

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

SELİM ÜNAL

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK FAZLI ÜRÜNLERİN KARIŞIMI İÇİN YÜKSEK KAYMA
GERİLMELİ KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI

SELİM ÜNAL

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

Günümüz karışım teknolojisinde rekabet ve ürün kalitesi üst düzeydedir. Bu sebeple karışım neticesinde oluşan mamulün; homojen yapısı, homojen yapı sağlanana kadar geçen süre ve enerji sarfıyatı büyük önem arz etmektedir. Ayrıca mikser modernizasyonu için bir çok arge çalışması yürütülmektedir. Ülkemiz adına da yapılan arge çalışmaları sevindirici ama yeterli değerlidir. Bu tez dahilinde yüksek kayma gerilmeli mikser tasarımı ve imalatı hedeflenmiştir.

Bu çalışmalar esnasında mühendislik bilgi ve tecrübesinden yararlandığımız Prof. Dr. Hasan KARABAY'a, projeyi birlikte yürüttüğümüz ve yardımlarını esirgemeyen Furkan KORKMAZ ve Avni ERTAŞ arkadaşlarıma,

Ülkemizde Arge çalışmalarının büyük destekçisi olmuş ve tüm ekipmanların imalatı için desteklerini aldığımız Asyamak Metal Mühendislik firmasına ve çalışanlarına,

Varlıkları ile daima güvende hissetmemi sağlayan çok değerli annem Ayfer ÜNAL ve babam İmran ÜNAL'a, ve son olarak aldığım tüm kararlarda beni cesaretlendiren ve destekleyen kıymetli eşim Hafize Naciye ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Eylül – 2019

Selim ÜNAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
2. YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ ROTOR-STATOR KARIŞTIRICILAR	7
2.1. Rotor-Stator Başlıklar	7
2.2. Sürekli Tip Yüksek Kayma Gerilmeli Rotor-Stator Karıştırıcı	12
2.3. Literatür Taraması.....	13
3. ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	17
3.1. Yoğunluk Ölçümü.....	17
3.2. Debi ve Rotor Dönüş Hızının Ölçümü.....	18
3.3. Tork Ölçümü	19
3.4. Damlacık Boyutlarını Ölçümü	20
4. DENEY DÜZENENİNİN TASARIMI VE İMALATI.....	22
4.1. Karıştırıcı Başlık Tasarımı ve İmalatı.....	22
4.2. Karışım Depolama Tankının Tasarımı ve İmalatı	27
4.3. Karışım Hacmi Tasarımı ve İmalatı.....	29
4.4. DeneY Düzeneni.....	30
4.5. DeneYde Kullanılacak Ürünler ve Özellikleri.....	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
5.1. Başlık Tasarımlarına Göre Tork ve Debi Oluşumunun Değerlendirilmesi.....	33
5.2. Damlacık Boyutlarının Değerlendirilmesi.....	36
KAYNAKLAR	39
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	42
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Emülsiyon karışımlar	3
Şekil 1.2.	Yüksek basınçlı homojenizatör	4
Şekil 1.3.	Değirmen tipi karıştırıcı ve karıştırıcı başlık tasarımı.....	5
Şekil 1.4.	Silverson'a ait yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı.....	5
Şekil 1.5.	Farklı karıştırıcıların devridaima bağlı olarak damlacık boyutlarına etkisi	6
Şekil 2.1.	Karıştırıcı başlık	8
Şekil 2.2.	Sıkça birlikte kullanılan rotor-stator başlıklar.....	9
Şekil 2.3.	Radyal etkili kanat tasarımı sahip rotor-stator karıştırıcı başlıkları	9
Şekil 2.4.	Eksenel etkili kanat tasarımına sahip rotor-stator mikser başlıkları.....	10
Şekil 2.5.	a) Kazan tipi ve b) Sürekli karıştırıcıların şematik görünümü	11
Şekil 2.6.	Sürekli tip rotor-stator karıştırıcının çalışma aşamaları	13
Şekil 3.1.	Yoğunluk ölçümü	17
Şekil 3.2.	Motor milinde takometre ile hız ölçümü.....	18
Şekil 3.3.	Besleme hattı üzerinden debi ölçümü	19
Şekil 3.4.	Tork ölçüm sisteminin şematik görünümü.....	20
Şekil 3.5.	Tork ölçümü için kullanılan ağırlık ölçüm sistemi	20
Şekil 3.6.	Partikül boyut ölçüm cihazı (Malvern Zetasizer).....	21
Şekil 4.1.	Kanatlı-dişli rotor imalat resmi	23
Şekil 4.2.	Kanatlı-dişli tip rotor	23
Şekil 4.3.	Tek kademeli dişli stator imalat resmi	24
Şekil 4.4.	Tek kademeli dişli stator	25
Şekil 4.5.	Çift kademeli dişli stator imalat resmi	25
Şekil 4.6.	Çift kademeli dişli stator	26
Şekil 4.7.	Karışım depolama tankı imalat resmi.....	28
Şekil 4.8.	Karışım depolama tankı	28
Şekil 4.9.	Karışım hacmi imalat resmi	29
Şekil 4.10.	Karışım hacmi	30
Şekil 4.11.	Deney düzeneği tasarımı	31
Şekil 4.12.	Deney düzeneği ve başlık tasarımları.....	31
Şekil 5.1.	Farklı rotor hızlarında başlık tasarımına göre debi miktarlarının değişimi	34
Şekil 5.2.	Rotor hızına bağlı olarak farklı başlık tasarımlarındaki enerji dağılım oranları	35

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Rotor-stator başlık geometrileri	27
Tablo 4.2. Farklı özelliklerdeki silikon yağları	32
Tablo 5.1. Ölçülen debi ve kütle değerleri	33
Tablo 5.2. 2500d/dk'da başlık tasarımlarının kullandıkları enerji	36
Tablo 5.3. Damlacık boyutları	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

τ	: Kayma gerilmesi, (N/mm ²)
$\dot{\gamma}$: Kinematik Viskozite, (m ² /s)
μ	: Dinamik viskozite, (Pas)
cP	: Centipoise
E	: Enerji, (J)
F	: Kuvvet, (N)
G	: Yerçekimi, (m/s ²)
L	: Ağırlığın milin merkezine olan uzaklığı, (m)
N	: Dönüş hızı, (dev/dk)
P	: Güç, (W)
W	: Ağırlık, (N)

Kısaltmalar

CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği)
KD	: Kanatlı Dişli Rotor
KDÇ	: Kanatlı Dişli Rotor-Çok Kademeli Stator
KDT	: Kanatlı Dişli Rotor-Tek Kademeli Stator
RSM	: Rotor Stator Mikser

TEK FAZLI ÜRÜNLERİN KARIŞIMI İÇİN YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ KARIŞTIRICI TASARIMI VE İMALATI

ÖZET

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar, emülsiyon oluşturacak olan sıvı-sıvı karışımlarda başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle özellikle ülkemizde yaygınlık kazanamamaktadır. Enerji sarfiyatı, ürün kalitesi ve işlem süresi göz önüne alındığında özellikle kritik prosesler için yatırım maliyetlerini göz ardı edebilecek seviyede başarılı sonuçlar vermektedir. Tek fazlı ürünlerin karışımı için tasarlanacak olan yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı hakkında yapılan literatür taraması sonucunda işletme koşulu olarak 2500d/dk dönüş hızı, 3dk işletme süresi ve 25°C sürekli faz sıcaklığı tercih edilmiştir. Karıştırıcı performansını etkileyecek parametreler arasında rotorun dönüş hızından sonra en büyük öneme sahip olan stator tasarımının etkisini irdelemek adına 3 adet başlık tasarımı gerçekleştirilmiş ve stator olarak dişli stator tercih edilmiştir. Tüm tasarımlarda rotor olarak kanatlı dişli rotor tercih edilirken statorlu tasarımlarda rotor-stator arasındaki mesafe 0,5mm olarak sabitlenmiştir. Kullanılan enerjinin önemli bir kısmının stator duvarlarında parçalanma kinetiği olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çift kademeli statorda debi oranı tek kademeli statora göre düşmektedir. Ancak stator kademesinin arttırılması parçalama kinetiği yönünden önemli faktördür. Ağırlıkça %1'lik su-silikon yağı ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda damlacık boyutlarının önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle çift kademeli statorun sisteme dahil etmiş olduğu enerjinin ve ürünlerin karışım hacmindeki kalma süresinin artması, damlacık boyutlarının 1,6µm'ye kadar düşürülmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Damlacık Boyutunun Azaltılması, Emülsiyon, Karıştırıcı Tasarımı, Rotor-Stator Karıştırıcılar, Sürekli Tip Karıştırıcılar.

HIGH SHEAR MIXER DESIGN AND MANUFACTURING FOR MIXING OF SINGLE PHASE PRODUCTS

ABSTRACT

High shear stress mixers achieve successful results in liquid-liquid mixtures that will form emulsions. However, due to the high initial investment costs it is not widely used in Turkey. Considering the energy consumption, product quality and mixing time, it gives important results which can ignore the investment costs especially for critical processes. As a result of the literature review on the high shear mixers which will be designed for the mixing of single phase products, 2500rpm rotor speed, 3 minutes operating time and 25°C continuous phase temperature are preferred as operating condition. In order to examine the effect of stator design which has the greatest importance after rotor speed among the parameters that will affect the mixer performance, 3 head designs have been realized and toothed stator has been preferred as stator. In all designs, rotor is preferred as winged toothed rotor. In stator designs, the distance between rotor and stator (gap) is fixed as 0.5mm. While the mechanical energy generated in the motor is transferred to the fluid through the rotor, a significant part of this energy is used as the kinetics of breakup in the stator walls. Therefore, the flow rate in the double stage stator is reduced compared to the single stage stator. However, increasing the stator stage is an important factor in terms of shredding kinetics. As a result of the experiments carried out with 1% by weight water-silicone oil, it was found that the droplet sizes decreased significantly. In particular, the increase in the mixing volume of the products and the energy introduced by the dual stage stator has a significant effect on reducing droplet sizes up to 1.6 μ m.

Keywords: Droplet Size Distribution, Emulsification, Mixing Design, Rotor-Stator Mixers, Inline Mixers.

GİRİŞ

Karışım teknolojisi, üretim ve dönüşüm proseslerinde imalat süresini ve elde edilen ürünün kalitesini etkileyen en önemli husustur. Özellikle kimyasal karışım prosesleri içerisinde en yaygın kullanılan ünite karıştırıcı ünitesidir. Bununla birlikte ilaç, boya, kozmetik ve daha birçok proseste karıştırıcılar kilit pozisyonda yer almaktadır [1]. Ayrıca karışım teknolojileri; malzeme, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve kimya gibi disiplinlerin bir arada çalışmasını gerektiren bir alandır. Karıştırma proseslerinde gerçekleştirilen işlemler ise şu şekilde özetlenebilir;

- Homojenleştirme
- Süspansiyon
- Dispersiyon
- Emülsiyon
- Çözelti
- Kimyasal reaksiyon

Artan pazar ihtiyacı ve kaliteli ürün talebi nedeniyle karıştırıcı proseslerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu sebeple daha yüksek karışım kaliteleri, düşük işlem süreleri ve yüksek enerji verimliliği sağlayacak ürünler üzerinde çalışılmaya başlanılmıştır. Rotor-stator karıştırıcılarda talepler doğrultusunda ortaya çıkmış olan bir karıştırıcı prosesidir.

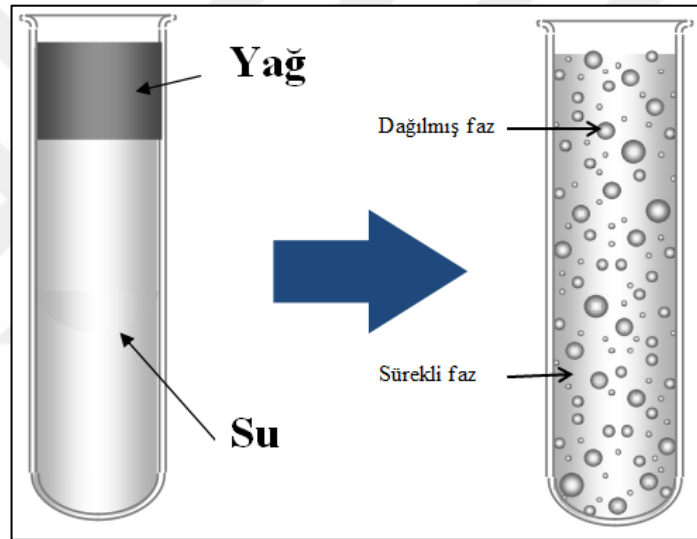
Enerji tüketimi açısından rotor-stator mikserler sisteme yüksek güç girişi ihtiyacı duyarlar ancak çok kısa sürede karışım işlemini tamamlarlar. Bunun yanında, geleneksel karıştırıcılar ise düşük güç ihtiyacı duyarlar ancak işlem süreleri uzundur. Bu durumda, zamana endekli bakıldığında birçok uygulamada geleneksel karıştırıcıların yüksek oranda enerji sarf ettikleri görülebilir. Ek olarak zamandan tasarruf gibi önemli bir imalat etkenini de göz ardı etmemek gerekmektedir. Rotor-stator mikserler, daha çok yüksek kayma gerilmesi ve yüksek enerji dağılımına ihtiyaç duyulan proseslerde kullanılır [2].

Nikiforov ve arkadaşları, kağıdın mukavemetini arttırmak için kullanılan sulu poliakrilamid (PAA) çözeltilisinin üretiminde geleneksel karıştırıcılara alternatif üretim yöntemi bulmak için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Karışım tanklarında, ideal özgül enerji oranının (ϵ) 10W/kg'a ulaşabildiği ve tankta oluşan durgun alanlardan dolayı uniform bir PAA çözeltilisinin üretilmediği belirlenmiştir. Rotor-stator mikser ile birlikte (ϵ) değerinin sadece 1015 W/kg değerine yükselmekle kalmadığı, aynı zamanda kısa sürede uniform bir karışım elde edildiği tespit edilmiştir [3].

Tez çalışmasında, sürekli tip mikserlerde dişli rotor-stator başlıkların kademe sayısının sıvı-sıvı karışımlarda karışım kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Bunun için tek kademeli ve çift kademeli dişli stator tasarımları kullanılmıştır. Tasarım ve imalat çalışmalarını birlikte gerçekleştirdiğim Furkan Korkmaz ise yapmış olduğu tez çalışmasında başlık tasarımı olarak delikli stator tasarımını kullanmış ve katı-sıvı karışımlar üzerindeki etkisini incelemiştir.

