önem kazanıyor olsa da enerji verimliliği yönünden de değerlendirilmesi gereken bir husustur.

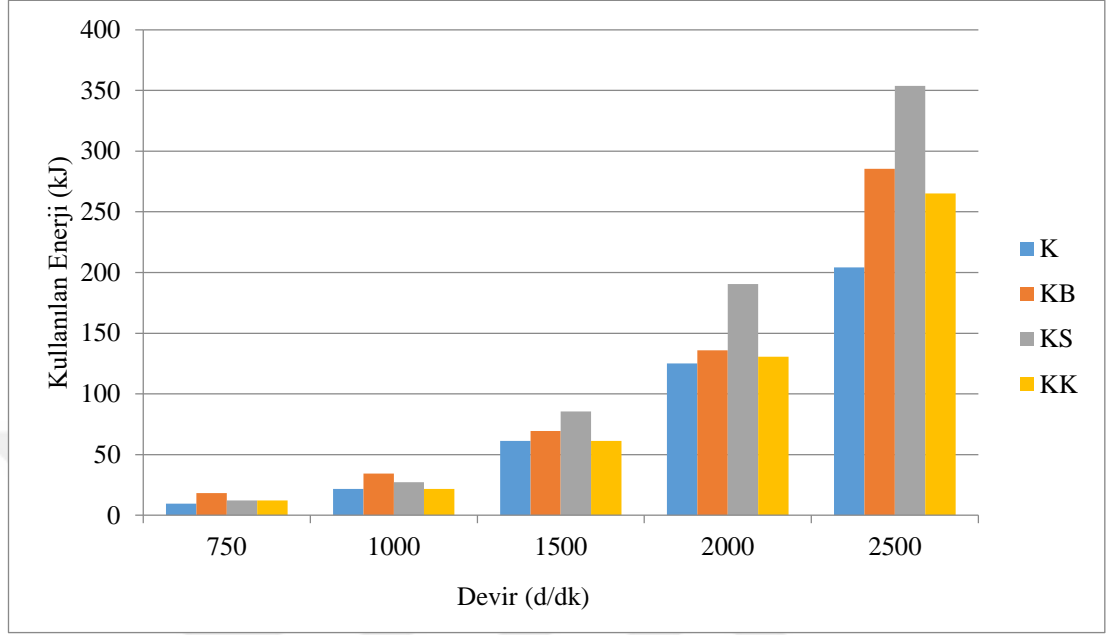
Tablo 4.3'deki sonuçlar tekrar göstermektedir ki stator dar delikli statorda olduğu gibi stator akış alanı sayısının artırılması ve çaplarının azaltılması toplam kalma süresini arttırmaktadır. Bu durum da ürünler daha uzun süre boyunca parçalama kinetiğine maruz kalmaktadır. Proseslerin süresi uzamasının yanında devir başına karıştırma oranı artmaktadır.

Tablo 4.3. Başlık tasarımına bağlı olarak ürünlerin karışım hacmi içerisinde kalma süreleri

	$T_R$	$T_\delta$	$T_S$	$T_V$	$T_T$
Rotor	0,016	0,000029	0,000	0,008	0,024
Rotor-Büyük Delikli	0,021	0,000029	0,008	0,002	0,031
Rotor-Dar Delikli	0,037	0,000029	0,013	0,003	0,053
Rotor-Oluklu	0,031	0,000029	0,009	0,003	0,043

Tüm karıştırıcı başlıklar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen viskozite değerlerinin karışım süresi nedeniyle ideal duruma geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle statorlu başlık geometrilerinin performansını karşılaştırmak için değerlendirilmesi gereken bir diğer husus benzer karışım kaliteleri ortaya koydukları için başlık tasarımları ile birlikte karıştırıcıların enerji kullanımınıdır. 5 dakikalık karışım süresi sonucunda kullanılan enerji miktarlarının belirlenmesi için Tablo

4.1’deki veriler kullanılmıştır. Bu değerlere bağlı olarak elde edilen kullanılan enerji-rotasyon hızı grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Dönme hızına bağlı olarak enerji kullanımı

Bu grafiğe göre oluklu stator tasarımının oldukça yüksek bir enerji kullanım oranına sahip olduğu görülmektedir. %1’lik CMC-su karışımı için oluklu stator tasarımının debi oranının düşük olması sebebiyle karışım süresi yönünden büyük delikli stator tasarımına nazaran önemli bir dezavantaja sahip olacağı tespit edilmiştir. Aynı zamanda enerji kullanımı yönünden de büyük ve dar delikli stator tasarımlarına nazaran oldukça büyük bir dezavantajı olması nedeniyle oluklu stator tasarımının bu tür çift fazlı katı-sıvı karışım proseslerinde kullanımının tercih edilmesinin uygun olmadığı öngörülmüştür.

