

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARIŞTIRMA ve KARIŞTIRICILAR, KULLANIM
ALANLARI ve HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

Makina Müh. Muzaffer ÖREN

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez DanıŐmanı : Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KARIŞTIRMA NEDİR ? KARIŞTIRMA TEORİSİNE GİRİŞ	2
2.1. Karıştırmanın Kontrolü	3
3. KARIŞTIRICILARIN AKIM ŞEKİLLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI ...	5
3.1. Aksiyal Karıştırıcılar	5
3.2. Radyal Karıştırıcılar	7
3.3. Teğetsel Karıştırıcılar	8
3.4. Özel Tip Karıştırıcılar.....	10
3.4.1. Jet Mikserleri	10
3.4.2. In-Line Statik Mikserler	12
3.4.3. In-Line Dinamik Mikserler.....	14
3.4.4. Yüksek Hızlı Dispersiyon Ünitesi	14
3.4.5. Valf Homojenizerleri.....	15
3.4.6. Ultrasonik Homojenizerler	16
3.4.7. Ekstrüderler	17
3.4.8. Öğütücü Değirmen Tipi Karıştırıcı.....	19
4. KARIŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI	21
4.1. Gaz-Sıvı Karışımları.....	21
4.2. Sıvı-Sıvı Karışımları.....	24
4.2.1. Karışabilir Sıvıların Karıştırılması	24
4.2.2. Farklı Özelliklere Sahip Sıvıların Karıştırılması	25
4.3. Viskoz Maddelerin Karıştırılması	28
4.4. Sıvıların Katılarla Karıştırılması	31
4.5. Katıların Katılarla Veya Az Miktardaki Sıvıların Karıştırılması.....	32
5. KARIŞIRICI EKİPMANLAR VE GÜÇ HESAPLAMALARI	36
5.1. Karıştırıcı Çarklar	36
5.1. Karıştırıcılarda Güç Hesaplamaları	40
5.2.1 Helisel Tip Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı ve Kesme Gerilmesinin İncelenmesi	40

5.2.1.1.	Newtonsal Kesme Gerilmesi Düşük Akışkanların Güç İhtiyacının İncelenmesi..	41
5.2.1.2.	Kesme Gerilmesi Yüksek Olan Akışkanlar İçin Güç İhtiyacının İncelenmesi	43
5.2.2.	Kanatlı Tip Karıştırıcılarda Performans Analizi ve Güç Hesaplamaları	47
5.2.3.	Aksiyal Akışlı Pervanelerde Katı Süspansiyonun İncelenmesi	54
5.2.4.	Gaz Dispersiyonunda İkili Karışım Sistemlerinin İncelenmesi	58
5.2.4.1.	Düşük Viskoziteli Akışkanlarda Gaz Dispersiyonu	58
5.2.4.2.	Orta Viskozitede ve Newtonsal Olmayan Akışkanlardaki Gaz Dispersiyonu	62
5.2.5.	Rushton Tipi Karıştırıcılarda Metzner-Otto'ya Göre Gerilmelerin İncelenmesi ..	64
5.3.	Karıştırıcı Tankları	71
5.4.	Akım Kırıcılar	72
5.5.	Saptırıcılar	73
5.6.	Mil Sızdırmazlık Elemanları	74
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	81
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGE LİSTESİ

C	Pervane ile tankın tabanı arasındaki boşluk, (m)
d	Pervane çapı (m),
Fl	Akış numarası
Fr	Froude sayısı (N^2d/g),
h_L	Couette sistemine bağlı olarak kaptaki sıvı yüksekliği,(m)
g	Gravitasyonel ivmelenme sabiti, ($m \cdot s^{-2}$)
k	Uyumluluk indeksi ($Pa \cdot s^n$),
K_p	Güç sayısının ifadesine kullanılan oransal sabit,
K_s	Metzner ve Otto sabiti,
$k\left(\dot{\gamma}\right)$	Dilatant akışkanların uyumluluk indeksi ($Pa \cdot s^n$),
l	Helegonik şerit boyu, (m)
m	Güç kanununa uyumluluk indeksi, ($Pa \cdot s^n$)
n	Akış davranış indeksi,
N_{js}	Pervane hızı, (m/s)
N_p	Güç Numarası, ($P/\rho N^3 d^5$)
N_r	Karıştırıcı şerit sayısı,
Q	Gazın akış debisi, ($m^3 \cdot s^{-1}$)
P	Karıştırma kabında harcanan güç, (W)
Re	Reynolds sayısı ($\rho N d^2/\mu$),
Re_g	Genelleştirilmiş reynolds sayısı, ($\rho N d^2/\mu_e$)
t	Tank çapı, (m)
vvm	Dakikada birim sıvı hacmine düşen gaz hacmi, (d^{-1})
V_{js}	Süspansiyon hızı, (m/s)
V_z	Pervanenin aksiyal hızı, (m/s)
X	Katı yoğunluğu, (Katı ağırlığı / sıvı $\cdot 100$)

Yunan Harfleri

$\dot{\gamma}_e$	Efektif kesme oranı, (s^{-1})
μ	Newtonsal akışkan viskozitesi, (Pa·s)
μ_a	Newtonsal olmayan akışkan viskozitesi, (Pa·s)
μ_e	Efektif viskozite,(Pa·s)
θ	Sıcaklık, ($^{\circ}C$)
ρ	Sıvının yoğunluğu, (kg/m^3)
τ	Kesme gerilmesi, (Pa)
τ_c	Kesme gerilmesi, (Pa)
ν	Kinematik viskozite,(m^2/s)
ΔC	Pervaneler arası boşluk,(m)

KISALTIMA LİSTESİ

ARI	Axial radial impeller
CMC	Carboxymethylcellulose
DHR	Double-helical ribbon impeller
HR	Helical ribbon impeller
PBT	Pitch blade turbine
RT	Rushton turbine
ST	Smith turbine
T	Turbine

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Piknometre örneği 4
Şekil 3.1	Aksiyal karıştırıcılar (a-pervane tipi b-vidalı tip)..... 5
Şekil 3.2	Türbin tipi radyal karıştırıcı..... 7
Şekil 3.3	Teğetsel karıştırıcılardan çapa tipi karıştırıcı 9
Şekil 3.4	Hareketsiz sıvı kütesine giren sıvı jetinin şekli (J.H.Rushton ve J.Y.Oldshue) . 10
Şekil 3.5	Hava tahrikli ve akım kırıcılı sistem..... 12
Şekil 3.6	In-line statik mikser 13
Şekil 3.7	In-line dinamik mikser 14
Şekil 3.8	Yüksek hızlı dispersiyon ünitesi..... 15
Şekil 3.9	Valf homojenizeri 16
Şekil 3.10	Ultrasonik homojenizer 17
Şekil 3.11	İkiz vidalı ekstrüder 18
Şekil 3.12	Tek vidalı ekstrüder 18
Şekil 3.13	Farklı tipteki öğütücü değirmen örnekleri (a-kinetik dispersiyon tipi b-silindirik değirmen tipi) 19
Şekil 3.14	Farklı tipteki öğütücü değirmen örnekleri (c-aşındırıcılı tip d-kumlu/damlamalı tip)..... 20
Şekil 4.1	Gaz-sıvı karışım tipleri 23
Şekil 4.2	Statik karıştırıcılar 25
Şekil 4.3	S Pervane karıştırıcı tipleri (a-mil tank merkezinde dik ve akım kırıcı yok, b-mil tank merkezine dik ve akım kırıcı var) 26
Şekil 4.4	Pervane karıştırıcı tipleri (c-akım kırıcı yok, pervane kenara yerleştirilmiş, d-büyük tanklar için yanal giriş düzeni) 27
Şekil 4.5	Karıştırıcı akış tipleri (a-Aksiyal Akış b-Radyal Akış)..... 28
Şekil 4.6	Yoğurma makinesi..... 28
Şekil 4.7	Banbury karıştırıcısı 29
Şekil 4.8	Viskoz madde karıştırıcıları (a-içi düz, dışı spiral kanatlı karıştırıcı b-içi düz, dışı düz kanatlı karıştırıcı) 30
Şekil 4.9	Özel şekilli karıştırıcılar 31
Şekil 4.10	Kuru karıştırıcı..... 32
Şekil 4.11	V şekilli karıştırıcı 33
Şekil 4.12	Çamur karma makinesi 34
Şekil 5.1	Temel çark tipleri..... 36
Şekil 5.2	Temel plakalı karıştırıcı tipleri 37
Şekil 5.3	P Master karıştırıcısı HSV/TS yüksek hızlı/düşük hızlı pervane kombinezonlu . 38
Şekil 5.4	Z bıçaklı karıştırıcı örneği 39
Şekil 5.5	Aksiyal akımlı karıştırıcı için pervane örneği 40
Şekil 5.6	Helisel karıştırıcı ve geometrik parametrelerinin gösterimi 41
Şekil 5.7	Deney setinin şematik gösterimi..... 43
Şekil 5.8	A, B, C, D solüsyonlarının reynolds sayısına bağlı güç grafiği 44
Şekil 5.9	Kesme gerilmesi düşük olan akışkanların K_s değerlerinin değişiminin grafiği.... 45
Şekil 5.10	Karışım öncesi ve sonrasında basınç düşüşü/akış debisi'nin grafiği..... 46
Şekil 5.11	A, B, C, D solüsyonlarının devir sayısına bağlı güç grafiği..... 46
Şekil 5.12	PARAVISİC sisteme göre K_s faktörünün değişimi 47
Şekil 5.13	Deneyde kullanılan kanatlı tip karıştırıcı pervanesi 48
Şekil 5.14	Üç değişik tip pervaneye göre hazırlanmış güç eğrisi 49
Şekil 5.15	Viskoz Madde Karıştırıcıları (a-içi düz, dışı spiral kanatlı karıştırıcı b-içi düz, dışı düz kanatlı karıştırıcı) 49
Şekil 5.16	ARI tipi karıştırıcılarda newtonsal akışkanların karıştırılması (200 d/d) (a) 30 s;