1. GENEL BİLGİLER

İki sıvının birbiri içerisinde çözünmeden dağılmasıyla oluşan heterojen karışımlara emülsiyon adı verilmektedir. Heterojen karışımı oluşturan sıvılardan ağırlıkça fazla olan sıvı sürekli faz olarak adlandırılır ve diğer sıvı sürekli faz içerisinde damlacıklar halinde bulunur. Sürekli faz içerisinde askıda kalan bu sıvılara ise dağılmış faz adı verilmektedir. Şekil 1.1'de örneklendirilmiş olan emülsiyon karışımında yağ suyun içerisinde dağılmış faz durumundadır.



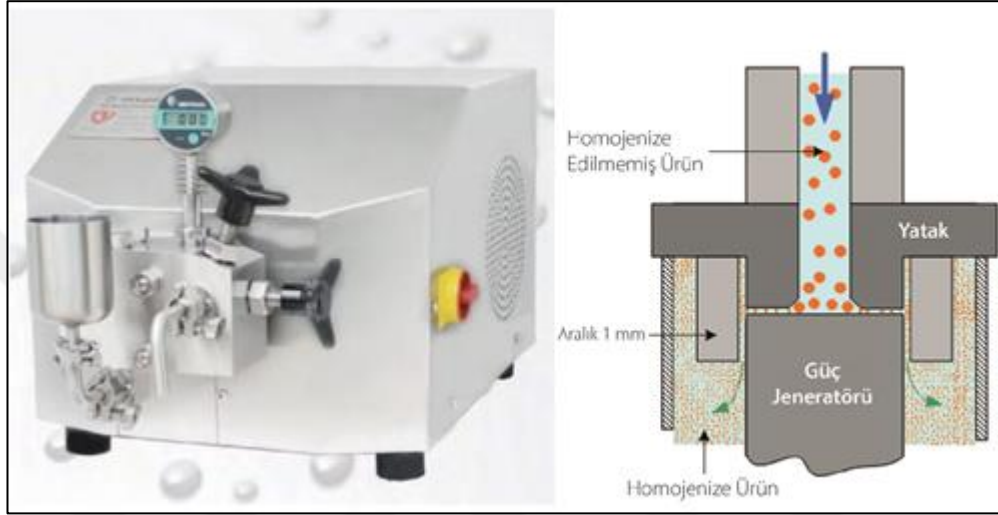
Şekil 1.1. Emülsiyon karışımlar [4]

Emülsiyon karışımların kalitesi dağılmış fazların damlacık boyutları ve sürekli faz içerisindeki dağılımlarının homojen bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğine göre değerlendirilmektedir. Yüksek kaliteli emülsiyon karışımlar elde etmek için geleneksel karıştırıcılar yerine özel karıştırıcı tasarımları tercih edilmeye başlamıştır;

- Yüksek basınçlı homojenizatör
- Değirmen tipi karıştırıcı
- Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı

Emülsiyon elde etmek için kullanılan yüksek basınçlı homojenizatör Şekil 1.2'de örneklendirilmiştir. Yüksek basınçlı homojenizatörler, dar bir orifiz içerisinde yüksek hıza sahip iki sıvının yüksek basınçla pompalanması

prensibi ile çalışır. Yüksek basınç uygulanarak ürünlerin Şekil 1.2’de gösterilmiş olduğu gibi dar bir aralıktan geçmeye zorlanması sonucunda damlacık boyutlarının küçültülmesi sağlanır. Birim hacme dahil edilen enerji ve damlacık boyutlarının küçültülmesi yönünden önemli bir avantaja sahip olan homojenizatörlerin yalnızca düşük viskoziteli ($<0,5\text{Pa.s}$) ürünler ile birlikte kullanılabilir olmaları da önemli bir dezavantajdır [5].



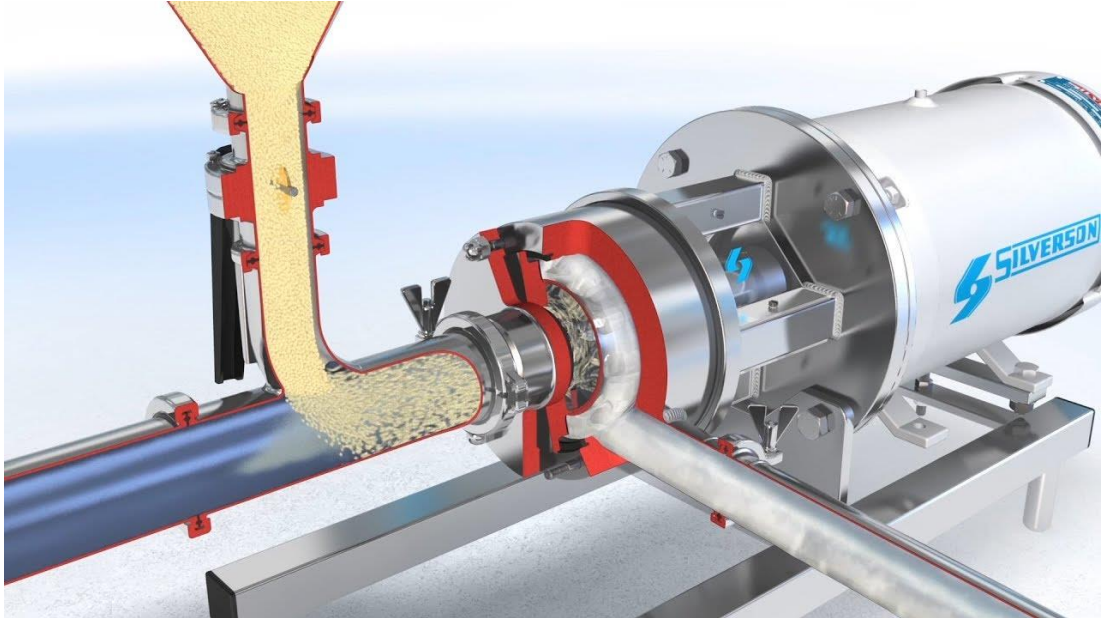
Şekil 1.2. Yüksek basınçlı homojenizatör

Değirmen tipi karıştırıcılar ise Şekil 1.3’de görüldüğü gibi konik bir şekilde konumlandırılmış olan rotor-stator kademelerinin arasından sıvıların geçmesi esnasında damlacıkları parçalaması prensibi ile çalışır. Diğer tasarımlara göre emülsiyon işlemlerinde daha iyi sonuç vermektedir. Kademe sayılarının fazla olması ve akışkanların geçişinin sağlandığı açıklıkların oldukça dar olması sebebiyle sıvıların geçiş süreleri oldukça uzamaktadır. Enerji tüketimi ve ekipman büyüklüğü akış kapasitelerini sınırlamaktadır. Bu durumlar kimi zaman değirmen tipi karıştırıcıların olumsuz yanları olarak değerlendirilmektedirler. Kademe sayılarının çok fazla olması ve açıklıklarının oldukça dar olması nedeniyle sistemde mutlaka ekstra bir pompa gereksinimi duyarlar. Karışım işlemi sonrası temizlenmelerinin zahmetli olması da bir diğer olumsuz yönleridir [5].



Şekil 1.3. Değirmen tipi karıştırıcı ve karıştırıcı başlık tasarımı [6]

Emülsiyon işlemlerinde sıkça kullanılan bir diğer karıştırıcı türü de yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılardır. İki farklı hattan gelen ürünler Şekil 1.4’de görüldüğü gibi rotor-stator başlıkların bulunduğu karışım haznesine girerek burada oluşan yüksek kayma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Homojenizatör ve değirmen tipi karıştırıcılara nazaran ürün yelpazesinin daha geniş olması en önemli avantajlarıdır. Ürüne bağlı olarak tasarımında gerçekleştirilecek olan değişiklikler ile birlikte performansı önemli oranda arttırılabilir.

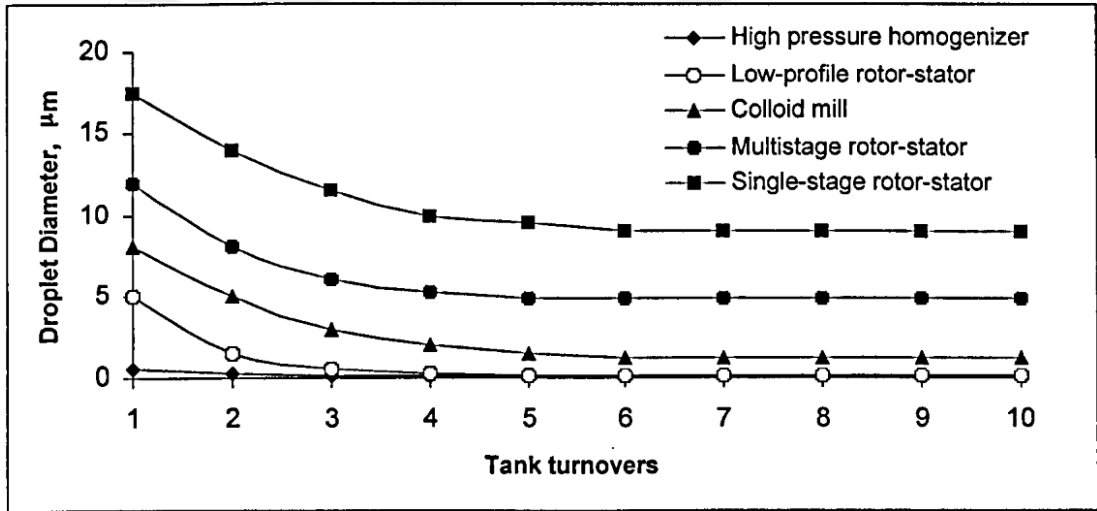


Şekil 1.4. Silverson’a ait yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı [7]

Cohen yapmış olduğu deneysel çalışma sayesinde bu üç karıştırıcının devridaim sayısına bağlı olarak damlacık boyutlarına olan etkisini belirlemiştir. Elde etmiş

olduğu sonuçları Şekil 1.5'te görüldüğü gibi bir grafik olarak sunmaktadır [8]. Bu grafikte belirtilen “Low-Profile Rotor-Stator”, “Single Stage Rotor-Stator” ve “Multi Stage Rotor-Stator” tasarımları birer yüksek kayma gerilmeli karıştırıcı tasarımıdır. Tam olarak kullanmış olduğu yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıların geometrik özelliklerini belirtmemektedir.

Cohen'in elde ettiği sonuçlara göre, homojenizatörler tek geçişli sistemlerde diğer tüm sistemlere göre önemli derecede küçük damlacık boyutu elde etmektedir. Ancak devridaim sayıları arttıkça gerek düşük profilli rotor-stator karıştırıcılar gerekse değirmen tipi karıştırıcılar homojenizatörler kadar iyi sonuçlar vermektedirler. Geometrik özellikleri tam olarak belirtilmemesine rağmen bu çalışma sayesinde yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıların geometrilerinde yapılan değişikliklerin performanslarına olan etkileri de açıkça göz önüne serilebilmektedir.



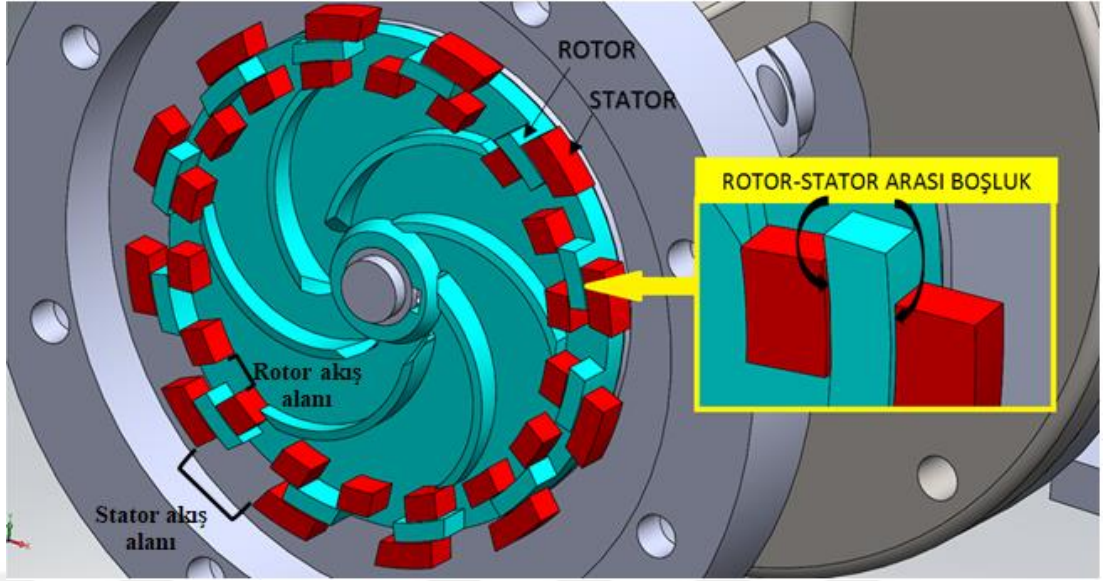
Şekil 1.5. Farklı karıştırıcıların devridaimine bağlı olarak damlacık boyutlarına etkisi [8]

2. YÜKSEK KAYMA GERİLMELİ ROTOR-STATOR KARIŞTIRICILAR

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar isimlerini karıştırıcı başlığı oluşturan rotor ve statorun içersinde bulunan rotorun yüksek hızda dönüş hareketini gerçekleştirmesi ile birlikte ürünler üzerinde yüksek kayma gerilmesi oluşturan başlıklar özel tasarımları ile birlikte özel isimlerde almaktadır.