Ürünlerimize benzer özellikler gösteren katı-sıvı karışımlar için tek geçişli proseslerde dar delikli stator tasarımları kullanımı tercih edilebilir. Bunun sebebi karışım hacmi içerisindeki kalma süresinin diğer karıştırıcı başlık geometrilerine göre fazla olmasıdır. Bu sayede ürünlerin karışım hacmi içerisindeki kayma gerilmelerine maruz kalma oranları arttırılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Paul E. L., Atiemo-Obeng V. A., Kresta S. M., *Handbook of Industrial Mixing*, 4th ed., John Wiley & Sons, New Jersey, 2004.
- [2] Collier R., Egg Beater, 1956, U.S. Patent No.16267, *U.S. Patent and Trademark Office*.
- [3] Kaye B., *Powder Mixing*, 1st ed., Chapman & Hall, London, 1997.
- [4] Ören M., Karıştırma ve Karıştırıcılar, Kullanım Alanları ve Hesaplama Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 182820.
- [5] Nikiforov A. O., Korshakov A. V., Averbukh Y., Sergeev Y. E., Dispersing Pumps for Producing Polyacrylamide Solution, *Chemical and Oil Engineering*, 1990, **11**, 14-15.
- [6] Cooke M., Rodgers T. L., Kowalski A. J., Power Consumption Characteristics of an In-line Silverson High Shear Mixer, *AIChE Journal*, 2012, **58**, 1683-1692.
- [7] Tütüncükara M. M., Endüstriyel Karıştırıcıların Kullanım Alanları ve Boyutlandırma Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 377243.
- [8] Metcalfe G., Stewart R., Wu J., Ohmura N., Feng X., Yang C. Wang S., Solid-Liquid Separation by Particle-Flow Instability, *Energy and Environmental Science*, 2014, **12**, 3982-3988.
- [9] Utomo A., Baker M., Paceka A. W., The Effect of Stator Geometry on the Flow Pattern and Energy Dissipation Rate in a Rotor–Stator Mixer, *Chemical Engineering Research and Design*, 2009, **87**, 533–542.
- [10] Pacek A., Baker M., Utomo A. T., Characterisation of Flow Pattern in a Rotor Stator High Shear Mixer, *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering*, Copenhagen, Denmark, 16-20 September 2007.
- [11] <http://www.silverson.co.uk/> (Ziyaret tarihi: 11.10.2018).
- [12] Reeder M. F., Ryan D., Daly G., Myers K. J., Get a Fix on High Shear Mixing, *Chemical Engineering Progress*, 1999, **95**, 33-42.
- [13] Ko D. I., Computational Fluid Dynamics Simulations of an In-Line Slot and Tooth Rotor-Stator Mixer, Master Thesis, University of Maryland, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, College Park, 2013.

- [14] Ashar M., Arlov D., Carlsson F., Innings F., Andersson R., Single Droplet Breakup in a Rotor-Stator Mixer, *Chemical Engineering Science*, 2018, **181**, 186-198.
- [15] Carrillo De Hert S., Rodgers T. L., Continuous, Recycle and Batch Emulsification Kinetics Using a High-Shear Mixer, *Chemical Engineering Science*, 2017, **167**, 265-277.
- [16] Thapar A., Liquid-Liquid Dispersions from In-line Rotor-Stator Mixers, PhD Thesis, Cranfield University, School of Mechanical Engineering, Bedford, 2001.
- [17] Padron G. A., Özcan Taşkın G. N., Particle de-Agglomeration with an In-Line Rotor-Stator Mixer at Different Solids Loadings and Viscosities, *Chemical Engineering Research and Design*, 2018, **132**, 913-921.
- [18] Zhang J., Xu S., Li W., High Shear Mixers: A Review of Typical Applications and Studies on Power Draw, flow pattern, Energy Dissipation and Transfer Properties, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2012, **57**, 25-41.
- [19] Vial C., Stiriba Y., Trad Z., CFD Simulation of Flow and Mixing in In-line Rotor-Stator Mixers with Complex Fluids, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2015, **93**, 391-403.
- [20] Utomo A. T., Flow Patterns and Energy Dissipation Rates in Batch Rotor-Stator Mixers, Doctor of Philosophy, University of Birmingham, The School of Engineering, Birmingham, 2009.
- [21] Çengel Y. A., Cimbala J. M., *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, 1. Baskı, Güven Kitabevi, İzmir, 2008.
- [22] Günal B., Karboksimetilselülozun Çözünürlüğünün Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999, 83068.
- [23] Lindahl A., Fluid Dynamics of Rotor Stator Mixers, Master Thesis, Lulea University of Technology, Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, Lulea, 2013.
- [24] Espinoza C. J. U., Flow Studies in an In-line Silverson 150/250 High Shear Mixer Using PIV, *Chemical Engineering Research and Design*, 2018, **132**, 989-1004.
- [25] Hall S., Cooke M., El-Hamouz A., Kowalski A. J., Droplet Break-up by In-line Silverson Rotor–Stator Mixer, *Chemical Engineering Science*, 2011, **66**, 2068-2079.
- [26] Kowalski A. J., Cooke M., Hall S., Expression for Turbulent Power Draw of an In-line Silverson High Shear Mixer, *Science, Chemical Engineering*, 2011, **66**(3), 241-249.