	(b) 40 s; (c) 120 s ve newtonsal olmayan akışkanların karıştırılması (d) 30 s; (e) 60 s ve (f) 180 s	50
Şekil 5.17	Üç değişik tipteki pervane için boyutsuz karışım süreleri a-) Newtonsal akışkanlar için b-) Newtonsal olmayan akışkanlar için.....	53
Şekil 5.18	Değişik pervane açılarında 6 bıçaklı pervanenin hız dağılımı.....	56
Şekil 5.19	Kanat açlarına göre akış sayısı ve güç sayısının değişimi	56
Şekil 5.20	Süspansiyon hızının kanat açısına göre değişimi	57
Şekil 5.21	RT ve ST tipi karıştırıcıların $Q=1$ vvm ve $N_{RT}=7.5\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40$, $Fl=0.06$) koşulları altındaki karışım performanslarının gösterimi.....	59
Şekil 5.22	Helegonik şerit pervanenin $5<N_{RT}[\text{s}^{-1}]<10$ aralığında $Q=1$ vvm olduğu durumda oluşan gaz dispersiyonunun gösterimi.....	60
Şekil 5.23	Helegonik şerit pervanenin $Q=1$ vvm olduğu durumda oluşan gaz dispersiyonunun gösterimi a-) $N_{RT}=5\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.18$, $Fl=0.09$), b-) $N_{RT}=7.5\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40$, $Fl=0.06$), ve c-) $N_{RT}=10\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.71$, $Fl=0.05$).....	61
Şekil 5.24	$N_{ST}=10\text{ s}^{-1}$ ve $Q=1$ vvm ($Fr=0.71$ ve $Fl=0.05$) olduğu durumda a-) Hareketsiz HR tipi karıştırıcı b-) İkili sistem HR+ST ($N_{ST}/N_{HR}=10$) de gaz dispersiyonunun gösterimi	62
Şekil 5.25	HR-ST tipi karıştırıcıda mısır şurubu solüsyonu kullanarak ($0.5\text{ Pa}\cdot\text{s}$), $Q=0.5$ vvm $N_{ST}=10\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.71$ ve $Fl=0.02$), ve $N_{ST}/N_{HR}=10$ olduğunda gaz dispersiyonu.....	63
Şekil 5.26	HR-ST tipi karıştırıcı içerisinde 0.1% xanthan gum solüsyonu ($m=0.316\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, $n=0.38$) $Q=1$ vvm ve $N_{RT}=10\text{ s}^{-1}$ a-) $N_{RT}=7.5\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40$, $Fl=0.06$) b-) $N_{RT}=10\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.71$, $Fl=0.05$)	63
Şekil 5.27	Deney setinin şematik gösterimi.....	65
Şekil 5.28	Akışkanın nümerik olarak reolojik davranışının gösterimi	67
Şekil 5.29	Couette sistemi için teorik ve nümerik güç değerlerinin kıyaslanması □ : nümerik değerler, _____ : teorik değerler.	67
Şekil 5.30	Akma gerilmesi etkisinden doğan dikey yerel ortalama kesme oranı profili ($N=1\text{ s}^{-1}$, $r=0,0795\text{ m}$ ve $\alpha=0$); □ : $\tau_c=100\text{ Pa}$ (n^2 akışkanı), ● : $\tau_c=10\text{ Pa}$ (n^1 akışkanı).....	68
Şekil 5.31	Akma gerilmesi etkisinden doğan radyal yerel ortalama kesme oranı profili ($N=1\text{ s}^{-1}$, $z=0,115\text{ m}$ ve $\alpha=0$); □ : $\tau_c=10\text{ Pa}$ (n^1 akışkanı), ● : $\tau_c=100\text{ Pa}$ (n^2 akışkanı).....	69
Şekil 5.32	Akma gerilmesi etkisinden doğan viskozite profili ($N=1\text{ s}^{-1}$, $r=0,0795\text{ m}$ ve $\alpha=0$); □ : $\tau_c=100\text{ Pa}$ (n^2 akışkanı), ● : $\tau_c=10\text{ Pa}$ (n^1 akışkanı), _____ $\tau_c=0\text{ Pa}$ (Newtonsal akışkan)	69
Şekil 5.33	Karıştırıcı türbinin geliştirilmiş güç eğrisi	70
Şekil 5.34	n^5 akışkanı için Metzner-Otto sabitin K_s 'in belirlenmesi	70
Şekil 5.35	Analitik ve nümerik güç eğrilerinin karşılaştırılması	71
Şekil 5.36	Karıştırıcı tankı	72
Şekil 5.37	Tank içerisindeki mekanik elemanlar	73
Şekil 5.38	Değişik akım tiplerine göre konumlandırılmış saptırıcı örneği.....	74
Şekil 5.39	V-ring örneği	75
Şekil 5.40	Küçük salmastra kutusu.....	75
Şekil 5.41	Yağlama halkalı salmastra kutusu	76
Şekil 5.42	Soğutma ceketli salmastra kutusu.....	76
Şekil 5.43	Tek yönde çalışan mekanik salmastra	77
Şekil 5.44	Sönümleme odalı tek yönde çalışan mekanik salmastra.....	77
Şekil 5.45	Çift etkili mekanik salmastra	78
Şekil 5.46	Koaksiyal geri dönüşlü ve eş eksenli çift etkili mekanik salmastra	79

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Karışım tiplerinin sınıflandırılması	2
Çizelge 5.1 Viskozite ve hız değişimine göre karıştırıcı çark seçimi.....	37
Çizelge 5.2 Newtonsal akışkanın fiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 5.3 Kesme gerilmesi yüksek ve düşük akışkanların güç parametreleri.....	42
Çizelge 5.4 Deneyde kullanılan akışkanların fiziksel özellikleri (25°C).....	48
Çizelge 5.5 Değişik tipteki karıştırıcılarda newtonsal sıvıların karışım süreleri.....	51
Çizelge 5.6 Değişik tipteki karıştırıcılarla newtonsal olmayan sıvıların karışım süreleri.....	52
Çizelge 5.7 Newtonsal ve Newtonsal olmayan akışkanların boyutsuz karışım süreleri ($N \cdot t_m$), için regresyon katsayıları.....	52
Çizelge 5.8 Pervane geometrisi ile ilgili veriler	55
Çizelge 5.9 Katı partikül ile ilgili veriler.....	55
Çizelge 5.10 A310 tipi karıştırıcının süspansiyon hızları	57
Çizelge 5.11 Bingham akışkanlarının özellikleri	64
Çizelge 5.12 Herschel-Bulkley akışkanlarının özellikleri.....	65

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince çok değerli önerileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sn. Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR'e sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve destek olan IŞIK ENDÜSTRİYEL ÜRÜNLER PAZARLAMA A.Ş. başta Sn. Ender Özgül ve Sn. Ogün Uluç'un şahsında teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında yardım ve tavsiyelerini esirgemeyen ve deneyimlerinden çokça faydalandığım, teknik yardım konusunda bilgilerini esirgemeyen GEPPERT KARIŞTIRICI TAHRİK SİSTEMLERİ adına genel müdür Horst Geppert ve Stefan Heuter'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinin yorucu temposunu samimiyetleri ile keyifli kılan dostlarım Sn.İsmail Tolga Kava, Sn.Nejat Özkumur, Sn.Sedat İhvan, Sn.Mehmet Haldun Dursunoğlu, Sn.Ayşegül Gürsoy, Sn.Zeynep Saliha Gönenç, Sn.Mehmet Emre Aktuna, Sn. Muharrem Turan, Sn.Göktürk Oğultürk'e teşekkür ederim.

Zaman değişse de değişmeyen ve her zaman yanımda olan değerli dostlarım Sn.Özgür Bilgiç, Sn.Ender Yalçın ve Sn.Çağkan Kocabaş ve Sn.Alper Karain'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Karıştırma işlemi teknikte pek çok sahada kullanım alanına sahiptir. Temel olarak kimyasal ve fiziksel değişim esastır. Proses endüstrisini baz alarak karıştırma prosesi ile ilgili temel bilgileri günden güne değişmekte ve gelişmektedir. Birçok sanayi kesiminde, özellikle gıda, ilaç, kağıt, boya, plastik, seramik, kauçuk, sanayinde karıştırıcı cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Doğada bulunan maddelerin çeşitliliğinden dolayı karıştırıcı cihazlar, değişik şekillerde dizayn edilmektedir.

Uygun karışımın elde edilmesi bakımından bu cihazların seçimi oldukça önem kazanmıştır. Sıvıların birbirleri ile olan karışımlarında problemler olduğundan araştırma konusu olmuşlar ve dünya literatürüne geçmişlerdir. Sıvı ve katı maddelerin birbirleri ile olan karışımları ise miktarı fazla olan maddenin karıştırılma sahasına girer. Katıların katılarla karıştırılmalarında ise sistematik incelemeler yapılmasına rağmen kesin kriterler ortaya konulamamıştır.

Yapmış olduğum bu çalışmada, özellikle sıvı maddelerin (Newtonsak akışkanların) karıştırılmasını inceledim. Karıştırılan maddelerin fiziksel özelliklerine göre; gerekli güç ihtiyacı, kanat ve karıştırıcı tipi seçimi, mukavemet hesaplamaları konuyu oluşturan temel ilkelerdir. Günümüzde karıştırma prosesinde yaşanan problemlerin çoğu yetersiz bilgiden kaynaklanmaktadır. Umuyoruz ki bu ve benzeri çalışmaların artması ile karıştırma prosesinde yaşanan problemlerin azalmasına neden olur.

Anahtar kelimeler: Karıştırma, akışkanlar mekaniği, sızdırmazlık elemanları, helisel şerit tipi karıştırıcı, plakalı karıştırıcı, akım kırıcı, gaz dispersiyonu, katı-sıvı karışımı

ABSTRACT

Mixing operations are encountered widely throughout productive industry in processes involving physical and chemical change. Although much of our knowledge on mixing has developed from the process industry, many other sectors carry out mixing operations on a large scale. Many industries, especially food, medical, paint, paper, plastics, ceramic, chemical utilize mixing apparatus. Since there are various kinds of substances in nature, mixing apparatus display many different forms.

Choosing a mixing apparatus gains even more importance when it comes to attain the right mixture. Liquid-liquid mixtures possess great problems. Thus, in-depth research has been performed and reported in the literature. Liquid-solid mixtures are relatively easy since the mixing technique depends largely on the component whose amount is in excess. In spite of the systematic analyses carried out on solid mixtures, some difficulties may still arise.