2.1. Rotor-Stator Başlıklar

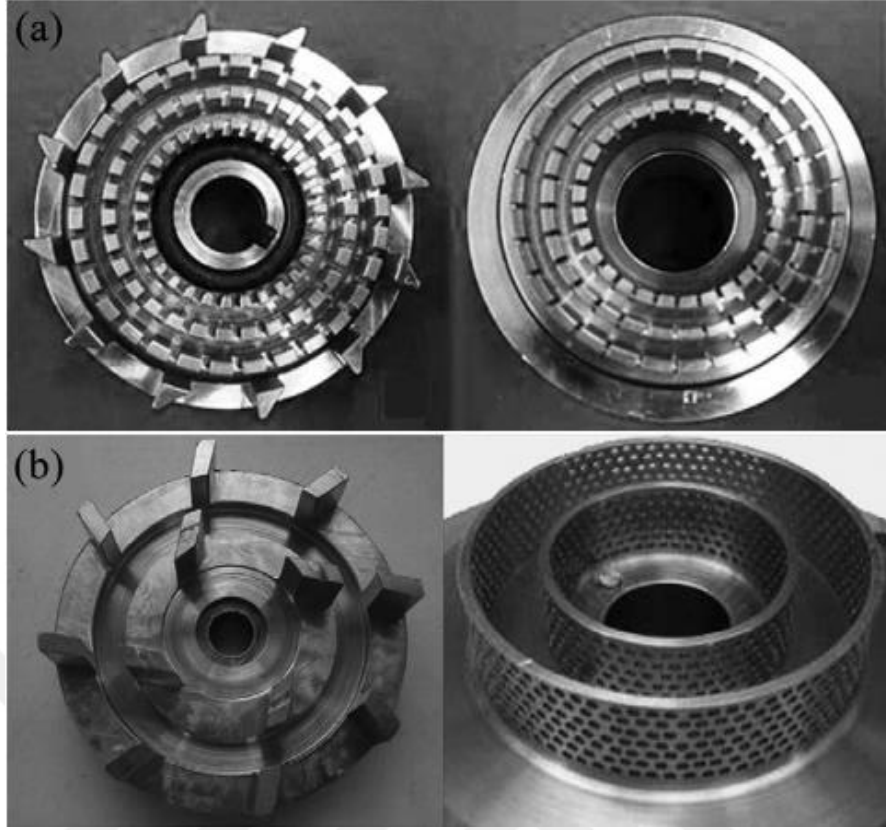
Rotor ve stator başlıklarının rotor geometrisinde, rotor-stator arası boşluk mesafesinde ve stator geometrisinde yapılan değişiklikler ile birlikte özellikleri değişmektedir. Şekil 2.1'de ayrıntılı olarak karıştırıcı başlığı oluşturan bölgeler verilmiştir. Kırmızı ile belirtilmiş olan stator ile turkuaz renkte belirtilmiş olan rotor arasında kalan rotor-stator arası boşluk bölgesinin mesafesi genel bir anlayışla 1mm'den az olarak kullanılmaktadır [5]. Karıştırıcı tasarımında ve karıştırıcı kalitesinde önemli olan bir hususta rotor ile stator arasındaki boşluğun doğru şekilde ayarlanması ve merkezlemenin iyi yapılmış olmasıdır. Rotor-stator karıştırıcılar için rotor ile stator arasındaki mesafenin çok yüksek bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Ancak bazı araştırmacıların yapmış olduğu araştırmalar neticesinde rotor ile statorun arasındaki boşluğun ana kırılma mekanizmasını oluşturmadığı ortaya koyulmuştur. Partiküllerin parçalanması ve boyutlarının küçültülmesi için etkin olan ana mekanizmanın rotor ve stator akış alanlarının geometrik özellikleri olduğu belirlenmiştir [14]. Şekil 2.1'deki karıştırıcı başlık elemanlarının belirtildiği resimde iki rotor dişi arası mesafe rotor akış alanı, iki stator dişi arasındaki mesafe ise stator akış alanı olarak isimlendirilmektedir. Rotor ve stator akış alanları, akışkanın geometriyi terk ettiği alanlardır. Bu alanların geometrik tasarımları karıştırıcı başlığın tercih sebebini oluşturmakta ve ihtiyaca göre alanın genişliği azaltılıp arttırılmaktadır.



Şekil 2.1. Karıştırıcı başlık

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıların temel bölümünü oluşturan rotor-stator başlıklar, genel itibari ile geometrik özellikleri yönünden isimlendirilmektedir. Farklı özelliklere sahip ya da özel isimlendirilmiş türleri olmasına rağmen genel itibari ile Şekil 2.2’de örnekleri verilmiş olan dişli ve delikli olarak ikiye ayrılmaktadır. Dişli rotor-statora ait görsel Şekil 2.2(a)’da sırası ile rotor ve stator olarak verilmiştir. Şekil 2.2(b)’de ise kanatlı rotor ve delikli stator tasarımı verilmiştir. Statorun ismi ile delikli rotor-stator olarak isimlendirilirler.

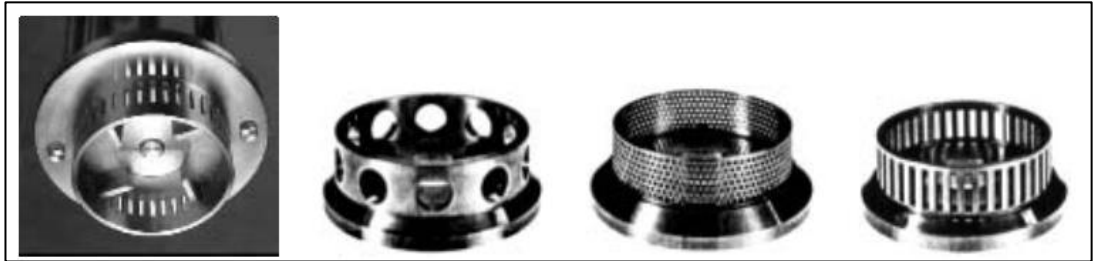
Şekil 2.2’de verilmiş olan gerek dişli gerekse delikli rotor-stator tasarımları çok kademeli olarak belirtilmektedir. Çok kademeli isimlerini rotor ve statorlarının sıra sayısının birden fazla olmasından almaktadırlar. Tek kademeli ve çok kademeli olarak isimlendirilen rotor-statorlarda elde edilmek istenilen partikül boyutlarına göre geometrik tasarımlarında değişiklik gerçekleştirilmektedir. Ayrıca ürünlerin partikül boyutları, sertlik derecesi, elde edilmek istenilen ürün kalitesi ve karışım süresi göz önüne alınarak rotor-statorların kademeleri arttırılabilir. Genellikle dişli rotor-statorlarda kademe sayısı arttıkça dişlerin ve akış alanlarının genişlikleri arttırılırken delikli rotor-statorlarda delik çapları daraltılmaktadır. Dişli rotor-stator tasarımlarında dişlerin ve açıklıkların genişletilmesinin sebebi akış alanlarının aynı hiza da kalmasını sağlamak iken delikli rotor-stator tasarımlarında delik çaplarının küçültülmesinin sebebi damlacık boyutlarının her bir kademede daha küçük açıklıklardan geçmeye zorlanması ile birlikte dağılma oranının arttırılmasıdır.



Şekil 2.2. Sıkça birlikte kullanılan rotor-stator başlıklar [13]

Rotor stator başlıklar akış yönüne olan etkilerine göre de ikiye ayrılmaktadır. Bunlar radyal etkili ve aksenal etkili rotor-stator karıştırıcılardır:

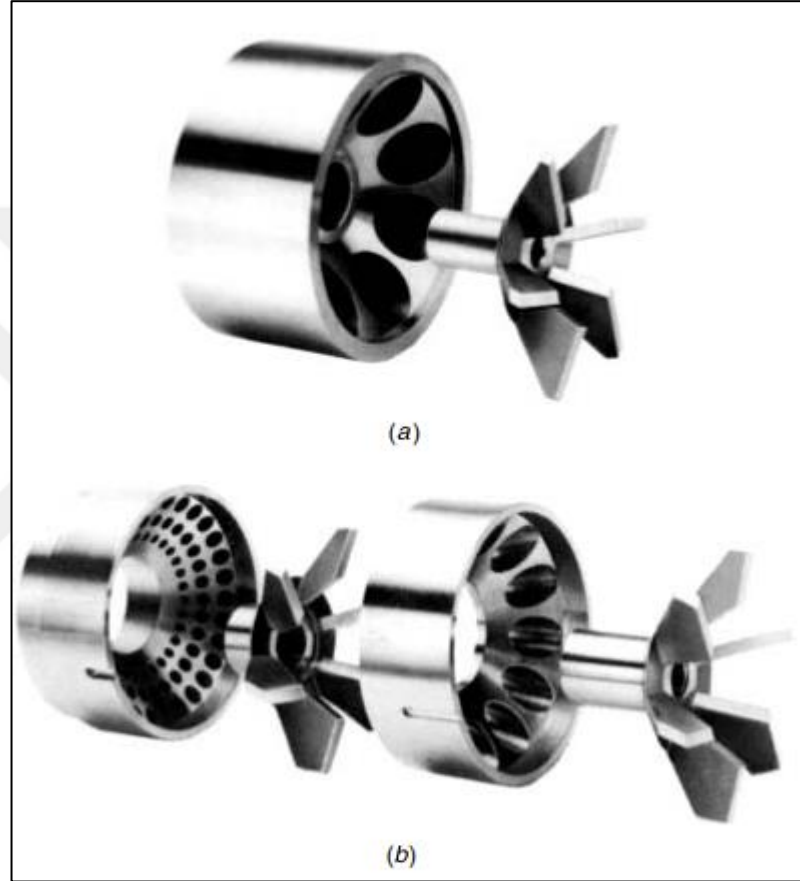
1) En sık kullanılan rotor-stator tasarımı Şekil 2.3'deki stator tasarımlarının içerisine yerleştirilen rotorun radyal bir akış sağladığı tasarımıdır. Rotorun oluşturduğu radyal etki sayesinde rotordan ayrılan akışkan stator akış alanlarından geçerek karışım hacminden ayrılır [1].



Şekil 2.3. Radyal etkili kanat tasarımı sahip rotor-stator karıştırıcı başlıkları [1]

2) Aksenal etkili rotor-stator karıştırıcı tasarımı, rotorun akışkan üzerinde oluşturduğu aksenal etki sayesinde akışkanın rotorun kesici etkisi sonrasında statorda bulunan açıklıkların kayma gerilmesine maruz kalmasına dayalıdır. Şekil 2.4(a)'da

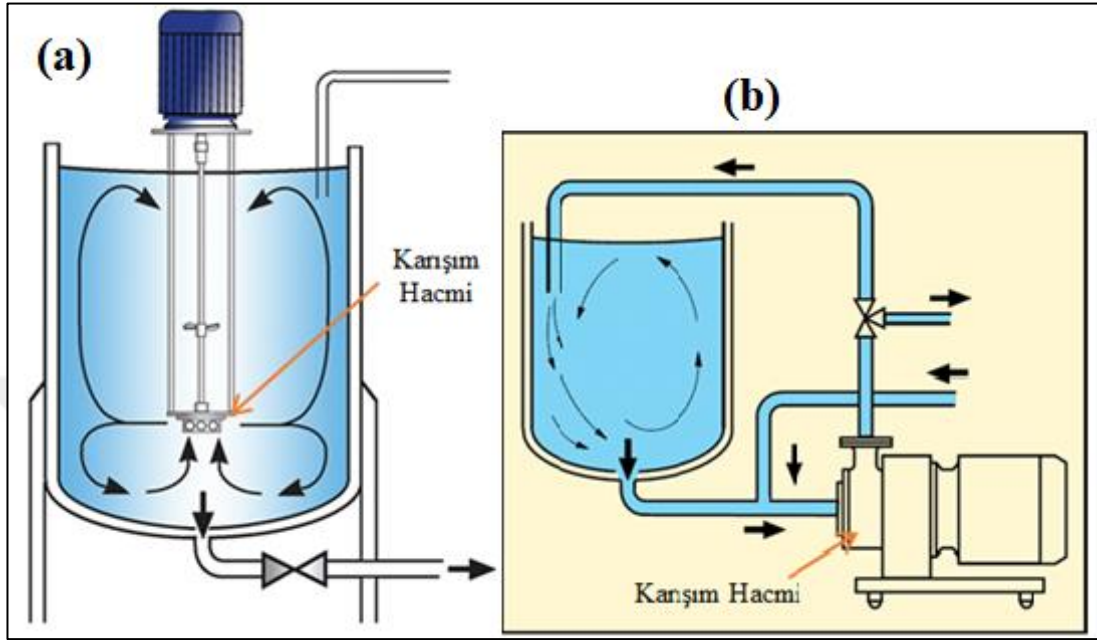
görülebileceği üzere tek kademeli olabileceği gibi Şekil 2.4(b)'deki gibi çift ya da daha fazla kademeden de oluşabilen bu tasarımda, kademelerin her birinde stator açıklıklarının çapı küçültülerek parçalama ve dağıtma etkisi artırılabilir. Bu rotor-stator karıştırıcı tasarımı için belirtilen bir diğer önemli özellik ise, rondela ve burçlar gibi makine elemanları sayesinde rotor-stator açıklık oranının ayarlanabilir olmasıdır [1,15].



Şekil 2.4. Eksenel etkili kanat tasarımına sahip rotor-stator mikser başlıkları [1]

Ticari olarak yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar “Sürekli” ve “Kazan Tipi” olarak isimlendirilirler. Talebe bağlı olarak özel karıştırıcı modelleri üretiliyor olsa da sürekli karıştırıcı ve kazan tipi karıştırıcılar yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıların temelini oluşturmaktadır. Şekil 2.5(a)'da verildiği gibi kazan tipi mikserlerde karıştırıcı başlık tank içine konumlandırılarak istenilen karışım işlemi tank içerisinde gerçekleştirilmektedir. Sürekli tip karıştırıcılarda ise Şekil 2.5(b)'de görüldüğü gibi karışım işlemi bir hat içerisinde bulunan karışım hacmi içerisinde gerçekleştirilir. Rotor ve stator başlığın merkezine konumlandırılan shaft ile motordan gelen dönme

hareketinin rotor aracılığıyla karışım ürününe aktarılması ve artan statik basınçla beraber çıkışa doğru yönlendirilmesi sayesinde sürekli rotor-stator karıştırıcı aynı zamanda pompa görevi görür [9].