- [27] Zhang C., CFD Analysis Of Flow Pattern And Power Consumption For Viscous Fluids In In-Line High Shear Mixers, *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, **117**, 190-204.
- [28] Brawn Mixer Inc., *Principle of Fluid Mixing*, 1st ed., Brawn Mixer Inc., Michigan, 2003.
- [29] Minnick B. A., Kim J. W., Ko D., Calabrese R. V., Flow and Power Characteristics Of An Axial Discharge Rotor-Stator Mixer, *Chemical Engineering Research and Design*, 2018, **136**, 477-490.
- [30] Francis M. K., The Development of a Novel Probe for the in Situ Measurement Particle Size Distributions and Application to the Measurement of Drop Size in Rotor-Stator Mixer, PhD Thesis, University of Maryland, Department of Chemical Engineering, College Park, 1999.
- [31] Padron G. A., Measurement and Comparison of Power Draw in Batch Rotor-Stator Mixers, Master of Science, University of Maryland, Department of Chemical Engineering, College Park, 2001.
- [32] Özcan Taşkın G. N., Kubicki D., Padron G. A., Power and Flow Characteristics of Three Rotor-Stator Heads, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2011, **89**, 1005-1017.
- [33] Özcan Taşkın G. N., Padron G. A., Kubicki D., Comparative Performance of In-Line Rotor-Stators for Deagglomeration, *Chemical Engineering Science*, 2016, **156**, 186-196.
- [34] Hall S., Pacek A. W., Kowalski A. J., Cooke M., Rothman D., The Effect of Scale and Interfacial Tension on Liquid–Liquid Dispersion in In-line Silverson Rotor–Stator Mixers, *Chemical Engineering Research and Design*, 2013, **91**, 2156-2168.
- [35] Deshwar V. D., Kumar V., Hydrodynamics and Mixing Characterization in A Novel High Shear Mixer, *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 2017, **120**, 57-67, 2017.
- [36] Rodgers T. L., Cooke M., Rotor–Stator Devices: The Role of Shear and The Stator, *Chemical Engineering Research and Design*, 2012, **90**, 323-327.
- [37] Korkmaz F., Ünal S., Ertaş A., Karabay H., Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcılarda Besleme Hattı Tasarımı, *6. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Alanya, Antalya, 09-11 Kasım 2018.
- [38] Innings F., Hakansson A., Mortensen H. H., The Effect of Stator Design on Flowrate and Velocity Fields in a Rotor-Stator Mixer: An Experimental Investigation, *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, **121**, 245-254.

- [39] Holman J. P., *Experimental Methods for Engineers*, 8th ed., Mc-Graw Hill, New York, 2012.
- [40] [www.americanlaboratory.com/913-Technical-Articles/778-Measurement-of-Viscosity-in-a-Vertical-Falling-Ball-Viscometer/](http://www.americanlaboratory.com/913-Technical-Articles/778-Measurement-of-Viscosity-in-a-Vertical-Falling-Ball-Viscometer/) (Ziyaret tarihi: 22.06.2019).
- [41] [www.tr.endress.com/tr/saha-enstrumantasyonu/s%C4%B1v%C4%B1lar-gazlar-buhar-ak%C4%B1%C5%9F-%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-93T](http://www.tr.endress.com/tr/saha-enstrumantasyonu/s%C4%B1v%C4%B1lar-gazlar-buhar-ak%C4%B1%C5%9F-%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC/Product-Ultrasonic-flowmeter-Proline-Prosonic-Flow-93T) (Ziyaret tarihi: 22.06.2019).
- [42] [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000255/6790/000/02/BA00136DEN\\_1311.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000255/6790/000/02/BA00136DEN_1311.pdf) (Ziyaret tarihi: 22.06.2019).
- [43] <https://www.britannica.com/technology/dynamometer#ref110230> (Ziyaret tarihi: 22.06.2019).
- [44] Innings F., Hakansson A., The Dissipation Rate of Turbulent Kinetic Energy and Its Relation to Pumping Power in Inline Rotor-Stator Mixers, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2017, **115**, 46-55.
- [45] Huicui S., Bo H., Li P., Fulong N., Guosheng F., Zhang L., Effect of Shearing Actions on the Rheological Properties and Messtructures of CMC, PVP AND CMC + PVP Aqueous Solutions as Simple Water-Based Drilling Fluids for Gas Hydrate Drilling, *Journal of Unconventional Oil and Gas Resources*, 2016, **14**, 86-98.
- [46] Qin H., Geometrical Improvement of Inline High Shear Mixers to Intensify Micromixing Performance, *Chemical Engineering Journal*, 2017, **319**, 307-320.

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Korkmaz F.**, Ünal S., Ertuş A., Karabay H., Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcılarda Besleme Hattı Tasarımının Karıştırıcı Performansına Etkisi *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Alanya/Antalya, 9-11 Kasım 2018.



## ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Giresun'da doğdu. İlköğretim, ortaöğretim ve lise öğrenimlerini Giresun'da tamamladıktan sonra Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2015 yılında mezun oldu ve aynı yıl içerisinde Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Yine 2015 yılında başlamış olduğu Türk Standartları Enstitüsü'nde İnceleme Elemanı görevini 2018 yılına kadar yürüttü. Halen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