This research report studies apparatus mainly for liquid-liquid mixtures (Newtonian fluids). According to the physical characteristics of the mixing substances; power requirement, flow and mixer type selection, and strength calculations are the fundamental principles of this study. Thus, lack of knowledge causes mixing problems. It is hoped that this review helps to provide a scientific underpinning of the mixing operations carried out in a wide range of industries.

Keywords: Mixing, fluid mechanics, seals, helical ribbon impeller, Rushton turbine, baffle, gas dispersion, solid suspension

1 GİRİŞ

Bu çalışmada karıştırma, karıştırıcı cihazlar ve hesaplama yöntemleri ele alınmıştır. Karıştırmanın amacı olarak kısaca, maddelerin homojenitesini, akışkanlık kabiliyetini artırmak, iki veya daha fazla maddenin sentezi sonucu yeni ürünler elde etmek diyebiliriz. Dolayısıyla bu işi yapan cihazlara da karıştırıcı cihazlar denilmektedir. Bu durumda maddelerin fiziksel özellikleri ve miktarları önem kazanmaktadır. Tabiatta bulunan katı, sıvı ve gaz maddelerin karıştırılmaları daima araştırma konusu olmuş ve bir standart oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu tür maddelerin karıştırıcı tipleri ileride açıklanacaktır.

Karıştırıcı cihazlar; tanklardan, karıştırıcı çarklardan (Ör: pervane, türbin, çapa, düz kanat şeklinde) ve tahrik mekanizmalarından oluşmuş komplike cihazlardır. Bunun yanında karıştırıcı cihazların ek ekipmanlarına da ihtiyaç duyulabilmektedir. Maddenin özelliğine göre değişebilen bu mekanizmalarda, newtonsal akışkanlar için oldukça kesin kriterler ortaya koyulmuştur. Özellikle, katı maddelerin karıştırılmalarındaki çeşitliliklerden dolayı çok değişik cihazlar kullanılmaktadır. Gaz maddelerin karıştırılmalarında ise hemen hemen güçlüklerle karşılaşmaz. Bu yüzden sıvıların karıştırılmalarında deneysel çalışmalar ve bulgular ağırlıktadır.

Birçok proses işleminin efektif bir şekilde başarılı olmasında karıştırıcılar kullanılmaktadır. Çoğu zaman tahrik ile karıştırmayı eş anlamlı zannetmektedir. Tahrik bir kap içerisinde bulunan partiküllerin sirkülasyonunu temel almaktadır. Fakat karışım bir veya birden fazla fazın birbiri ile teması ile ortaya çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse içi soğuk su dolu bir kaptaki tahrik yaratabilirsiniz. Fakat karıştırma yapabilmek için farklı bir karışım elemanı (Ör: sıcak su veya toprak kumu) eklenerek sistemde uygun bir karışım yaratılabilir.

Karıştırma terimi, karışımdaki maddelerin homojenite derecesine göre değişik uygulama alanlarında çeşitlilikler gösterebilmektedir. Bir durumu göz önünde bulundurursak, iki gazı bir araya getirip karıştırmak veya ikinci durumda çakıl, çimento ve suyun birbiriyle karıştırılmasıdır. Bu iki durumda eş bir homojenite sağlanması mümkün değildir. Bu iki durumda da son ürün karışım olarak adlandırılmaktadır.

2 KARIŞTIRMA NEDİR ? KARIŞTIRMA TEORİSİ

İki veya daha fazla karışım elemanından meydana gelen bileşimi hazırlama işi karıştırma olarak açıklanabilir. Karışım bileşiminin homojen olması çok önemlidir. Çünkü karışımın başarıya ulaşıp ulaşmadığına ancak homojenitenin derecesine göre karar verilmektedir. Karıştırmanın performansını belirlerken, karışım akışkanlarının birbirleri arasındaki eş dağılım derecesi, temel örnekler göz önüne alınıp karıştırabildiği zaman kolayca açıklanabilmektedir. Karıştırma teorisini incelemek için yapılacak ilk iş oluşturulacak özel karışımı incelemek olacaktır. Bununla birlikte örneklerin incelenmesinde uygulanacak olan metodun tipi, numunelerin sayısı ve yerleri, numuneleri incelemek için kullanılan metotların hassasiyet dereceleri ve karışımın istenilen özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Numunelerin elektrik iletkenlikleri, numunelerdeki anahtar karışım elemanı miktarı, çözünebilen bir katının çözünme debisi ve diğer konular gibi çeşitli kriterler kullanılabilir. Çizelge 2.1'de temel bazı sınıflandırmalar yapılarak akışkan tiplerine göre karıştırma prosesi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2.1 Karışım tiplerinin sınıflandırılması

Fiziksel Proses	Uygulama sınıfı	Kimyasal Proses
Süspansiyon	Sıvı – katı	Eriterek
Dispersiyon	Sıvı – gaz	Absorbe ederek
Emülsiyon	Birbiri ile karışmayan sıvılar	Ekstraksiyonla
Harmanlama	Birbiri ile karışabilen sıvılar	Reaksiyonla
Pompalama	Akışkan hareketi	Isı transferi

Karışım ekipmanlarını seçerken, akışkanların ve karışımın viskozitesinin bilinmesi gerekmekte ve ayrıca karışma uğrayan akışkanların ve karışımın yoğunluğu da bilinmesi gerekmektedir. Mekanik karışım elemanlarını kategorize etmek istersek:

- Prosesin gerekliliğine göre kullanılacak olan özel tip pervaneler
- Gücü, hızı ayarlayan mekanik ekipmanlar
- Yüksek basınçlı tanklarda sızdırmazlığı sağlayan ekipmanlar

Diğer bir eleman ise tank içindeki milde meydana gelecek olan titreşimi azaltmaya yardım edecek olan yataklama elemanıdır. Fakat öncelikle karışımdaki temel fiziksel akışkanlar mekaniği denklemleri ve gözlemlenen temel parametrelere bir göz atmamız gerekmektedir.

Bunun yanında bu endüstride çalışan mühendisleri ihtiyaca yönelik karıştırıcı seçimlerinde büyük zorluklar sağlanmaktadır. Borulu ve plakalı ısı değiştiricilerinde olduğu gibi tam bir karıştırma seçiminde hangisinin en uygun olduğu konusunda da tam bir mutabakata sağlanabilmiş değildir.

Diğer bir problem ise sistemin performansının analizinde yaşanmaktadır. Genel olarak karıştırma prosesinde çok küçük referanslar göz önüne alınmaktadır. Bu suretle karışım herhangi bir hata ile karşılaşıldığında, dizayn üzerinde herhangi bir noktada meydana gelecek olan hatanın tespiti mümkün değildir. Eğer karıştırma prosesinde eksik bir bilgiye sahipsek sistemi büyük seçerek ürün kalitesine göre ayarlama yapılarak düzletme yapılabilir. Fakat bununla birlikte fabrikanın ve sistemin işletme ve ilk yatırım maliyeti devreye girerse daha optimum bir sisteme ihtiyaç duyulabilmektedir.

2.1 Karıştırmanın Kontrolü

Şekil 2.1’de gösterilen bir piknometre kullanarak örneklerin özgül ağırlıkları dikkatli bir şekilde kontrol edilecek olursa bir veya iki ondalık daha ileri gidilerek daha mükemmel bir okuma yapılabilir. Bu durumda hidrometre çubukları ile yapılan ölçmede düzenli görünen bir karışım, piknometre ile yapılan ölçü ile düzenli görünmeyebilir. Diğer taraftan hidrometre çubukları ile muntazam görünen bir karışım, çözeltiyi kullanan kimse için yeterlidir. Motor yakıtı elde etmek için benzinin, kurşuntetraetil ile karıştırılması işleminde karışımın ne zaman tamamlanmış olacağı, karışımdaki kurşun miktarının nasıl tayin edildiğine bağlıdır. Bunun bir sonucu olarak herhangi bir karıştırılma işleminin tamamlanıp tamamlanmadığı sorusu hiçbir zaman mutlak olmayıp daima görecelidir. Karışmanın derecesi elde var olan veya istenilen metotlardan biri kullanılarak kontrol edilir.



Şekil 2.1. Piknometre örneği

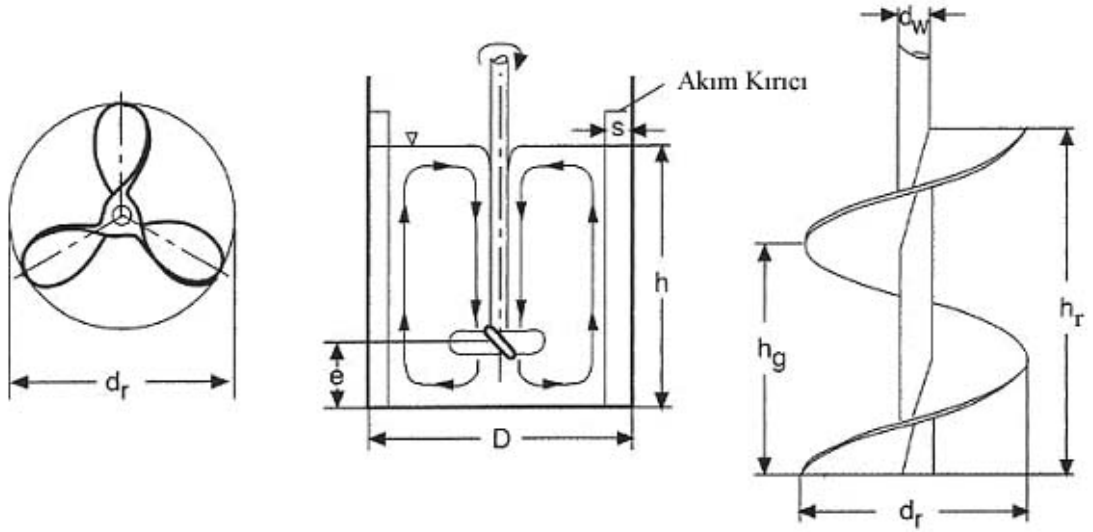
Diğer bir problem de kaç adet numunenin alınacağı ve nereden alınacağı konusudur. Yayınlanmış bir kısım çalışmalara göre numuneler gelişmiş güzel fakat sabit noktalardan alınmalıdır. Diğerlerine göre ise karışmanın en az olduğu noktadan numune alınmalıdır ve bu noktanın yeri tecrübe ile bulunur. Yukarıda yapılan, açıklamalardan herhangi bir karışma operasyonunun tam olup olmadığı konusunun, oldukça keyfi kriterlere dayanmakta olduğu anlaşılmaktadır.