Şekil 2.5. a) Kazan tipi ve b) Sürekli karıştırıcıların şematik görünümü [10]

Her iki mikser tasarımının da kendine özgü belli avantajları ve dezavantajları olabilir. Talepler ve ürünlerin özellikleri nedeniyle bu avantaj ve dezavantajları net bir şekilde ayırmak mümkün değildir. Ancak bazı durum ve özellikler ile ilgili genellemeler yapılmaktadır:

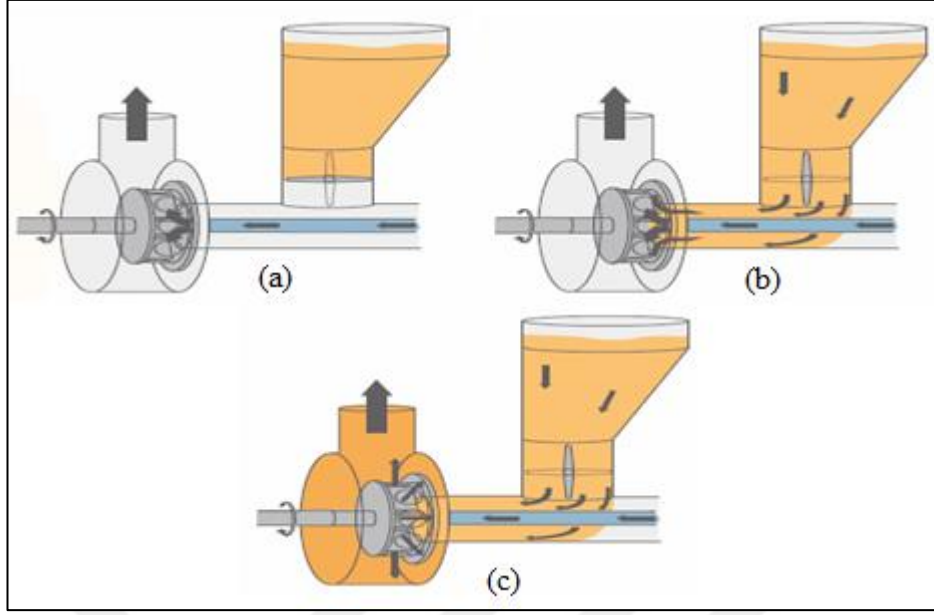
- Kazan tipi karıştırıcı tasarımında, prosesten beklenen özelliklere bağlı olarak kontrol sistemi tasarımı sürekli tip mikserlere göre daha karmaşık bir hal alabilir [2]. Bu durum, sürekli tip karıştırıcı tasarımında karışımın hat içerisindeki sensörler ile kontrol edilebilirliğinin rahat olması ve süreklilik teşkil etmesinden kaynaklanmaktadır. Sürekli tip karıştırıcılar sürekli olarak devam eden karışım proseslerinde kazan tipi mikserlere göre avantajları, kısa işlem süresi ve yüksek verim elde edilebilmesidir [11].
- Sürekli ve kazan tipi karıştırıcılar arasındaki bir diğer fark ise rotor-stator başlıklarından geçen akışkanların hızının bağlı olduğu durumlardır. Sürekli tip karıştırıcılarda stator akış alanlarından geçen akışın hızı karıştırıcı başlıkların oluşturduğu pompa etkisine, varsa pompanın etkisine ve son olarak besleme hattının

tasarımına bağlıdır. Kazan tipi karıştırıcılarda ise sadece rotor-stator başlıkların tasarımına bağlıdır [12].

- Modern büyük ölçekli proseslerde devamlılık önem arz eder. Bu nedenle bu tür proseslerde sürekli tip mikserler tercih edilirken ürün geliştirme ve küçük ölçekli karıştırıcılarda ise genel itibari ile kazan tipi mikserler tercih edilmektedir [12].
- Her ne kadar Newtonien olmayan ortamlarda partiküllerin karışımında kazan tipi mikserlere göre daha az kullanılıyor olsalar da endüstriyel uygulamalar için sürekli tip rotor-stator karıştırıcılar çok önemlidir [1].
- Enerji tüketimi daha az olması nedeniyle statik karıştırıcılar sürekli tip rotor-stator karıştırıcıların yerine tercih edilebilirler. Ancak rotor-stator karıştırıcılar gerek tercih edilen motorlar gerekse rotor-stator tasarımı sayesinde sisteme daha fazla güç girişi sağlarlar. Ayrıca rotor-stator üniteleri, dönme hızı (yani, karıştırmanın itici gücü) ve akış hızlarının (üretkenliği tanımlayan) sabit karıştırma geometrisinden bağımsız olarak değiştirilebilmesinden dolayı daha fazla esnek olma avantajına sahipken statik karıştırıcılarda basınç düşüşü ve debi oranı tamamıyla birbirine bağlıdır [1].

2.2. Sürekli Tip Yüksek Kayma Gerilmeli Rotor-Stator Karıştırıcı

Tezimde incelemeler gerçekleştirecek olduğum sürekli tip yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılarda, Şekil 2.6(a) ve Şekil 2.6(b)'de belirtildiği gibi rotorun stator içerisinde gerçekleştirdiği yüksek hızlı dönme hareketi sayesinde karışım hacminin merkezinde oluşturduğu düşük basınçlı bölgeye hat içerisinde bulunan ürünler dahil olur. Bu işlem yalnızca rotorun-statorun oluşturduğu vakum etkisi ile olabileceği gibi ek bir pompa ile de gerçekleştirilebilir. Rotorun dönüş hareketi ile meydana getirdiği merkezkaç etkisi sayesinde de ürünler öncelikli olarak rotorun serbest akış alanlarından statora hareket etmeye başlar. Ardından rotor ile stator arasında bulunan dar açıklıklardan geçen ürünler son olarak statorunda bulunan serbest akış bölgelerini aşarak Şekil 2.6(c)'deki gibi karışım hacminden çıkış yapar. Bu esnada oluşan kayma gerilmeleri ürünlerin istenilen boyutlara ulaşmasını sağlar.



Şekil 2.6. Sürekli tip rotor-stator karıştırıcının çalışma aşamaları

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılarda karışımın istenilen özelliklere ulaşması için tasarımda dikkat edilmesi gereken hususların bazıları aşağıda belirtildiği gibidir;

- Rotor hızı
- Rotor açıklıkları
- Rotor-stator arasındaki açıklık
- Stator açıklıkları
- Karışım (kontrol) hacmi
- Akış hızı
- Besleme hattı tasarımı

2.3. Literatür Taraması

Yüksek kayma gerilmeli karıştırıcılar ile ilgili yapılmış olan çalışmalarda akış alanları ve karışım kalitesini etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur [16]. Akış alanlarının incelenmesi için nümerik analiz yöntemleri kullanılırken ürünler ile yapılan deneysel çalışmalarda ise elde edilen ürünlerin özellikleri irdelenerek karıştırıcı performansı hakkında yorum yapılmaktadır. Karıştırıcı performanslarının irdelenmesi için deneysel çalışmalarda nadirde olsa kullanılan bir diğer yöntem ise parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazıdır (PIV).

Zhang, Xu ve Li'nin yapmış olduğu çalışmada, yüksek kayma gerilmeli mikserlerin çok yüksek bir kayma gerilmesine ve kütle başına güç girişine (10^7 W/kg'ın üzerinde) ulaşabildiği tespit edilmiştir. Bu sayede emülsiyon ve süspansiyonların oluşturulmasında rahatlıkla kullanılabilir. Laminer ya da türbülanslı akış koşulları altında da kullanılabilirleri belirtilmiştir [1].

Padron, tezinde 3 farklı markaya ait kazan tipi yüksek kayma gerilmeli karıştırıcıları sıvı-sıvı ürünler ile deneysel olarak karşılaştırmıştır. Geometrileri benzer olan karıştırıcı başlıklarında, rotor ile stator arasındaki boşluk alanının türbülans yoğunluğuna çok büyük bir etkisinin olmadığını belirlemiştir. Ayrıca akış profillerindeki farklardan dolayı aksel rotor-stator karıştırıcılarda, boyutlandırma da kullanılan boyutsuz bir sayı olan güç sayısının (Newton sayısı) her zaman radyal karıştırıcılara göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir [17].

Rodgers ve Cooke, rotor uc hızının ve bu sayede oluşan kayma gerilmesinin damlacık boyutlarının küçültülmesinde statorun daha büyük bir etkiye sahip olduğunu, debinin düşük olduğu karışım proseslerinde ise bu durumun ayrı bir önem kazandığını belirtmiştir. Statorun ise tek geçişli (Devir-daim yapmayan) sistemlerde karışım ürünlerinin rotorun oluşturduğu kayma gerilmesine uğramadan geçmesini engellemek adına önem kazandığını belirtmişlerdir [18]. Stator tasarımının stator akış alanından geçen akış oranına etkisi üzerine çalışılması gerektiği Mortensen ve arkadaşları tarafından da vurgulanmıştır [19]. Cooke ve arkadaşları da, delikli stator tasarımına sahip karıştırıcıların kullanıldığı düşük debili proseslerde enerji tüketiminin beklenmedik bir şekilde yükseldiğini belirlemiştir. Beklenmedik bu durumu stator açıklıklarının etrafında gerçekleşen devridaim oranının, debi ile ters orantılı olması ile açıklamışlardır [20].

Utomo yapmış olduğu çalışmada 3 farklı stator tasarımının karıştırıcı performansına olan etkisini kazan tipi karıştırıcılar üzerinde incelemiştir. Bu inceleme sonucunda jet hızlarının ve stator açıklıklarında jet hızlarının arkasında oluşan geri dönüşlerin başlık tasarımlarının üçünde de benzer sonuç verdiğini belirlemiştir [2].

Hall ve arkadaşları; enerji tüketimi ve ürünlerin dağılımına boyutlandırmanın, proses koşullarının, ara yüzey gerilimlerinin ve viskozitenin etkisini incelemişlerdir. Boyutlandırmanın etkisini tespit edebilmek adına laboratuvar boyutundan endüstriyel

boyuta kadar 3 farklı boyutta sürekli tip karıştırıcı kullanılmıştır. Bu karıştırıcıların rotor-stator başlıkları geometrik olarak aynı özellikler sahiptir. 3 boyut içinde partikülleri ayırıştırma mekanizmalarının büyük oranda benzer olduğu tespit edilmiştir. Tek geçişli ve karışım hacmindeki kalma süreleri aynı olan sistemlerde ise karıştırıcının uç kısmındaki çevresel hızın boyutlandırma için en önemli tasarım etkeni olduğu belirlenmiştir [21].

Hall ve arkadaşları yapmış oldukları bir diğer çalışmada emülsiyon oluşumunda yaygın şekilde kullanılan sürekli tip karıştırıcılar, damlacık boyutlarının küçültülmesine olan katkılarını incelemişlerdir. Karışıma dahil edilen damlacık boyutlarının, debinin, su ve silikon yağı arasındaki viskozite oranının damlacık boyutlarındaki değişikliğe çok az bir etkisinin olduğunu, bununla birlikte rotor hızının ve dağılmış faz viskozitesinin damlacık boyutlarının değişiminde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek debi sayesinde sürekli tip mikserlerde enerji verimliliğinin artırılabilceğini de bu çalışmada vurgulamışlardır [22]. Daha sonra Carrillo ve Rodgers, sürekli karıştırıcılarda devridaim sayısı ve debi oranlarının damlacık boyutlarının küçültülmesine etkisini incelerken, Hall ve arkadaşlarının elde ettiği gibi rotor hızının damlacık boyutlarına yüksek oranda etki ettiğini tespit etmiştir [23]. Benzer şekilde farklı bir rotor-stator tasarımı ile deneysel ve nümerik bir çalışma gerçekleştiren Xu ve arkadaşları rotor hızının ve hat içerisindeki akışkan hızının karıştırma verimini arttırdığını belirtmektedir [11].

Özcan Taşkın ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada üç farklı rotor-stator başlık tasarımının topaklaşmanın engellenmesine olan etkisini incelemiştir. Buna göre; rotor-stator tasarımında delik sayısı arttırmak ve delik çaplarını küçültmekle birlikte rotor-stator arasındaki boşluğu daraltmak topaklaşmayı engelleme işlemini oldukça hızlandırmaktadır. Bunlarla beraber, ürünlerin karışım hacminde kalma süresinin uzatılmasının da karışım kalitesini etkilediği belirtilmiştir [24,25].

Padron ve Özcan Taşkın çalışmaları ile birlikte parçalanma kinetiğinde katı partikül yüklemesinin çok büyük bir etkisinin olmadığını belirlemiş, karışım döngüsü arttıkça viskozitenin arttığı ancak topaklaşma oluşumunun yavaşladığı vurgulanmıştır [26].

Korkmaz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada sürekli tip karıştırıcılarda besleme hattı tasarımının önemi vurgulanmıştır. Besleme hattını oluşturan ürün hattı

ve ana hattın dirsek yarıçaplarının artırılması ile birlikte ürünlerin karışım hacmine daha rahat ulaşabileceği ve besleme hattında oluşabilecek topaklaşma ve tıkanma gibi olayların önüne geçilebileceği vurgulanmıştır. Özellikle katı-sıvı karışımlarda önemli problemlere sebep olabilecek bu durum aynı zamanda enerji tüketim oranını arttırmaktadır [27].

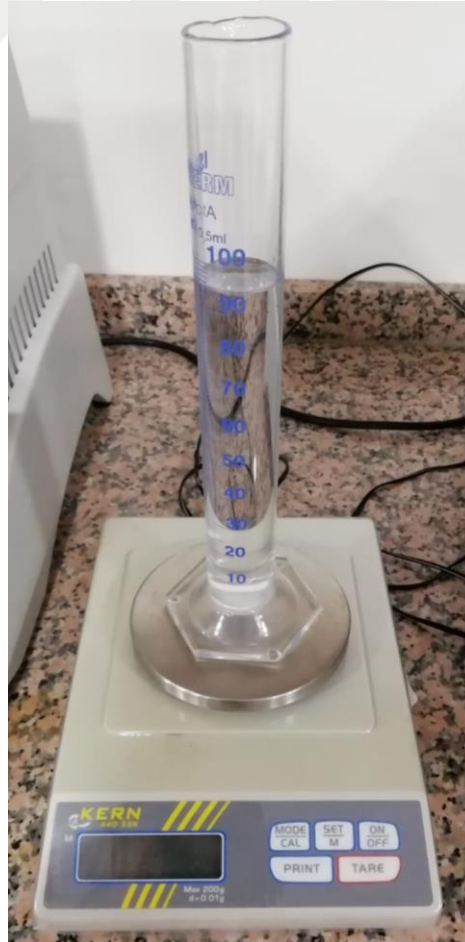


3. ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Yapılan deney işlemleri sonucunda elde edilen ürünlerin değerlendirilmesi ve tasarımların bu sonuçlara göre yorumlanması gerekmektedir. Bunun için öncelikli olarak işletme koşullarının ardından da elde edilen ürünleri özelliklerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu bölümde proseste kullanılan ölçüm yöntemleri verilmiştir.

3.1. Yoğunluk Ölçümü

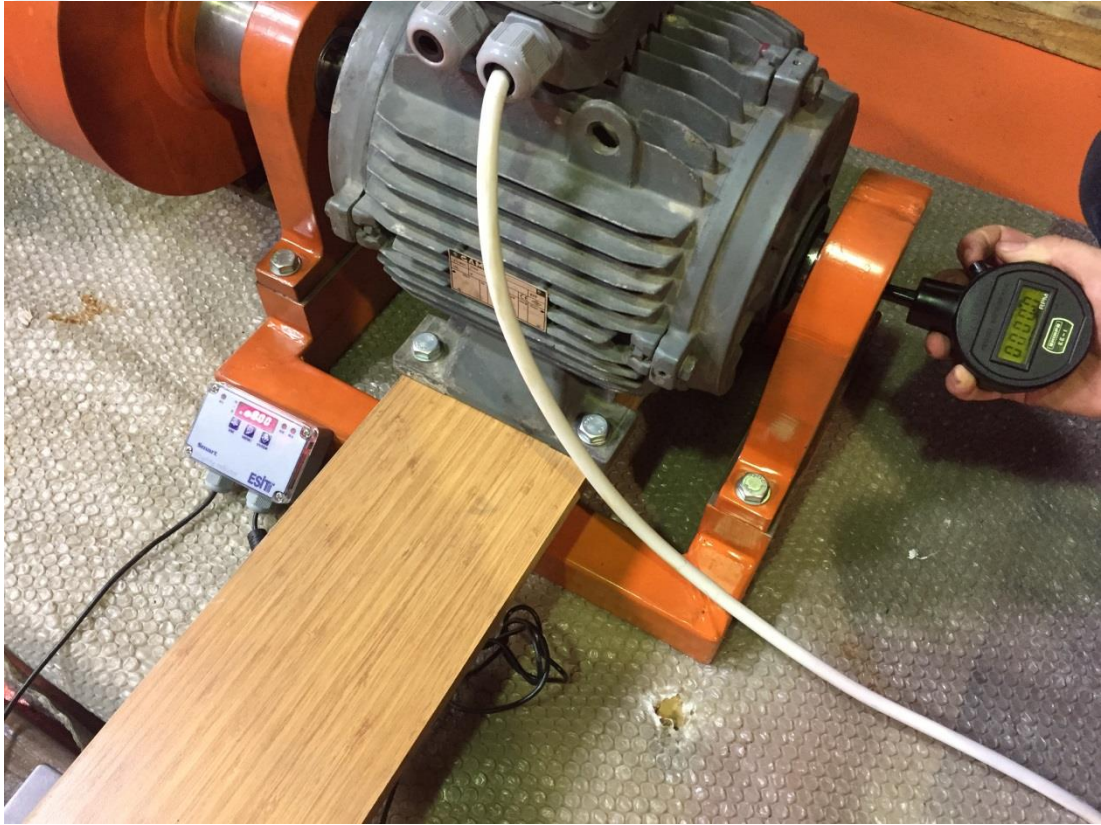
Su ile silikon yağının karışımı ile elde edilen ürünün yoğunluğunu ölçmek için basit bir hesaplama yöntemi uygulanmıştır. Şekil 3.1’de gösterilmiş olan kapasitesi belli olan beherin içerisine konulan ürünün hassas terazi ile ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Yoğunluk ölçümü

3.2. Debi ve Rotor Dönüş Hızının Ölçümü

Rotor hızına bağlı olarak tüm başlık tasarımları için debi miktarlarındaki değişiklikler su ile yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Bu verilerin ölçülmesi için iki adet ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bunlardan ilki motorun bağlı olduğu milde oluşan dönüş hızını ölçmek için kullanılan dijital takometredir. Bu ölçüm elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için önemli bir yer tutar. Literatür Taraması Bölümü'nde belirtildiği gibi karıştırıcı performansını etkileyen en önemli faktör rotor dönüş hızıdır. Üretilmiş olan karıştırıcı başlıkların performansını karşılaştırılabilmek adına rotor dönüş hızlarının eşit değerlerde tutulması gerekmektedir. Bunu kontrol etmek için kullanmış olduğumuz dijital takometre ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Motor milinde takometre ile hız ölçümü

Su ile yapılan deneyler esnasında başlık tasarımlarının performansını değerlendirmek için bir diğer önemli parametre olan debi miktarları da ölçülmüştür. Sistemdeki debi miktarı rotorun dönüş hızına bağlı olarak değişeceği için farklı rotor dönüş hızlarında rotor-stator başlıklarının performansı değerlendirilmiştir. Ölçümlerde Şekil 3.3'de verilmiş olan ultrasonik debimetre kullanılmıştır. Besleme hattı üzerinden ultrasonik

sensörler ile birlikte Endress Hauser marka debimetre cihazı ile debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Probların konumlandırılması ve kullanımı için kullanım kılavuzundan faydalanılmıştır. Boru çapı nedeniyle Şekil 3.3’de görüldüğü gibi aynı yönde ve aynı eksende konumlandırılmış olan problar ana hattın dirsek kısmında mümkün olduğunca uzak tutulmuştur. Problar arasındaki mesafe ise 175mm olarak cihaza ölçüm yapılacak ürünün özellikleri ve boru hattının malzeme özellikleri girildikten sonra cihaz tarafından belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Besleme hattı üzerinden debi ölçümü

3.3. Tork Ölçümü

Tork hesabını gerçekleştirmek için dinamometre sistemine benzer bir sistem kurulmuştur [27]. Kuvvet kolu Şekil 3.4’de görüldüğü gibi şaftta bağlanmak yerine direkt olarak motora bağlanmış ve bu sayede direkt olarak tork ölçümü motordan yapılmıştır. Böylelikle motordan elde ettiğimiz güç miktarı direkt olarak ölçülebilecektir. Motorun dönme hareketini gerçekleştirdiği yönde teğetsel olarak bir kuvvet meydana gelecektir. Bu kuvvet etkisini dengelemek adına moment kolunun ucuna bir tartı konumlandırılmıştır ve bu tartıdan ölçülen değer sayesinde tork hesabı

Zetasizer Partikül Boyut Analizi cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın damlacık boyutu ölçebilmek için emme (refractive index) ve absorbe (absorption index) etme katsayılarının tanımlanması gerekmektedir. Silikon yağının emme katsayısı olarak 1,42, absorbe katsayısı olarak ise 10^{-3} alınmıştır. Suyun emme katsayısı olarak ise 1,333 dikkate alınmıştır [22]. Su içerisinde dağılmış faz olarak bulunan damlacıklar ışığın kırılmasına sebep olacaktır. Bu kırılmalar sonucunda elde edilen desenler ile birlikte damlacıkların boyutları tespit edilir. Şekil 3.6'da kullanılmış olan cihazın görseli paylaşılmıştır.



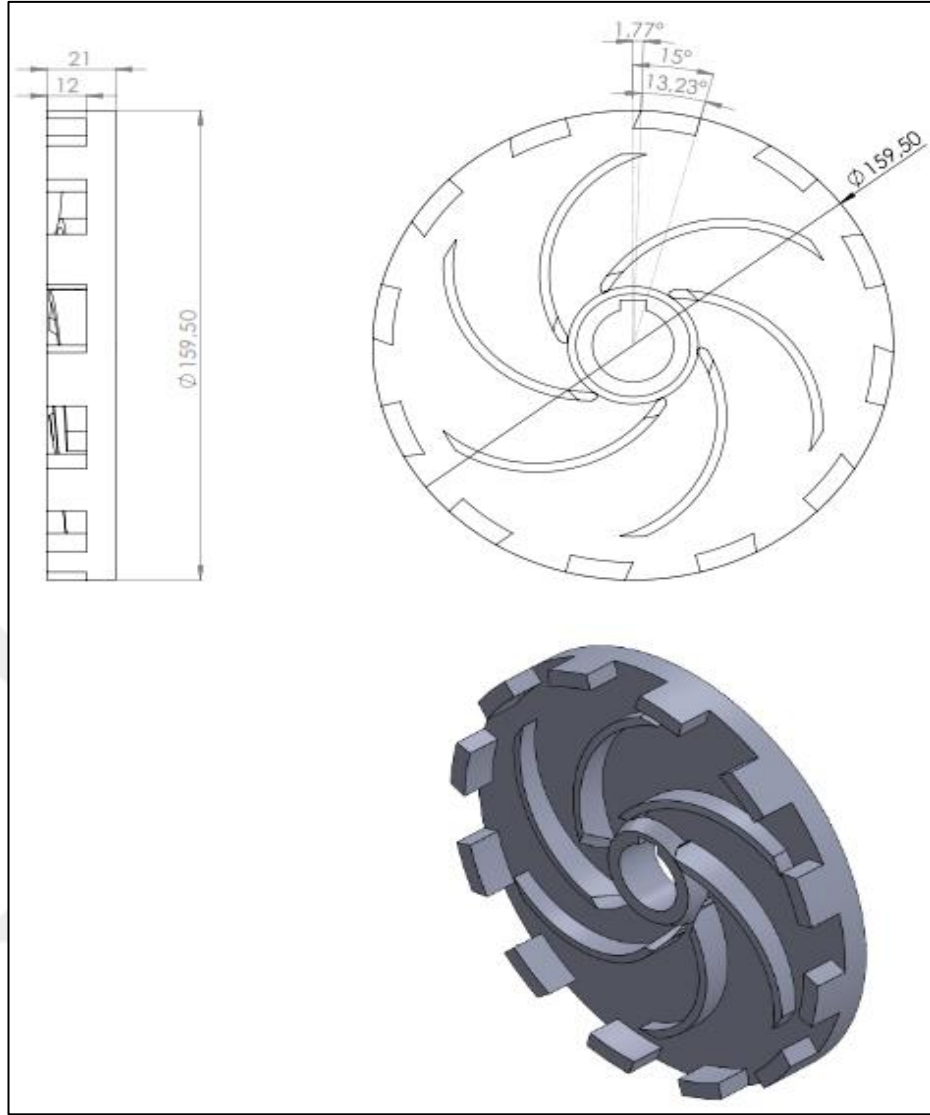
Şekil 3.6. Partikül boyut ölçüm cihazı (Malvern Zetasizer)

4. DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE İMALATI

Yapılan literatür taraması ve yurtdışında üretilen başlık tasarımlarının incelenmesi sonucunda sıvı-sıvı karışımlarda delikli tip stator tasarımları yerine dişli tip stator tasarımlarının daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle karıştırıcı başlık tasarımlarının tek fazlı sıvı-sıvı karışımlar üzerine olan etkisini incelemek adına öncelikli olarak kanatlı dişli rotor ve rotor ile kullanılacak olan tek ve çok kademeli stator tasarımları gerçekleştirilmiştir. Farklı imalat yöntemleri ile bu tasarımlara uygun olarak rotor ve statorların imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde başlık tasarımlarının teknik resimleri, imalat işlemleri ve son olarak nihai ürün halleri paylaşılmıştır.

4.1. Karıştırıcı Başlık Tasarımı ve İmalatı

Deneysel çalışmalar için karışım hacmi içerisine konumlandırılacak olan karıştırıcı başlıklar, piyasada en sık kullanılan birkaç tasarım göz önüne alınarak tercih edilmiştir. Karıştırıcı başlık malzemeleri için; sertlik, boyutsal kararlılık, üstün dayanıklılık ve rahat talaş kaldırma işlemi sebebiyle Delrin (POM) malzeme seçilmiştir. Bu başlıklara ait imalat resimleri ve delrinden üretilmiş ürünlerin görselleri sırası ile gösterilmiştir. Tüm tasarımlarda rotor-stator arasındaki boşluklar 0,5mm olarak ayarlanmıştır. Kanatlı-dişli rotor imalatı; çap:160mm boy:25mm delrin malzemesi alınmıştır. Sonrasında manuel torna tezgahında alın, boy ve delik tornalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Üzerinde bulunan kanat profili ve dişliler için Esprit Cam programında programlanarak 3 eksen CNC dik işlem tezgahında işlenmiştir. Rotor mili ile kamalı bağlantı düşünülmüş olup kama kanalı açılarak imalat işlemi tamamlanmıştır. Şekil 4.1'de kanatlı-dişli rotor tasarımı, Şekil 4.2'de ise üretilmiş halini görseli verilmiştir.

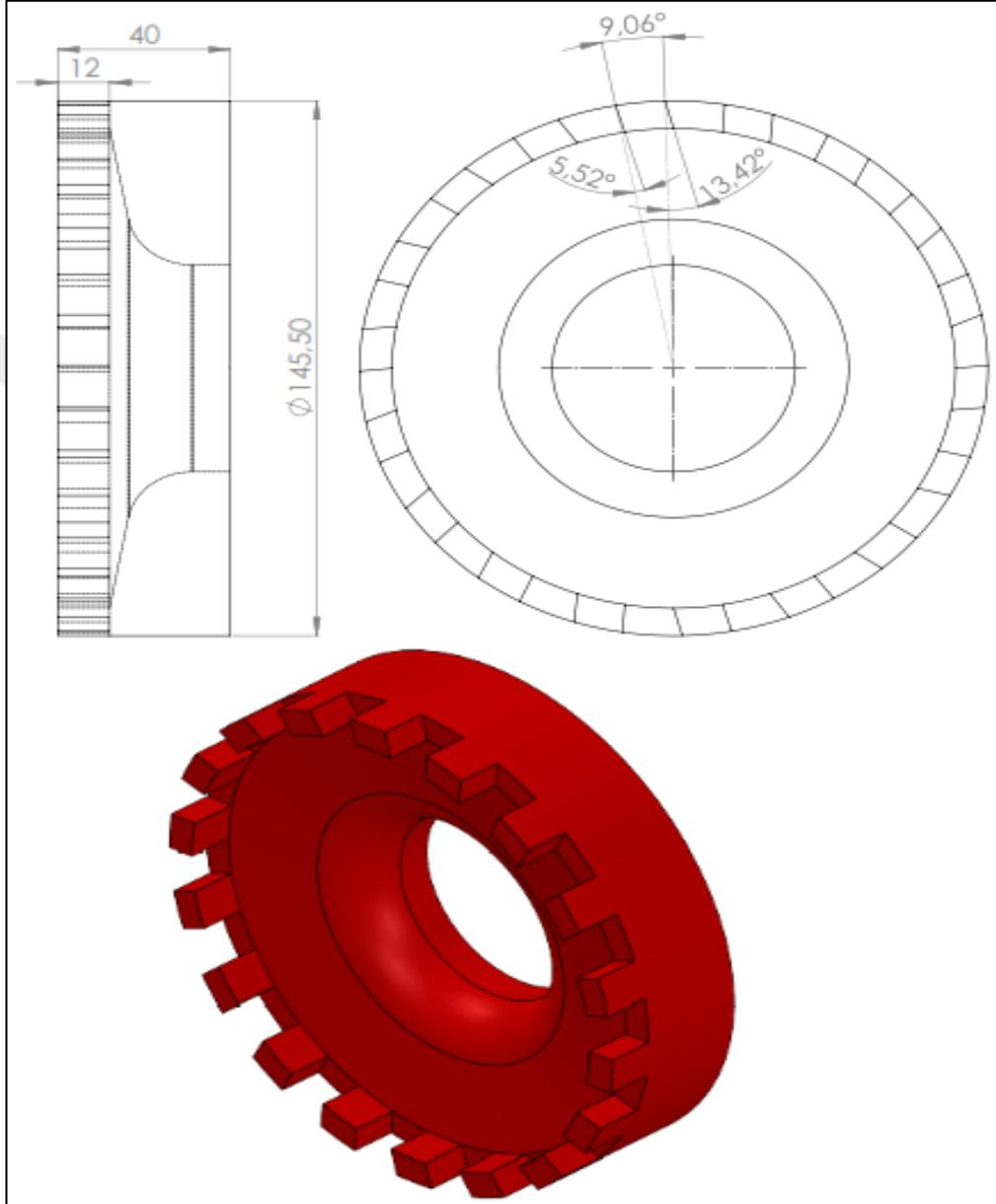


Şekil 4.1. Kanatlı-dişli rotor imalat resmi



Şekil 4.2. Kanatlı-dişli tip rotor

Dişli rotora uyumlu olarak tasarlanmış olan kanatlı dişli statora ait imalat resmi Şekil 4.3'de verilmiştir. Stator dişleri dik olarak tasarlanmıştır. Tek kademeli stator kanatlarına sahip olan bu tasarımda dişler rotorun kanatları ve dişleri arasında 0,5mm boşluklu olarak yerleşecek şekilde tasarlanmıştır.