Karıştırma ile ilgili herhangi bir teoremin ilk amacı belirli bir cihaz içerisinde, belirli bir madde topluluğunun karışması için gerekli zamanı hesaplamak, ikinci amacı ise karıştırma işlemi süresince ne miktar güce ihtiyaç olacağını bulmak olmalıdır. Bu alandaki çalışmaların incelenmesi, karışma için gerekli zaman konusunda pek az sayıda çalışma olduğunu ortaya koymuştur. Karıştırıcı cihazların güç sarfiyatı konusunda ise birçok araştırma yapılmış ve standardize edilmiştir. Bu yüzden sıvı karıştırıcılarında güç harcamasının belirlenmesinde problemlerle karşılaşılmamaktadır.

3 KARIŞTIRICILARIN AKIM ŞEKİLLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

3.1 Aksiyal Karıştırıcılar

İki ana tipi bulunmaktadır. Pervane ve sonsuz vida tipleri akım hatlarıyla beraber şekilde görülmektedir. Akım hatları kap içinde bir bütünlük teşkil etmekte ve geniş kullanma yelpazesi bulunmaktadır. Pervane tipi karıştırıcı genellikle üç bıçaklı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çapı ise d_r olarak gösterilir. Bıçakların eğimleri radyal yönde değişebilir. Eğim ölçüsü olarak adım yüksekliği h_g verilir. Bu yükseklik bir vidalı karıştırıcı yaprak yüzeyinin kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu aldığı yoldur. Genel olarak $h_g=d_r$ ve $d_r=D/3$ ifadeleri kullanılır. Buradaki D karıştırıcı tankın çapıdır.



Şekil 3.1 Aksiyal karıştırıcılar (a-pervane tipi b-vidalı tip)

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi daire içerisinde gösterilen pervanenin üst yüzeyi daire yüzeyinin %30 ile %50'si kadarını oluşturmaktadır. Pervanenin tanka yerleştirilmesi esnasında, tabandan olan yükseklik mesafesinin (e), pervane çapına eşit olmasına dikkat edilmelidir ($e=d_r$). Pervanenin dönmesi sonucu aksinel yönde bir akım oluşturur. Akım yönü, pervanenin

dönme yönüyle tayin edilir. Şematik olarak şekil 3.1’de tanktaki akışkan hareketi çizilmiştir. Bu hareket biriken akışkan kütesinin dönmesidir. Bu dönme hareketi zorunlu olarak bir akışkan girdabı oluşturur. Bu girdap olayı çok yüksek devir sayılarında, pervane düzlemine kadar ilerleyebilir ve bu şekilde hava kabarcığı akışkan içerisinde yayılır. Bu istenmeyen durumu önleyebilmek için girdap oluşumunu engellemek gerekir. Bunun için tanka akım kırıcılar koyulmalıdır. Genel olarak tanka, dört adet akım kırıcı yerleştirilir. Bunların genişliği $S=D/10$ kadar olmalıdır. Akım kırıcıları tank tabanından akışkan yüzeyine kadar uzanmaktadırlar. Durgun haldeki akışkanın yüksekliği h genel olarak tank çapına eşittir.

($D=h$)

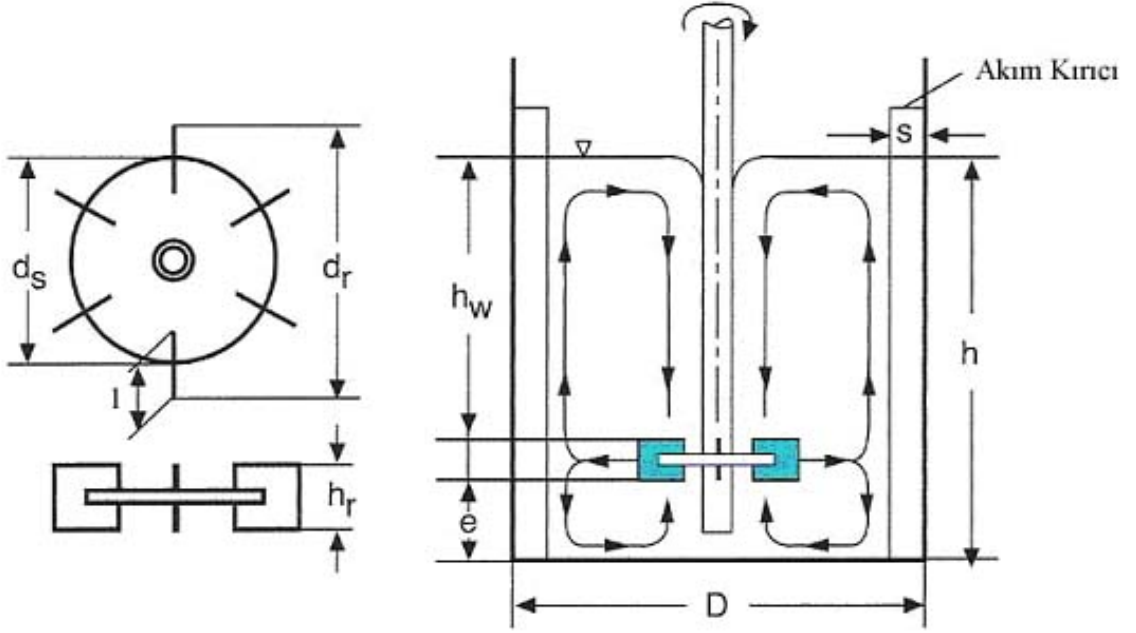
Akışkanın tank cidarı kenarındaki hızı çok düşük ise akım kırıcısını tank cidarına direkt olarak monte etmek yerine s mesafesinde monte etmek daha faydalı olur. Bu şekilde tank cidarı yakınında yüksek bir hız elde etmekle birlikte, akışkanın kuvvetli bir şekilde sirkülasyonu sağlanır. Tek bir pervane yardımıyla istenen karışım etkisi sağlanmıyor ise birden fazla pervane yerleştirilir veya benzer iletim elemanları üst üste sıralanır. (W.Weihrauch, 1968)

Aksiyal karıştırıcıların diğer bir türü de vidalı tip karıştırıcılardır. Bu da şekil 3.1’de gösterilmektedir. Bu karıştırıcı tank merkezine ve merkezden kaçık olarak yerleştirilebilir. Merkezden kaçık yerleştirilmelerde akışkanın daha kuvvetli karışımı söz konusudur. Karıştırıcının h_g yüksekliği sadece akışkan içerisinde hava kabarcıklarının yayılmasını önleyecek şekilde seçilmelidir. Bu tehlike vidalı karıştırıcı ile, akışkan yukarı doğru iletilirse en aşgaridir. Bu durumda karıştırıcı yüksekliği h_r , akışkan yüksekliği h ’a eşit olmalıdır. ($h_r=h$) Genel olarak $d_r=d/3$ ve adım yüksekliği $h_g=d_r$ seçilmelidir. Bu ölçüler değişik şartlar altında pratikte uygunluğunu göstermiştir. Tabi bu ölçülere bağımlı kalmamak gerekir. Çünkü karıştırıcılarda boyutların, karışım olayına olan etkisi kesin olarak tespit edilememiştir.

Aksiyal akım pervaneleri, viskoziteleri 1000 kg/ms den küçük olan akışkanların karıştırılmalarında kullanılır. Daha yüksek viskoziteli akışkanlarda (~ 100.000 kg/ms) vidalı tip karıştırıcılar kullanılır. Vidalı karıştırıcıları düşük viskoziteli akışkanların karıştırılmasında kullanmak mümkündür. Bunun için adım yüksekliği h_g ’yi küçültmek ve karıştırıcının sürtünme yüzeyini büyütmek gerekir.

3.2 Radyal Karıştırıcılar

Radyal karıştırıcılarda akım hatları iki kısımdan meydana gelir. Ancak akım hatlarının yüksekliği küçüktür. Bu nedenle bilhassa ısıtmalı veya soğutmalı tanklarda kullanılması uygundur. Karıştırıcılarda genellikle bir disk veya çember üzerine yerleştirilmiş 2, 4 veya 6 plaka bulunmaktadır. Hareket esnasında büyük sürtünme ve dolayısıyla kesme kuvvetleri doğmaktadır. Bundan dolayı kap içinde önce dik akım hattı doğmakta, ancak akım hattının kap duvarına çarpmasıyla aksiyal akım hattının boyu kısa kalmaktadır. Bu hareket rotasyon hareketlerini de içerdiği için radyal karıştırıcılar çok karışık bir üç boyutlu akım elde etmektedirler. Bu konuda mevcut olan bilgiler ile bu karışımın etkisi ve karıştırıcı düzeni hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir.



Şekil 3.2 Türbin tipi radyal karıştırıcı

Radyal karıştırıcıya örnek olarak şekil 3.2'de en çok kullanılan tiplerden türbin tipi karıştırıcı göstermiştir. Bu karıştırıcı d_s çaplı dairesel bir diskten oluşmaktadır. Bu diskin üzerine l uzunluğunda ve h_r yüksekliğinde plakalar yerleştirilmiştir. Karıştırıcının, disk levhasının uçlarından ölçülen çapı d_r 'dir. Boyutlandırma ve yerleştirme için pervaneli karıştırıcılardaki

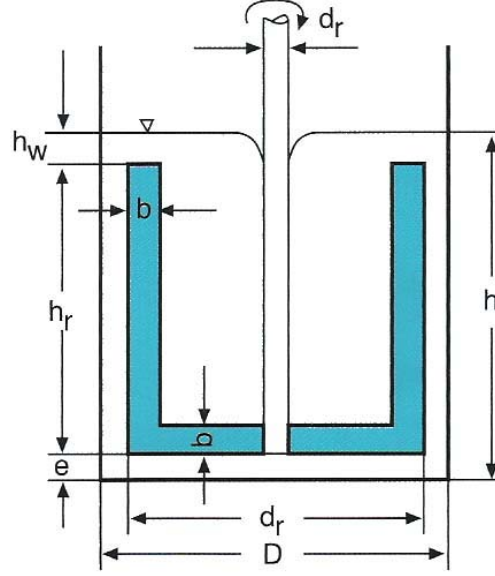
değerler kullanılabilir ($d_r/D=1/3$, $e/d_r=1$, $h/D=1$ ve $s/D=1/10$). Dikdörtgen plakalar takriben belirtilen ölçülerde ($l/d_r = 1/5$ ve $h_r/d_r=1/8-1/4$ arasında) bulunmaktadır. Genel olarak girdap oluşumunu önlemek için 4 adet akım kırıcı kullanılması öngörülmüştür. Bu akım kırıcının genişliği $S=D/10$ kadardır. Plakalı karıştırıcılar viskozitesi yaklaşık 10.000 kg/ms olan akışkanlarda kullanılmaktadır.