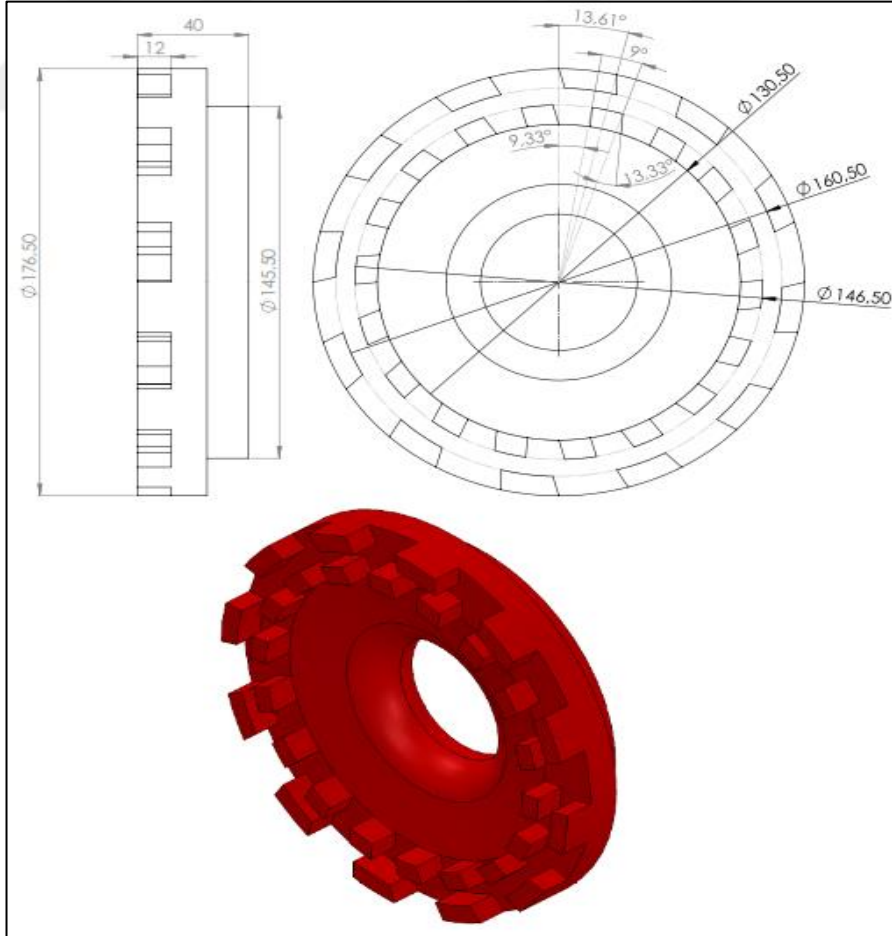
Şekil 4.3. Tek kademeli dişli stator imalat resmi

Dişli stator için ise çap: 150mm boy: 50mm delrin malzeme alınmıştır. Tornalama işlemi CNC tornalama tezgahında gerçekleştirildikten sonra 3 eksen CNC dik işlem tezgahında dişli kısımları açılmıştır. Delrin malzemeden üretilen ürün görseli ise Şekil 4.4'de görünmektedir.



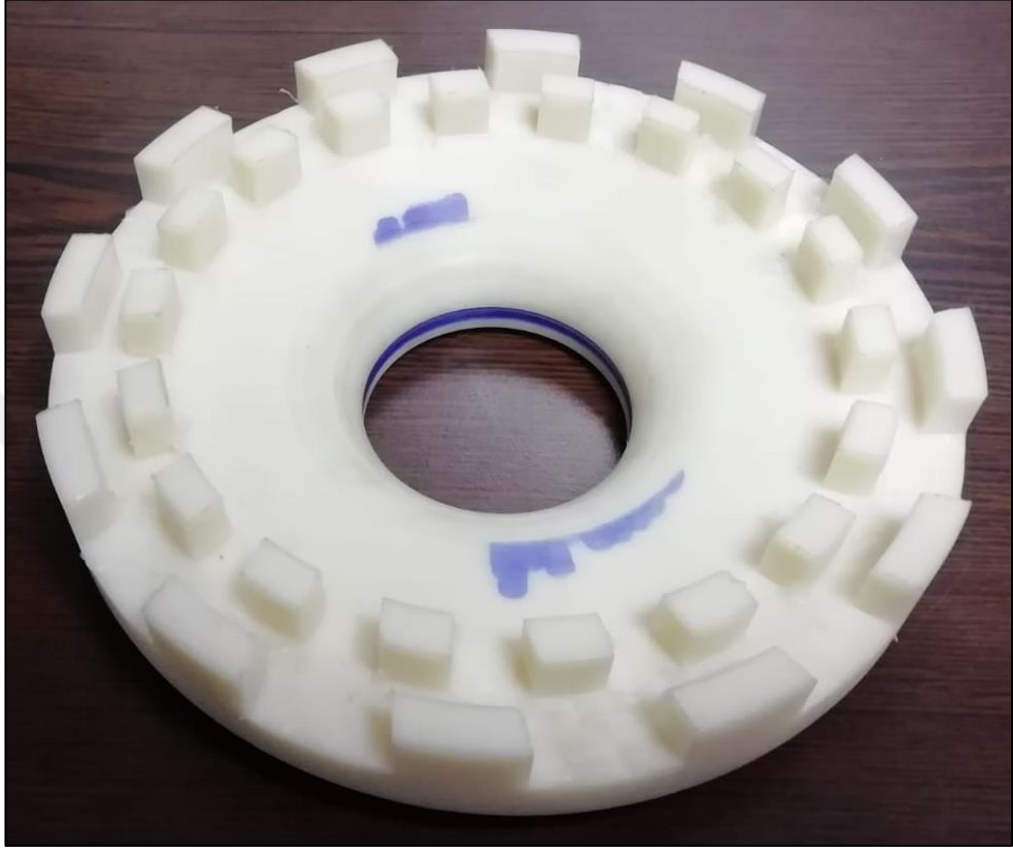
Şekil 4.4. Tek kademeli dişli stator

Farklı rotasyon hızları altında karıştırıcı başlıkların performansını incelemek için tek kademeli statora ek olarak çift kademeli dişli stator tasarımı gerçekleştirilmiştir. Statora ait ayrıntılı ölçülendirme Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Çift kademeli dişli stator imalat resmi

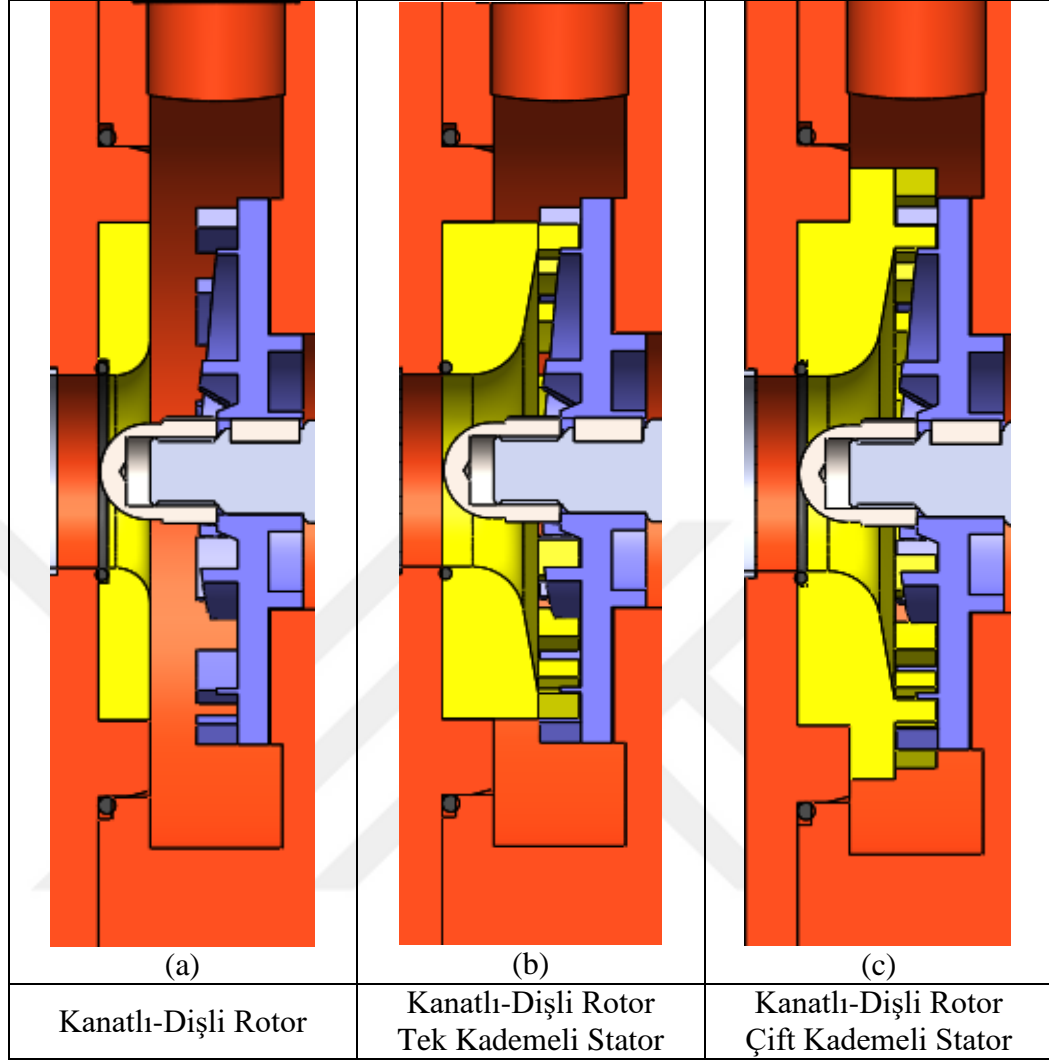
Çift kademeli stator tasarımına bağlı kalınarak delrin malzemeden üretilmiş olan çift kademeli dişli stator tasarımı Şekil 4.6’da verilmektedir. Diş kademelerindeki stator dişlerinin genişliği ve sayısı farklıdır. Bu durum



Şekil 4.6. Çift kademeli dişli stator

Deneylerde kullanılacak olan rotor-stator geometrileri Tablo 4.1’de bir arada verilmiştir. Kanatlı-dişli rotor ilk önce Tablo 4.1(a)’da belirtildiği gibi karşısında herhangi bir stator geometrisi olmadan kullanılmıştır. Yalnızca statoru sabitlemek için açılmış olan vida boşluklarından gerçekleştirilecek sızıntıyı engellemek amacıyla bir adet kapak takılmıştır. Ardından tek kademeli stator Tablo 4.1(b)’deki gibi eklenmektedir. Stator dişleri hem rotorun kanadı ile hem de rotorun dişleri arasında 0,5mm kesme boşluğu oluşturacak şekilde konumlandırılmıştır. Son olarak çift kademeli stator geometrisi Tablo 4.1(c)’de belirtildiği gibi kullanılmaktadır. Tek kademeli stator geometrisinde olduğu gibi dişlerin gerek birinci kademesinde gerekse ikinci kademesinde rotor kanat ve dişleri ile 0,5 mm’lik kesme boşluğu bırakılmıştır.

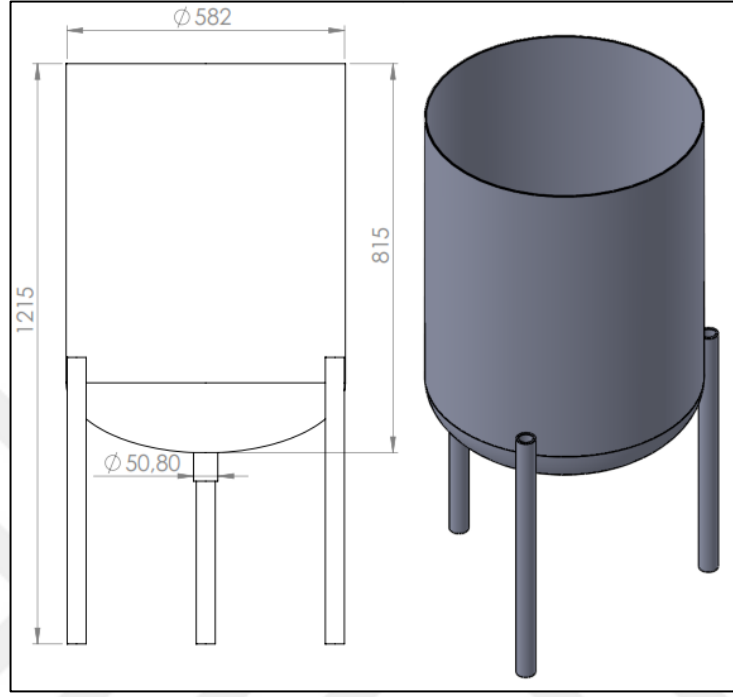
Tablo 4.1. Rotor-stator başlık geometrileri



4.2. Karışım Depolama Tankının Tasarımı ve İmalatı

Sürekli tip karıştırıcılarda ana tank gövdesi devirdaimli prosesler için ürünlerin tekrar karışma dahil edilmesini ve işlem sonunda ürünlerin depolanmasını sağlar. Tek geçişli sistemlerde ise yalnızca ana karışım malzemesinin yüklendiği kısım olarak görev alır. Dikkat edilmesi gereken husus, tankın içerisine konulan malzemelerin besleme hattına rahatlıkla akabilmesi ve hiçbir ürünün tank içerisinde kalmayarak karışma dahil edilebilmesidir. Bunun için Şekil 4.7’de görüldüğü gibi tankın alt kısmı dairesel konik bir şekilde tasarlanarak besleme hattı çıkışı 50,8mm olarak verilmiştir. Tankın imalatı için 1,5mm et kalınlığına sahip 304L kalite paslanmaz çelik levhadan CNC lazer kesim makinesi ile silindir ve dairesel konik kısımların açınımları kestirilmiştir. Sonrasında silindir bükme makinesinde hem silindir kısmı hem de dairesel konik kısmı bükülerek oluşturulmuştur. Tank ayakları için 30mm

apında 304L kalite paslanmaz elik malzeme ayarlanmıştır. Son olarak TIG kaynak yöntemi ile sızdırmaz olarak birleştirilmiştir. Şekil 4.8'de ise imalatı gerçekleştirilmiştir tank görseli mevcuttur.