Şekil 3.2’de gösterilen plakalı karıştırıcıya benzer birçok formlar oluşturulabilir. Genellikle dairesel disk kullanılmamaktadır ve uygun uzunlukta dikdörtgen plakalar türbin yaprakları olarak direkt monte edilirler. Plakalı karıştırıcı yapraklarına genellikle akım yönüne ters yönde eğim verilmektedir. Plakalı karıştırıcı yapraklarının yatay ekseni etrafında kıvrılmasıyla radyal karıştırıcıdan aksiyal karıştırıcıya sürekli geçiş sağlanır.

Bilinen plakalı karıştırıcılar ile elde edilen zorunlu akım alanları şematik olarak şekil 3.2’de gösterilmektedir. Akışkan karıştırıcıyı radyal yönde terk etmektedir.

3.3 Teğetsel Karıştırıcılar

Bütün karıştırıcılar arasında en basit biçime şekil 3.3’de gösterilen çapa tipi karıştırıcı sahiptir. Bu karıştırıcılar karıştırıcı miline paralel olarak sıralanmış iki çubuk levhanın yatay bir levha ile miline bağlanmasından oluşmuştur. Karıştırıcı çapı $d_r=D/1,1$ ile $d_r=D/2$ arasında seçilebilir. Fakat genellikle çapları tank çapından fazla küçük olmayan çapa tipi karıştırıcılar kullanılır. Çubuk levhaların genişliği olan b ’nin yaklaşık onda biri kadardır ($b=D/10$). Taban yüksekliği e genellikle küçük tutulmaktadır ve $e=D/10$ kadardır. Karıştırıcının h_r yüksekliği yaklaşık karıştırıcının d_r çapı kadardır. Bu şekilde karıştırıcı, bütün işletme şartlarında $h=D$ olmakta ve akışkan içerisinde bulunmaktadır. Karıştırıcı akışkan yüzeyinin dışına çıktığı zaman akışkan içerisine hava kabarcığı oluşma tehlikesi vardır. Bu taktirde havayı emip sıvı içinde gaz kabarcığı oluşturabilir. Ancak karıştırma özelliği artış gösterebilir. Kap içinde sıvı karıştırıcının dönme hızıyla eşdeğere yakın bir hızla hareket etmektedir. Çapa tipi karıştırıcılar karıştırıcı kabı ile sıvı arasında ısı alışverişi istendiği anda etkin olmaktadır. Kap içindeki sıvı bir bütün kütle halinde kaldığından karıştırma olayı çok yavaştır. Çapa tipi karıştırıcılarda aksiyal ve radyal akım hatlarının çok küçük olması, karıştırma olayının yavaşlığının ana nedenidir.



Şekil 3.3 Teğetsel karıştırıcılardan çapa tipi karıştırıcı

Çapa karıştırıcısı özellikle tank cidarı yakınında büyük akışkan hızları istenildiğinde kullanılır. Böyle bir durum tank cidarı ve akışkan arasında ısı alış verişi istendiği zaman söz konusudur. Bu şartlar altında akım kırıncılara ihtiyaç olmadığından çapalı karıştırıcılarda rotasyon esnasında genelde zayıf bir girdap oluşur. Çapa tipi karıştırıcılar dinamik viskozitesi 1000 kg/ms'ye kadar olan akışkanların karıştırılmalarında kullanılır.

Yapılan birçok inceleme göstermiştir ki d_r karıştırıcı çapına sahip silindir içerisindeki akışkan, katı bir cisim gibi davranmaktadır. Yani silindir içerisinde akışkan karıştırıcının dairesel hızına yakın bir hızda hareket etmektedir. Bu nedenle akışkanın karışımı zayıftır. Burada yatay çubuk levha üzerine dört veya altı adet dikey çubuk levha sıralanırsa, ilave yatay çubuklar çapa tipi karıştırıcının karışım etkisine herhangi bir değişiklik meydana getirmez.

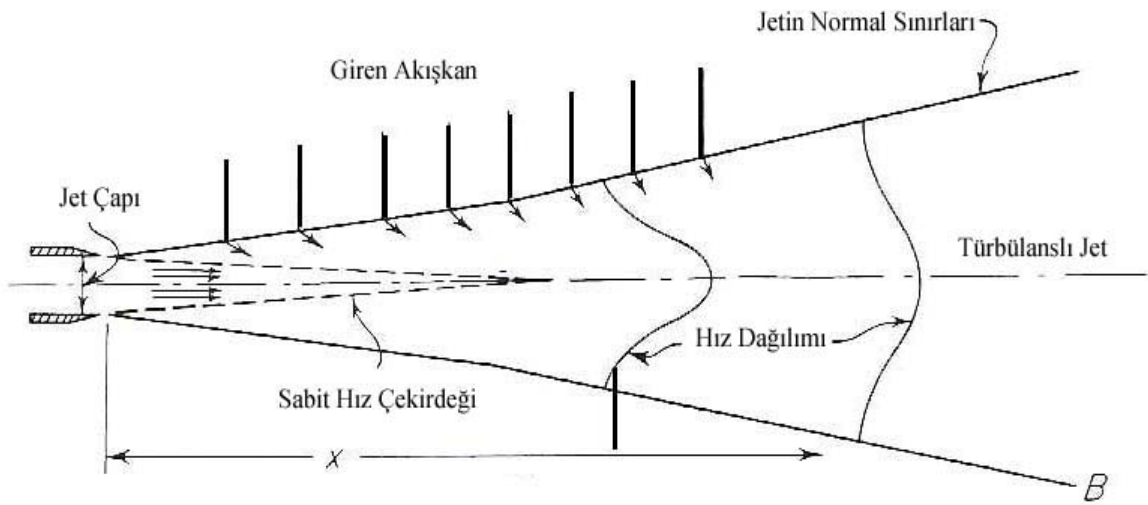
Çapa tipi karıştırıcıda iki paralel çubuk levha arası tamamen doldurulursa teğetsel karıştırıcının farklı formu olan yaprak tipi karıştırıcı olur.

Çapa tipi karıştırıcı tüm karıştırıcılar arasında en basit akım alanı oluşturmaktadır. Bu akım alanı genellikle çevresel hızla belirlenmektedir. Üç boyutlu akımlar ise sadece asgari düzeyde oluşmaktadır.

3.4 Özel Tip Karıştırıcılar

3.4.1 Jet Mikserleri

Bernoulli teoremine göre yüksek hızla hareket eden sıvı kendisini çevreleyen ve daha düşük bir hızla hareket eden sıvıya oranla daha az statik basınca sahiptir. Bunun bir sonucu olarak durgun olan sıvı yüksek hızlı sıvıya oranla daha yüksek statik basınca sahip olur. Bu sebeple düşük hızla hareket eden sıvı yüksek hızla hareket eden sıvı jeti içerisine doğru çekilir. Bu prensip, yüksek hıza sahip akışkan jetinin düşük hıza sahip olan akışkanı sürüklediği ve onun büyük miktarlarını gerçek bir şekilde pompaladığını göstermiştir. Bundan dolayı karıştırma cihazlarının pek çoğu, yüksek lokal hız meydana getirmeyi esas alarak projelendirilmiştir. Bunlar kendi türbülanslarını, karıştırılması istenen kütlenin tüm uzunluğu boyunca taşıyacak şekilde yönetilirler. Şekil 3.4'te yüksek hızlı sıvı jetinin, kendisi ile karışabilen ve büyük bir kütleyle sahip olan statik sıvı içerisinde girişini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 3.4 Hareketsiz sıvı kütlesine giren sıvı jetinin şekli (J.H.Rushton ve J.Y.Oldshue)

Jetin çekirdek (göbek) kısmında sabit hızlı bir bölge vardır. Jetin dış kenarları boyunca, jeti meydana getiren sıvı ile kendisini çevreleyen sıvı hızları arasında büyük bir fark olduğu için şekilde gösterilmeyen koparılmış girdaplar meydana gelir. Statik basınç farkı sebebi ile yavaş hareket eden sıvının jete katılması sebebi ile jetin hacmi artar ve buna ilaveten; jetin azalan hızı, jetin genişlemesine sebep olur. Kararlı bir su jetinin hareketsiz olan bir su içerisine sokulması yeni bir jetin oluşumuna sebep olur ve bu jetin sınırları eksenden, eğimi 1 ile 5 olacak şekilde bir açı ile uzaklaşır. Bu şekildeki bir jet, kendisini saran suyu aşağıdaki eşitlikte belirtilen miktarda sürükleyerek taşır.

$$Q_e = (0,23 \cdot X / D_e - 1) \cdot Q \quad (1.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte :

Q_e : Sürüklenen suyun miktarı

X : Jet ekseni boyunca uzaklık

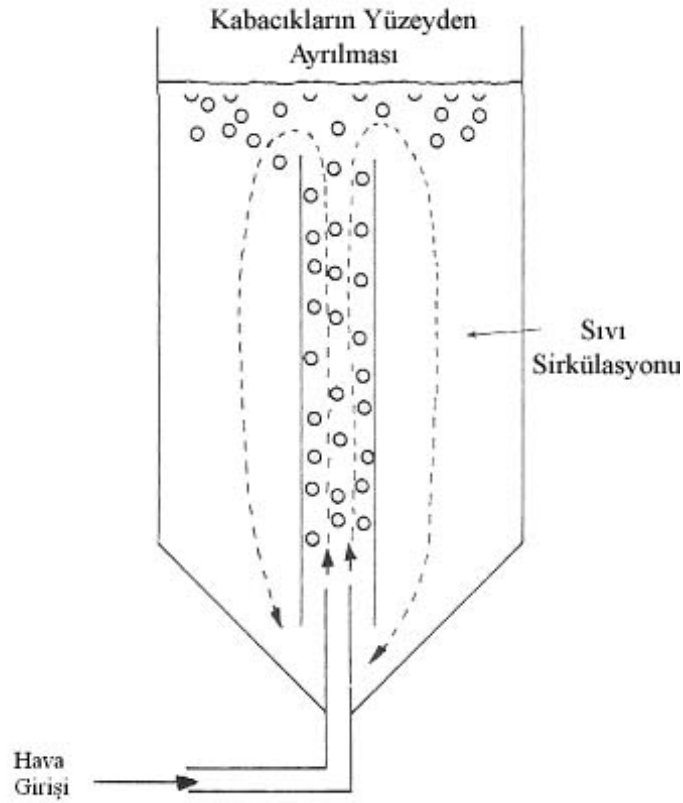
D_e : Jetin başlangıçtaki çapı

Q : Giriş noktasında, jet içerisindeki akım debisi

Q_e , Q , D_o ve X uygun olan birimlerle ölçülmelidir. Bu bağıntıya göre jet çapının 20 ile 80 katı kadar uzaklıklar için sürüklenme gücüne sahiptir. Bu içerisinde hareketsiz sıvıyı bulunduran tank büyüklüğüne oranla, jetin hız ve hacmine bağlıdır.

Geniş tankların kullanıldığı durumlarda, çok çeşitli nozüller kullanılabilir. Bu gibi sistemlerin işletme karakteristiği detaylı bir biçimde incelenmektedir.

Benzer bir durumda, tankın mekanik tahrik uygulamalarında gaz injeksiyonuyla karıştırma yapılmaktadır. En basit durumda, kabarcık sütunları, delikli bir ayırıcı plaka yardımıyla sıvı yüzeyine doğru kabarcıklı hareket oluşur ve bu da karıştırma etkisi yaratır. Eğer sıvı sirkülasyonu gerçekten çok önemliyse bir hava motoru akuple edilerek daha etkin bir karıştırma sağlanmaktadır. Bir tip bir sistem şekil 3.5'te gösterilmektedir. Ayrıca çok çeşitli geometrilere göre değişik tipte jetler hazırlamak da mümkündür.



Şekil 3.5 Hava tahrikli ve akım kırıCılı sistem

3.4.2 In-Line Statik Mikserler

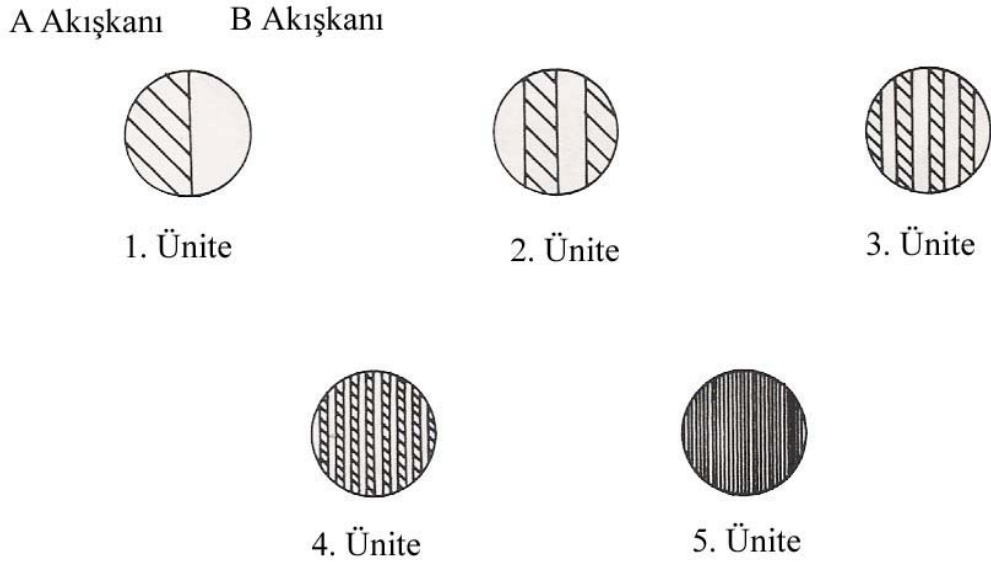
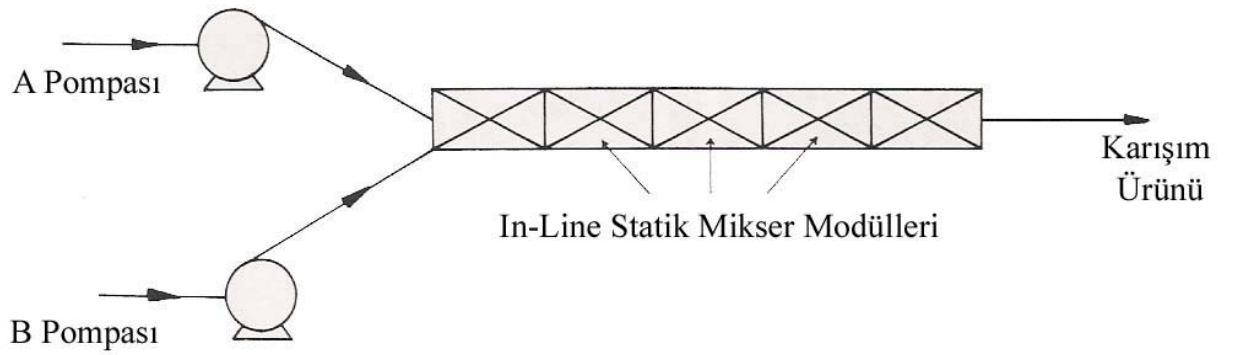
Son yıllarda birçok karıştırma ve dispersiyon işlemi için değişik tipte in-line statik mikserler geliştirilmektedir. Bu tip mikserler günümüzde maliyetleri açısından çok uygundur. Bu durumda çalışma prensibi açısından bu tip mikserler birbirine benzerken, geometrik olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir.

Şekil 3.6'da sabit üniteler bir boru üzerinde monte edilmişlerdir. Bu boru hattı 2 pompa vasıtasıyla tahrik edilmektedir. Viskozitesi yüksek olan akışkanların kullanıldığı bu gibi durumlarda laminar rejimin sağlanması için akışkan dilimlere ayrılarak eş dağılım sağlanmak istenmektedir. Karışım elemanlarının artışı ile birlikte ürün karışımında da artış gözlemlenmektedir. İlk karışım özellikleri laminar rejimdeki akışkanların akış debisine ve akışkana bağlı olmaktadır.

Sıvı-sıvı veya gaz-sıvı dispersiyonunda, türbülanslı rejim gerektiğinden yukarıda bahsi geçen mekanizma yerine başka bir yol izlenmektedir. Gaz kabarcıklarının sıvı içerisinde dağılmasıyla birlikte yüksek kütle transfer yüzeyi ortaya çıkar ve yüksek kesme gerilmeleri

açığa çıkar. Bu gerilmeler sistemdeki basınç düşüşü ve mikserlere doğru akışkan debisine bağlıdır. Buna bağlı olarak daha küçük basınç düşüşlerinde akışkan debisi artacaktır. Laminar karışım durumunda eleman sayısı arttıkça basınç verimi düşmektedir.

Statik mikserlerin kullanım avantajı sürekli bir biçimde çalışması ve küçük hacim kaplamasıdır. Üniteler 1 cm'den 0,5 m'ye kadar değişebilmektedir.

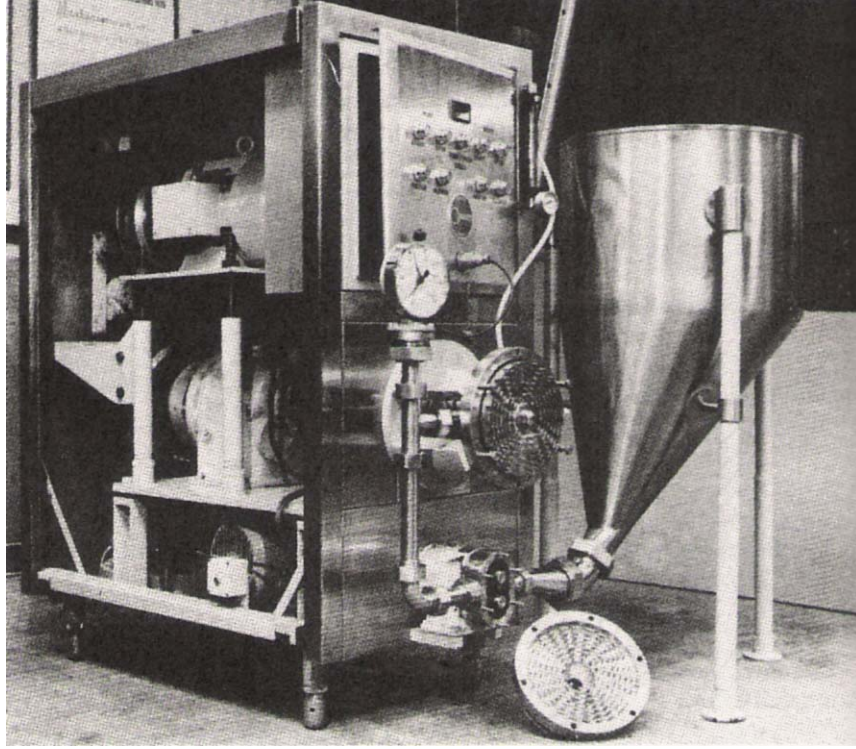


Şekil 3.6 In-line statik mikser

3.4.3 In Line Dinamik Mikserler

Sürekli üretim istenen, dispers katılar, emülsiyonlar, sabit köpükler, vb.. gibi akışkanların kullanıldığı bu gibi durumlarda çok çeşitli in-line dinamik mikserler kullanılabilir. Bu sistem yüksek hızın oluşturulduğu bir rotor ve beslenecek olan malzemenin devamlı olarak pompalandığı bir sistemden oluşmaktadır. Sıvının bulunduğu kapta dispersiyon işlemi için gerekli olan kesme kuvveti yaratılır.