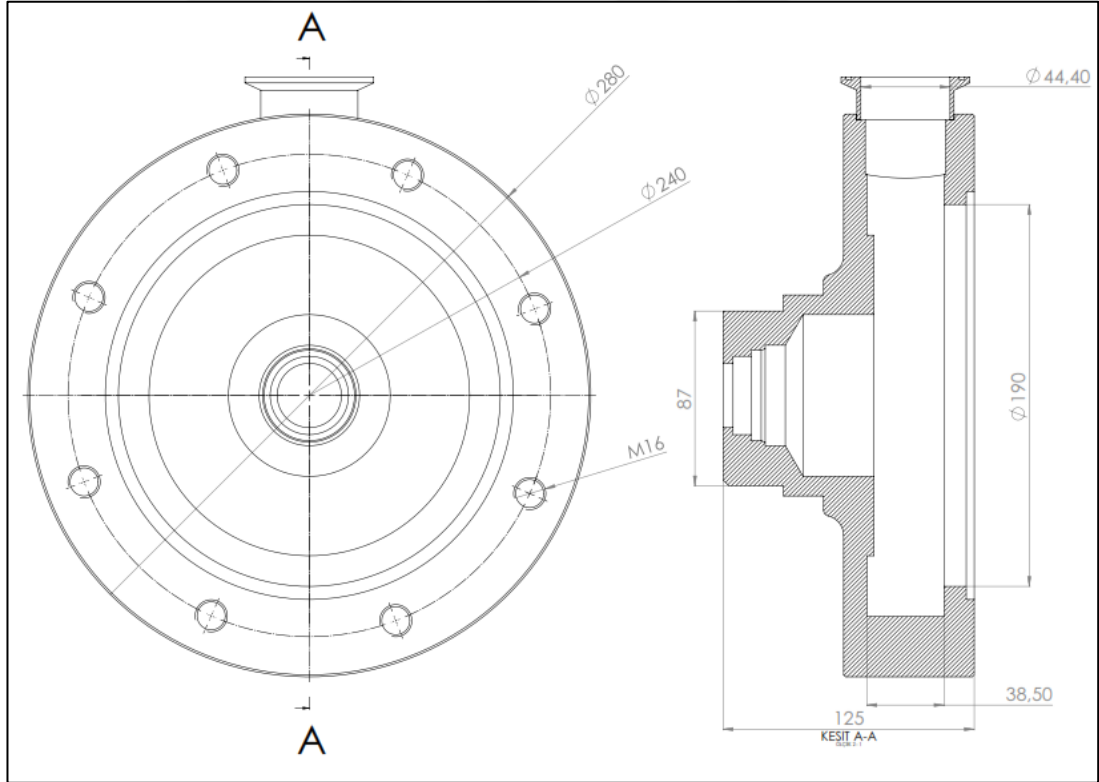
Şekil 4.7. Karışım depolama tankı imalat resmi



Şekil 4.8. Karışım depolama tankı

4.3. Karışım Hacmi Tasarımı ve İmalatı

Tüm mikser proseslerinde karışım hacmi tasarımı çok önemli bir etkindir. Yapılacak olan dizayn karışımı doğrudan etkilemektedir. Ayrıca yüksek basınç oluşumunun gerçekleşmesi beklenecek olan bu bölgede sızdırmazlık şartlarını sağlamak, ölü bölge oranını en aza indirmek tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli konulardır. Sistemimiz için tasarımı yapılan karışım hacmi teknik resmi ektedir. Kontrol hacmi imalatında; 280mm çapında 140mm boyunda imalat çeliği malzemeden universal torna tezgahında talaşlı şekil verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında bağlantı delikleri freze tezgahında delinerek dış açılması için klavuz makinesi kullanılmıştır. Sistem borulama hattı ile bağlantı sağlanabilmesi için hızlı bağlantı kelepçeleri kaynatılmıştır. Temizlik işlemi yapıldıktan sonra sistemde montajlanarak kullanılmıştır. Tasarımın ayrıntılı ölçülendirilmesi ile birlikteki imalat resmi Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Karışım hacmi imalat resmi

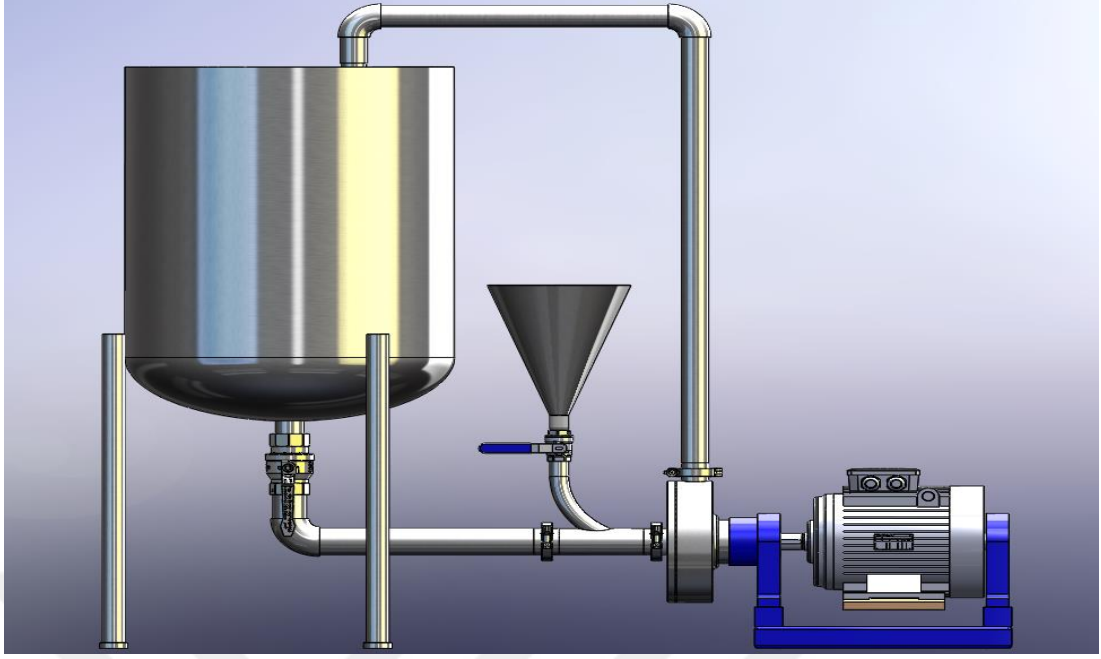
Şekil 4.9'daki imalat resmine bağlı kalınarak üretilmiş olan karışım hacminin görüntüsü Şekil 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.10. Karışım hacmi

4.4. Deney Düzenegi

Yapılan literatür taraması ve gerek görülen değişkenler göz önüne alındığında gerçekleştirilmiş olduğumuz test düzenegine ait kavramsal tasarım Şekil 4.11’de verilmiştir. Daha önce tasarımlarından ve imalatlarında bahsetmiş olduğumuz karıştırıcı elemanları ile bağlantı elemanları ile bir araya getirilmiştir. Sonuç olarak Şekil 4.12’de verilmiş olan yüksek kayma gerilmeli rotor stator karıştırıcı imal edilmiştir.



Şekil 4.11. Deney düzeneği tasarımı



Şekil 4.12. Deney düzeneği ve başlık tasarımları

4.5. Deneyde Kullanılacak Ürünler ve Özellikleri

Test işlemlerinde silikon yağı ile su kullanılmıştır;

1) Su, en bilindik newtoniyel özellik gösteren akışkanlardan biridir. Suyun oda sıcaklığındaki yoğunluğu yaklaşık olarak 1000 kg/m^3 'dür. Dinamik viskozite değeri ise 1 (mPa.s) olarak belirlenmiştir.

2) Silikon Yağları, açık bir şekilde özelliklerini belli eden Newtoniyel bir akışkandır. Silikon yağlarının viskozite değerleri sıcaklıkla ve karışım oranına bağlı olarak $9,4$ ile 969 (mPa.s) aralığında değişiklik göstermektedir [20,28]. Genel olarak sıvı-sıvı dispersiyon karışımları üzerine yapılan çalışmalarda sıvı fazda kullanılırlar. Deneylede kullanılacak olan silikon yağlarının, saf bir partiden geldiğinden emin olunmalıdır. Talep edilen viskozite değerine ulaşmak için farklı viskozite değerindeki ürünlerin karıştırıldığı numuneler mevcuttur. Bu da ürün içinde farklı damlacık boyutlarına sahip ürünlerin olmasına sebep olmaktadır. Bertarafı kolay olan bu ürünün çevresel açıdan risk oranı çok düşüktür. Alevlenebilirlik derecesi 120°C 'dir. Ayrıca özel bir havalandırma ihtiyacı duymaz [29].

Yapacak olduğumuz deneysel çalışmalarda en yaygın kullanıma sahip olan “polydimethyl siloxane” kimyasal yapısına sahip olan silikon yağı kullanılmıştır. Bu silikon yağı türüne ait bazı özellikler aşağıdaki Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Farklı özelliklerdeki silikon yağları [30]

Klinik adı	Ağırlığı (Özgül Ağırlık) [gr/ml]	Kimyasal Yapısı	Kullanımı	Viskozitesi [cSt]
Silikon yağı	Sudan hafif (0,971- 0,975)	Polydimethylsiloxane	En yaygın	1000 1300 2000 3000 5000 5700 12500 30000
Florosilikon yağı	Sudan ağır (1,28-1,30)	Polytrifluoropropylmethylesiloxane	İkinci en sık kullanılan	1000 1360 5000 5900 10000
Yüksek teknoloji motor yağı	Sudan ağır (1,11)	Polyphenylmethysiloxane	En az kullanılan	
Ağır silikon yağı	Sudan ağır (1,06)	Perflourohexyloctane ve 5000cSt Dimetilsiloksan karışımı	Az kullanılan	3300 1387

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sıvı-sıvı karışımların gerçekleştirilmesi için üretilmiş olan deney düzeneği üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle başlık tasarımlarının debi miktarına ve tork oluşumuna olan etkisi ardından da bu başlıkların su ve silikon yağı karışımında dağılmış fazın partikül boyutlarını küçültmeye olan etkisi incelenmiştir. Özellikle sistemde ekstra bir pompa kullanılmadığı için debi miktarı rotora bağlı olarak belirlenmektedir. Bu sayede farklı başlık tasarımlarının debi miktarına etkisi incelenecektir.

5.1. Başlık Tasarımlarına Göre Tork ve Debi Oluşumunun Değerlendirilmesi

Suyun tek başına kullanıldığı deney işlemi ile birlikte farklı rotor hızlarında farklı başlık geometrilerinin debi miktarlarına olan etkisi ultrasonik debimetre ile ölçülmüştür. Bununla birlikte belirlenmiş olan rotor hızlarında tork ölçümü gerçekleştirilmiş ve kullanılan enerji miktarları hesaplanmıştır.

Su ile yapılan deneylerde rotorun ulaştığı hız kontrolü takometre ile gerçekleştirilmiş ve her bir rotor-stator tasarımı için eşit açılarda debi-tork değerleri kaydedilmiştir. Debimetre ve tork ölçüm sisteminden her bir hız için ölçülen değerler Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Ölçülen debi ve kütle değerleri

Devir (d/dk)	Kanatlı Dişli Rotor (KD)		Dişli Kanatlı Rotor-Tek Kademeli Dişli Stator (KDT)		Dişli Kanatlı Rotor-Çift Kademeli Dişli Stator (KDC)	
	Kütle (kg)	Debi (l/s)	Kütle (kg)	Debi (l/s)	Kütle (kg)	Debi (l/s)
750	0,183	1,35	0,194	0,94	0,194	0,5
1000	0,300	2,2	0,335	1,65	0,335	1,12
1500	0,600	3,2	0,724	2,88	0,759	2,06
2000	1,041	4,2	1,2	3,84	1,23	3,08
2500	1,536	5,4	1,89	5,16	3,18	4,29

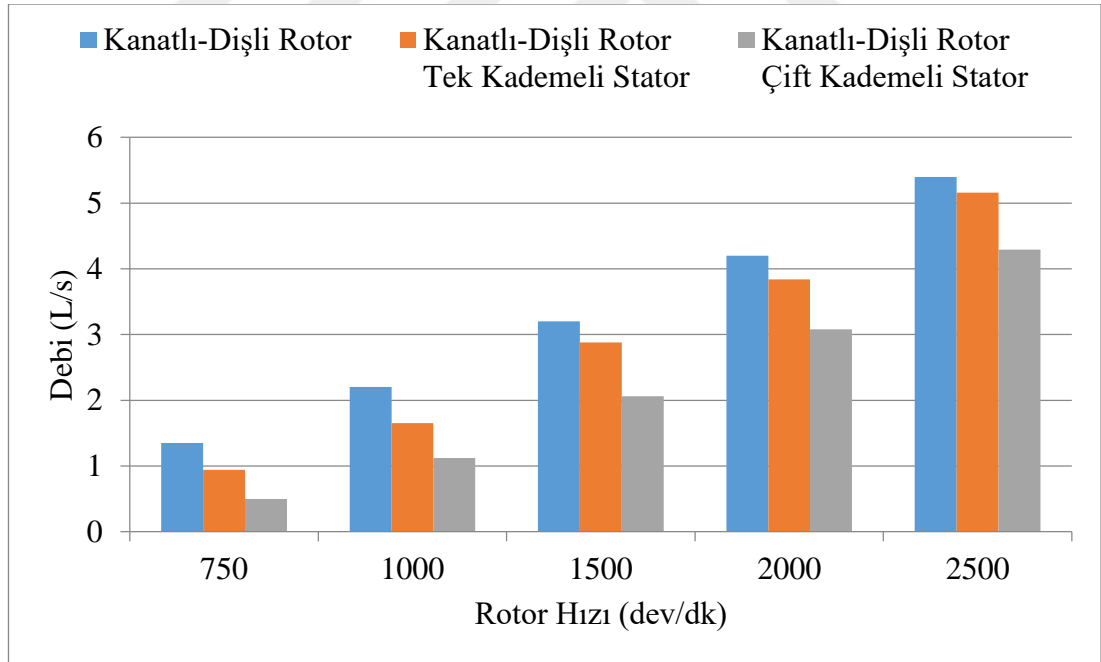
Elde edilen kütle değerleri ile birlikte motor tarafından uygulanan güç miktarı hesaplanmıştır. Hassas terazi sayesinde belirlenen kuvvet miktarı (F) ile dönme ekseninin merkezine olan mesafenin Denklem (5.1)'de olduğu gibi kullanılması ile tork miktarları (T) hesaplanmıştır;

$$\vec{T}=\vec{L}\times\vec{F} \quad (5.1)$$

Belirlenen tork değerlerinin uygulandığı ve yine belirlenmiş olan açısal hızlar ile dönmekte olan bir rotor tarafından uygulanan güç miktarı Denklem (5.2) ile birlikte hesaplanmaktadır;

$$P=2\pi TN \quad (5.2)$$

Tablo 5.1'deki veriler ışığında yukarıda verilmiş olan formüller kullanılarak konunun daha rahat irdelenebilmesi adına farklı rotor hızlarında başlık tasarımına göre debi miktarlarındaki değişimi gösteren grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.