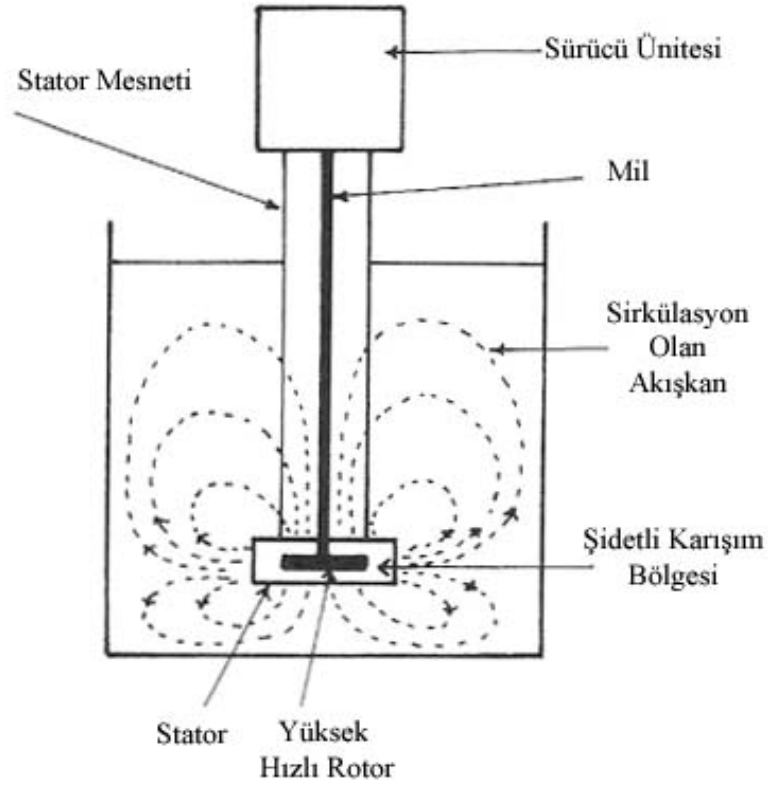
Genellikle dispersiyon ünitesi kendi kendine çok ani diferansiyel basınç yaratır; pompalama ünitesinin ayrılmasıyla giriş materyalleri beslenir. Fakat, bazı in-line dinamik mikserler pompa hareketi gerekmeksizin çalışabilmektedir ve bu durumda pompaya ihtiyaç duyulmaz.



Şekil 3.7 In-line dinamik mikser (E.T.Oakes, Macclesfield, İngiltere)

3.4.4 Yüksek Hızlı Dispersiyon Ünitesi

Bu tip mikserler in-line dinamik mikserlerle benzerlik göstermektedir. Fakat bu durumda sistemde bir kap bulunmaktadır. Karıştırma bir rotor içinde yüksek hızlı motor ve stator için ihtiyaca göre uygun geometrik dizaynlar yapılabilmektedir. Akışkan doğrudan üniteye emilir ve kap içersinde sirkülasyon modeli oluşturmak için yüksek hız ile dışarıya atılır.

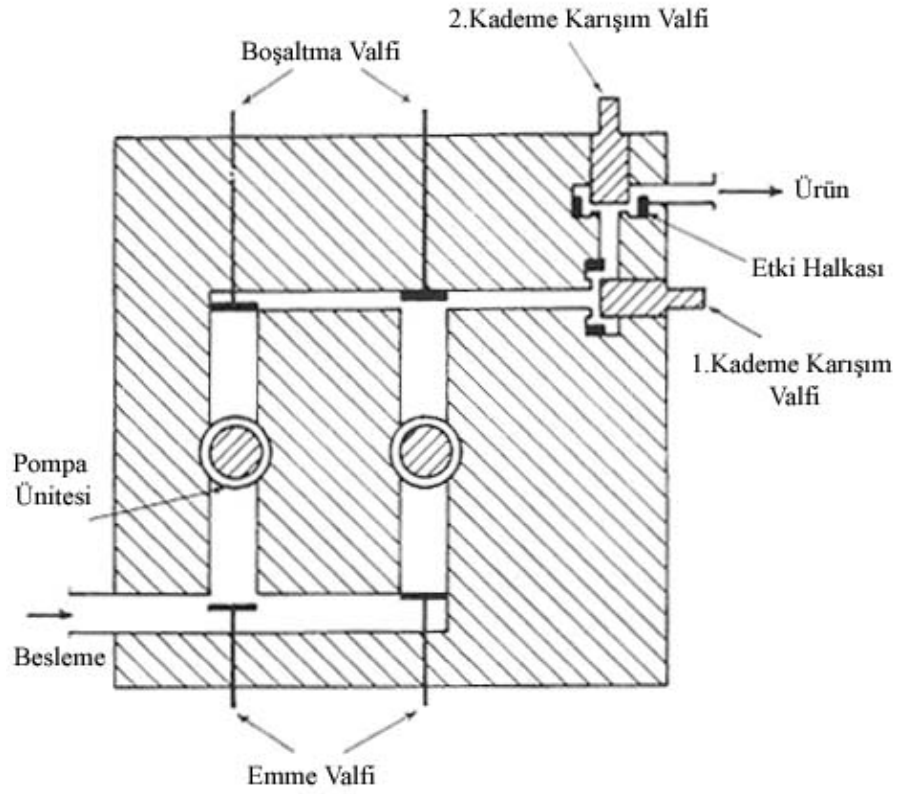


Şekil 3.8 Yüksek hızlı dispersiyon ünitesi

3.4.5 Valf Homojenizerleri

Pompa bölgesindeki malzemelerin çoğu, aynı zamanda ayarlanabilir küçük bir orifis içinde dispersiyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Orifise doğru hareket eden bu kuvvette yüksek basınç oluşturulmakta (34-550 bar) ve akışkan yüksek kesme kuvvetlerini yenerek sürekli bir emülsiyon ve kolloid süspansiyon üretmektedir. Bununla birlikte kesme hareketi kavitasyona neden olabilmekte parçacık etkisi önem kazanmaktadır.

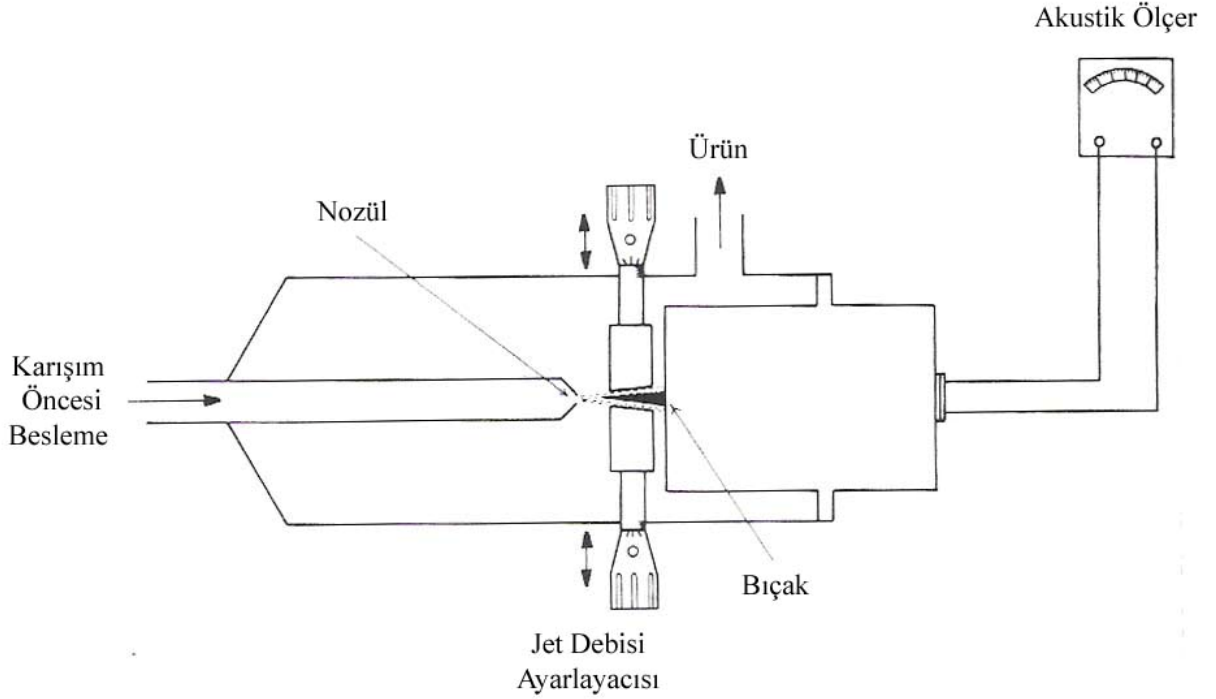
Tek ve çok basamaklı üniteler de yapmak mümkündür. Tipik olarak yüksek basınçlı ünitelerde, 300 bar ve 7000 lt/h de 60 kW motor gerekebilmektedir.



Şekil 3.9 Valf homojenizeri

3.4.6 Ultrasonik Homojenizerler

Ultrasonik homojenizerlerin çalışma prensibi şekil 3.10’da gösterilmektedir. Yüksek basınçta pompalanan malzeme (150 bar’a kadar) özel olarak dizayn edilmiş orifisten geçerek yüksek hıza erişmekte ve ultrasonik frekanslı titreşim yaratmaktadır. Bu da yüksek seviyede kavitasyon yaratarak, yüksek kalitede emülsiyon ve dispersiyon üretmemize yardımcı olmaktadır.

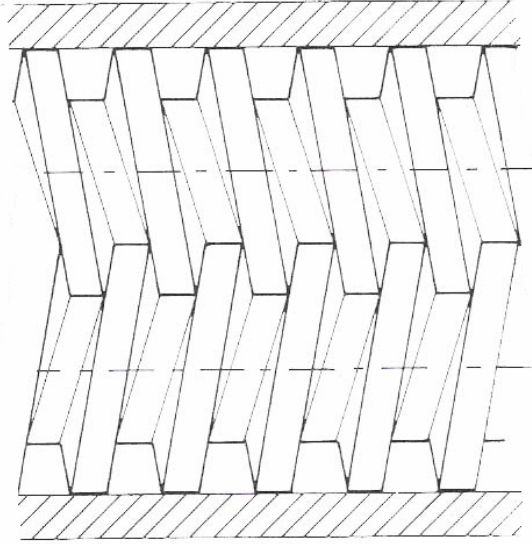


Şekil 3.10 Ultrasonik Homojenizer

3.4.7 Ekstrüderler

Plastik endüstrisindeki karıştırma elemanları, genellikle tek veya ikiz vidalı ekstrüderlerdir. Burada beslenen malzemeler polimer veya granül halindeki tozlarla birlikte stabilizeler, plastizerler, renk pigmentleri ek bir ekipman olarak kullanılmaktadır. Ekstrüderlerin kullanma esasları, polimerin eriyerek katılarla beraber karışmasıdır. Ekstrüde olan malzeme yüksek basınçta transfer edildiğinden dolayı hareketinin kontrol edilmesi zorunludur.