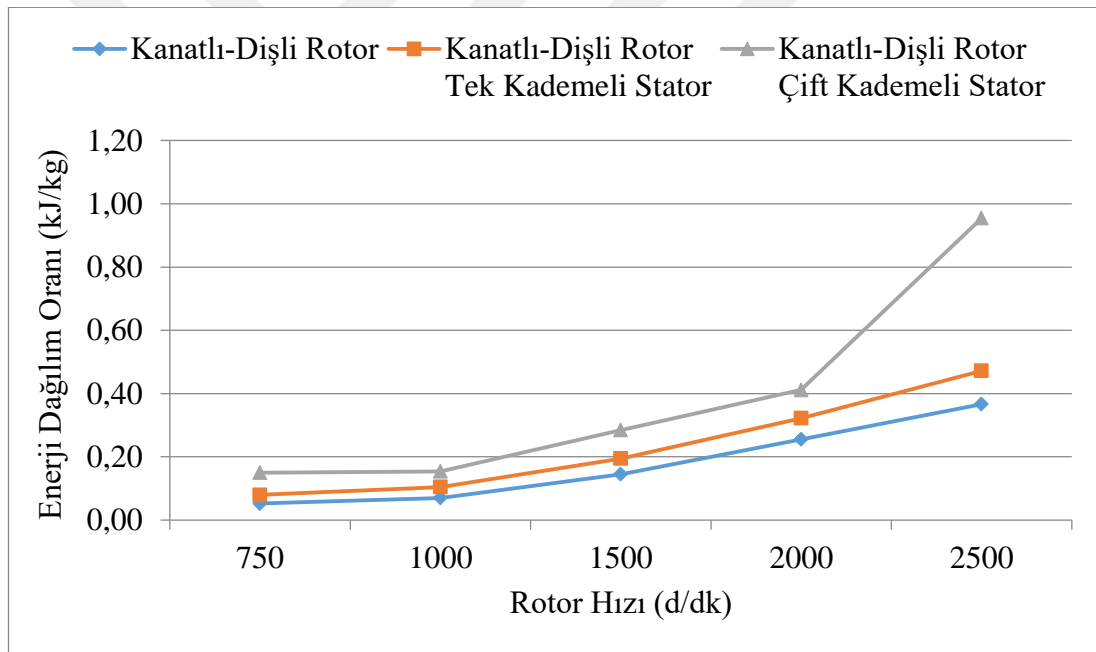


Şekil 5.1. Farklı rotor hızlarında başlık tasarımına göre debi miktarlarının değişimi

Şekil 5.1'de verilen grafikte hemen hemen tüm rotor hızlarında başlık geometrileri arasındaki fark oran sabittir. 750d/dk'dan itibaren en yüksek debi miktarına sahip olan başlık tasarımı rotorun statorsuz şekilde tek başına kullanıldığı geometridir.

Ayrıca stator kademesinin artması ile debi miktarı tüm rotor hızları içinde düşmektedir.

Şekil 5.2’de başlık tasarımlarının farklı rotor hızlarında meydana getirdiği kütle başına enerji dağılım oranları verilmiştir. Enerji dağılım oranı açıkça çift kademeli statorlu geometride diğer geometrilere nazaran daha fazladır. Bu durum parçalama kinetiğinin çift kademeli stator geometrisinde daha başarılı bir sonuç vereceğinin kanıtıdır. 2000d/dk’ya kadar benzer oranla artan enerji dağılım oranlarında çift kademeli stator için 2500d/dk’da ani bir artış tespit edilmiştir. Böyle bir sonuç çıkmasında kısmen de olsa deney prosesindeki bir hata sebep olmuş olabilir. Ancak 2000d/dk’ya kadar olan sonuçlar çift kademeli statorun enerji dağılım oranına olan etkisini açıkça göstermektedir.



Şekil 5.2. Rotor hızına bağlı olarak farklı başlık tasarımlarındaki enerji dağılım oranları

Özcan Taşkın ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada dişli rotor-stator tasarımlarında ürünlerin karışım hacmi içerisinde kalma sürelerinin delikli rotor-stator tasarımlarına göre daha uzun olduğunu ve bu nedenle sıvı-sıvı karışımlarda daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir [25]. Elde edilen debi oranları da aynı rotor hızlarında çift kademeli stator tasarımının debi miktarının diğer tasarımlara nazaran daha düşük olması ve statorlardaki kademe sayısının artması ile birlikte kalma süresinin arttığını göstermektedir. Bu duruma göre çift kademeli statorların yüksek

rotor hızlarında daha iyi sonuç vermesi beklenmektedir. Ayrıca motorun üretmiş olduğu güç miktarı en fazla olan karıştırıcı başlık tasarımının çift kademeli stator olması damlacıkların suyun içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlayacağını göstermektedir.

Debi oranının artan rotor hızı ile birlikte tüm başlık tasarımları içinde artıyor olması rotorun gerek görülen pompa görevini sağlıklı bir şekilde yerine getirdiğini göstermektedir.

5.2. Damlacık Boyutlarının Değerlendirilmesi

Silikon yağının suyun içerisinde ağırlıkça %1 oranında eklendiği deneylerde rotor hızı olarak 2500d/dk kullanılmıştır. 2500d/dk rotor hızı ile her bir karıştırıcı geometrisinin debi miktarına olan etkisi Şekil 5.1’de verilmiştir. Ayrıca karıştırıcı başlıkların geometrilerinin enerji dağılımına olan etkisi de Şekil 5.2’deki grafikte belirtilmiştir. Tüm başlıklar için karışım süresi 3dk olarak belirlenmiştir. Buna istinaden her bir başlık tasarımı için 2500d/dk’da 3dk’lık süre sonucunda kullanılan enerji miktarı (E) Denklem (5.3) ile hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 5.2’de verilmiştir;

$$E=P/t \quad (5.3)$$

Tablo 5.2. 2500d/dk’da başlık tasarımlarının kullandıkları enerji

Enerji Kullanımı (J)		
KD	KDT	KDÇ
355.035	436.860	735.034

Enerji kullanımı yönünden çift kademeli statora sahip olan başlığın diğer başlıklara göre çok daha yüksek bir değere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bunun temel sebebi çift kademeli statorun sisteme parçalama kinetiği için aktarmış olduğu enerjinin Şekil 5.2’de görüldüğü gibi diğer karıştırıcıların yaklaşık olarak 2 katı daha fazla olmasıdır.

3 başlık tasarımı ile elde edilmiş olan ürünlerin damlacık boyutları Zetasizer partikül boyut ölçüm cihazı ile birlikte hesaplanmıştır. Sürekli faz içerisindeki dağılmış faz

damlacıklarının boyutu oluşan emülsiyon reolojisi için önemli bir parametredir [31]. Elde edilen veriler Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. Damlacık boyutları

Damlacık Boyutu (μm)		
Kanatlı Dişli Rotor (D)	Kanatlı Dişli Rotor- Tek Kademeli Dişli Stator (KDT)	Kanatlı Dişli Rotor- Çift Kademeli Dişli Stator (KDÇ)
3,417	2,757	1,618

Elde edilen sonuçlara bakıldığında rahatlıkla çift kademeli statorun eşit süreler baz alındığında partikül boyutunu indirgemedi en başarılı tasarım olduğu görülmektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar tüketilen enerji oranları ile de paralellik göstermektedir. Bu durum tüketilen enerjinin partikül parçalanması hakkında önemli bir bilgi verdiğini göstermektedir. Tek kademeli statorlarda damlacık boyutlarının çift kademeli dişli statorlarda gerçekleştiği kadar küçültülememesinin bir diğer sebebi olarak karıştırıcı hacmine gelen dağılmış faz damlacıklarının karıştırıcı başlıkların parçalama etkisine yeterince girmeden karışım hacmini terk etmesi olarak Thapar tarafından belirtilmiştir [5].

Partikül boyutlarının dişlerdeki kademenin artması ile birlikte yaklaşık olarak $1\mu\text{m}$ küçüldüğü tespit edilmiştir. Bu durum aynı zamanda enerji dağılımının dişli rotor-stator tasarımlarında homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Bu sebeple kademe sayısının artmasına paralel olarak partikül boyutları eşit miktarda küçülmektedir. Çift kademeli statorların partikül boyutlarındaki başarısını karışım hacminde ürünlerin kalma süresi ile de açıklamak mümkündür. Özellikle delikli rotor-stator tasarımlarına nazaran dişli rotor-stator tasarımlarında kalma süresi daha uzundur. Ayrıca delikli rotor-stator karıştırıcılarda parçalama işlemi daha çok rotor-stator arasındaki bölgede gerçekleşirken dişli rotor-stator tasarımlarında homojen bir şekilde tüm aşamalarda parçalanma gerçekleşmektedir. Bu nedenle stator kademesinin artırılması ile birlikte parçalama işleminin gerçekleştiği yüzey alanı geniş tutulmuş olacaktır. Özellikle yüksek devirli karışım proseslerinde ürünlerin parçalanma kinetiğinin etkisi altına girmeden karışım hacminden ayrılma olasılığını azaltmak adına stator kademesini arttırmak olumlu bir etki oluşturmuştur. Bu durum karışım hacmi içerisindeki etkin olmayan alanı da daraltacaktır.

Tek fazlı ürünler için karıştırıcı tasarımı ve imalatı çok fazla parametreye bağılı olan karmaşık bir işlemdir. Öncelikli olarak işletme koşullarının belirlenmesi ve buna bağılı olarak geometrinin belirlenmesi elzemdir. Örneğin süre kısıtlamasının olmadığı ancak anlık enerji tüketiminin minimize edilmesinin istendiğı işlemlerde tek kademeli stator tercih edilebilir. Bunun literatürün ve elde etmiş olduğumuz sonuçların incelenmesi ve sisteme entegre edilmesi gerekmektedir.



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] 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.
- [3] 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.
- [4] Weiss J., Emulsion Processing - Homogenization, *Emulsion Workshop*, Stuttgart, Germany, 13-14 November 2018.
- [5] Thapar A., Liquid-Liquid Dispersions from In-line Rotor-Stator Mixers, PhD Thesis, Cranfield University, School of Mechanical Engineering, Bedford, 2001.
- [6] <http://www.ika.com.my/mill01.html> (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2018).
- [7] <http://www.silverson.co.uk/> (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2018).
- [8] Cohen D., How to Select Rotor Stator Mixers, *Chemical Engineering*, 1998, **53**(16), 76-79.
- [9] Francis M. K., Mishra V. P., Phongikaroon S., Calabrese R. V., Measurement and Analysis of Drop Size in a Batch Rotor-Stator Mixer, *Proceedings of the 10th European Conference*, Delft, The Netherlands, 2-5 July 2000.
- [10] 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.
- [11] Kim J. W., Ko D. I., Calabrese R. V., Minnick B. A., Flow and Power Characteristics of an Axial Discharge Rotor-Stator Mixer, *Chemical Engineering Research and Design*, 2018, **136**, 477-490.
- [12] 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.
- [13] Hakansson A., Rotor-Stator Mixers: From Batch to Continuous Mode of Operation-A Review, *Processes*, 2018, **6**(4), 1-17.

- [14] Shi J., Cheng Q., Jinli Zhang W. L., Xu S., Residence Time Distributions of Inline High Shear Mixers with Ultrafine Teeth, *Chemical Engineering Science*, 2013, **87**, 111-121.
- [15] Arlov D., Carlsson F., Innings F., Hakansson A., Hydrodynamic Difference Between Inline and Batch Operation of a Rotor-Stator Mixer Head - A CFD Approach, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2017, **95**, 806-816.
- [16] Lindahl A., Fluid Dynamics of Rotor Stator Mixers, Master Thesis, Lulea University of Technology, Department of Computer Science, Electrical and Space Engineering, Lulea, 2013.
- [17] 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.
- [18] Rodgers T. L., Cooke M., Rotor–Stator Devices: The Role of Shear and The Stator, *Chemical Engineering Research and Design*, 2012, **90**, 323-327.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.

- [26] 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.
- [27] Korkmaz F., Ünal S., Ertuş 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.
- [28] <https://www.britannica.com/technology/dynamometer#ref110230> (Ziyaret tarihi: 26 Şubat 2019).
- [29] Çengel Y. A., Cimbala J. M., *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, 1. Baskı, Güven Kitabevi, İzmir, 2008.
- [30] Manning J. P., Batch Emulsification Using an Inline Rotor-Stator in a Recycle Loop of Varying Volume, Master of Science, University of Manchester, School of Chemical Engineering and Analytical Science, Manchester, 2009.
- [31] Çıtırık M., Batman C., Zilelioğlu O., Silikon Yağlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, *Journal of Retina-Vitreous*, 2006, **12**(4), 315-320.
- [32] Prossera R., Kowalski A. Michaela V., CFD-PBM Simulation of Dense Emulsion Flows in a High-Shear Rotor–Stator Mixer, *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, **125**, 494-510.
- [33] <https://nptel.ac.in/courses/101103004/module7/lec1/2.html> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2019).
- [34] www.kth.se/polopoly_fs/1.291037.1550154338!/Menu/general/column-content/attachment/KTH-SOP-H%C3%B6ppler-Visc-NanoHex-%20Final.pdf (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2019).

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] Korkmaz F., Ünal S., Ertuş A., Karabay H., Yüksek Kayma Gerilmeli Karıştırıcılarda Besleme Hattı Tasarımının Karıştırıcı Performansına Etkisi, *6. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 9-11 Kasım 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini İzmit Ulugazi İlköğretim okulunda gerçekleştirdikten sonra Kocaeli Fen Lisesi’nde lise öğrenimini tamamladı. 2009 yılında kazanmış olduğu Kocaeli Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2015 yılında tamamladı. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. 2010 yılında tasarım ve imalat alanında çalışmaya başlamış olduğu özel bir makine imalat firmasında Makine Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