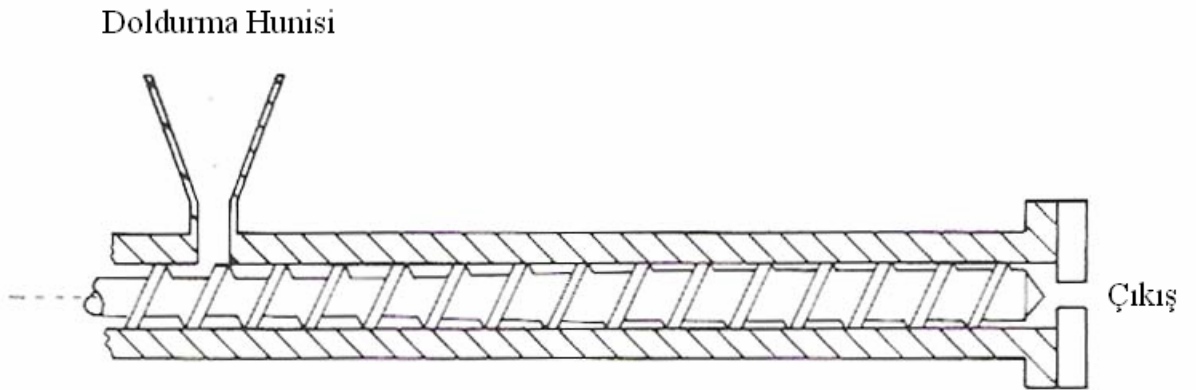
Şekil 3.12'deki vidalı ünite, vida ile yüzey arasında oluşan kesme şiddetli değildir. Burada karıştırma dönel vidalı makinenin efektif çalıştırılmamasından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.11'de rotorun kapalıya yakın olduğu bölgede kesme gerilmesinin çok yüksek olduğu görülmektedir. İkiz vidalı ünitelerden alınan ürünler, tek vidalı sistemlere oranla oldukça kaliteli olmakta ve maliyetler açısından da oldukça uygundur.



Şekil 3.11 İkiz vidalı ekstrüder

Tek vidalı sistemlerde performansını artırmak mümkündür. Burada tek vidalı makineler kullanılabildiği gibi, ayrıca ek karıştırma elemanı ekleyerek veya önceden anlatılan in-line tip statik mikserler de kullanılabilmektedir. Pratikte bunun gibi birçok cihaz kullanılabilir. Burada kıyas edilmesi gereken cihaz ise tek vidalı sistemlerdir. Fakat, güç ihtiyacına göre ek maliyetler de devreye girmektedir.

Gıda endüstrisinde de bu tip değişik düşünceler ortaya çıkmaktadır. Yüksek viskoziteli akışkanların kullanıldığı tek veya ikiz vidalı ekstrüderler ile ilgili uygun teorik gelişmeler günden güne devam etmektedir.



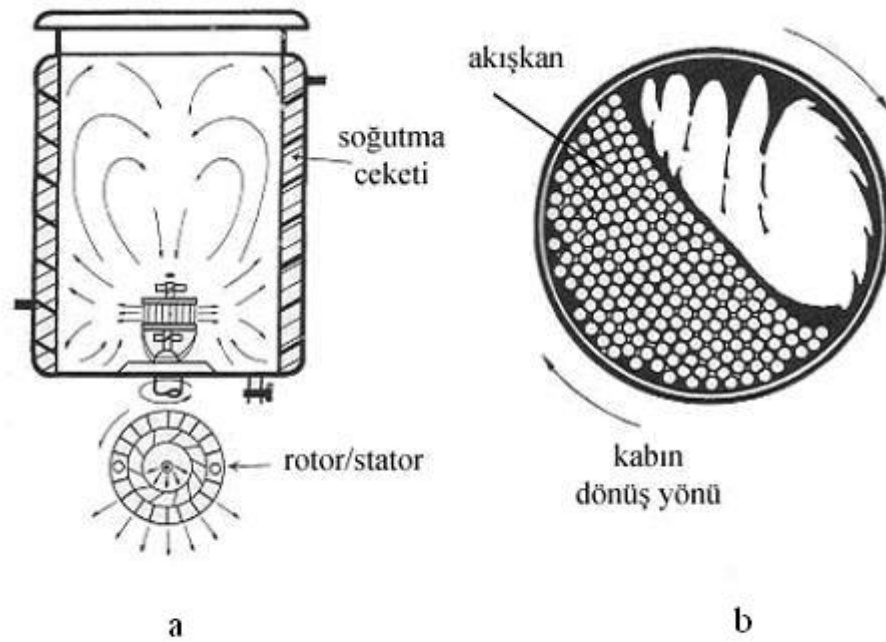
Şekil 3.12 Tek vidalı ekstrüder

3.4.8 Öğütücü Değirmen Tipi Karıştırıcı

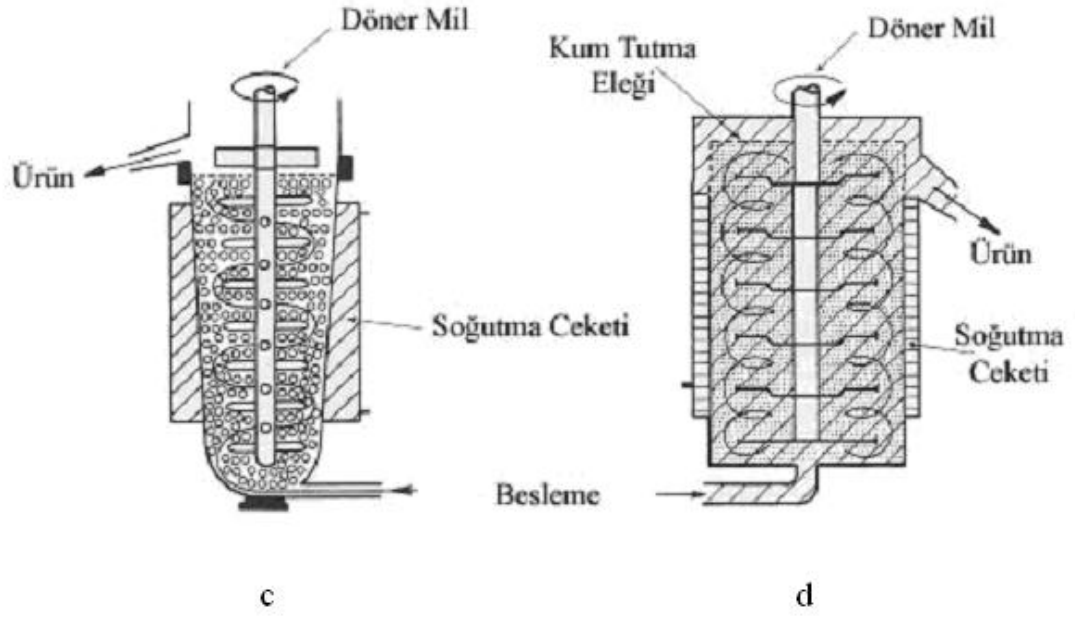
Saf katılara ve birbiri ile karışmayan sıvıların dispersiyonunda uygulanan çeşitli işlerde mekanik tahrikli kaplar kullanılmaz. Çünkü, tahrik edilen akışkanlar arasında yüksek kesme gerilmeleri yaratmak mümkün değildir. Gerekli olan dispersiyon kalitesinde veya stabil emülsiyonda yüksek kesme kuvvetleri oluşmaktadır.

Bu gibi durumlarda çok çeşitli öğütücü değirmen tipi karıştırıcılar kullanılabilir. Değişik tipteki bu çok çeşitli öğütücü değirmen uygulamaları, ve onların çalışma prensibi, şekil 3.13. ve şekil 3.14'de gösterilmektedir.

Bir rotor-stator vasıtasıyla dönme hareketi sağlanırken ayrıca kap cidarında soğutma ceketleri de bulunmaktadır. Normal karıştırıcılardaki gibi tam bir radyal veya aksiyal akım hatları oluşmaz.



Şekil 3.13 Farklı tipteki öğütücü değirmen örnekleri (a-kinetik dispersiyon tipi b-silindirik değirmen tipi)



Şekil 3.14 Farklı tipteki öğütücü değirmen örnekleri (c-aşındırıcı tip d-kumlu/damlamalı tip)

4 KARIŞIMLARIN SINIFLANDIRILMASI

4.1 Gaz-Sıvı Karışımları

Gaz-sıvı karışımları proses endüstrisinde pek çok kullanım alanına sahiptir. Genellikle gazların birbiri ile reaksiyonunda, gazların sıvı içerisinde absorpsiyonunda ve kimi zaman sıvı içerisinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonla da, gazların içerisine su püskürtüp nemlendirilmesinde ve sıvının içerisinden gazın ayrıştırılmasında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu tür karışımlar genel olarak, gazı türbin altına enjekte ederek yapılır. Gazın bir pervane altına gönderilmesi bir fayda sağlamaz. Çünkü pervaneden doğan akım eksenal ve aşağıya doğrudur.

Tamamı bu yönde olmamakla beraber onunla ilgili bulunan eski bir metot ise şu şekilde uygulanır. Gazın tank içerisinde bulunan sıvıya delikli bir boru ile gönderilmesi şeklindedir. Bu metot sadece yetersiz olmakla kalmayıp hem karışma için uzun bir zamana ihtiyaç gösterir ve hem de yukarıdaki metotlardan daha fazla kuvvet gerektirir.

Bu bağlamda her dizayn için değişik öncelikler bulunmaktadır. Örneğin, atık suyun havalandırılmasında veya fermantasyon uygulamalarında, karışım seyreltik ve reaksiyon yavaştır. Bu tip sistemde geniş karışım tankları kullanılmakta ve enerji verimliliği önem kazanmaktadır. Klorlama ve sülfatlamada reaksiyonlar hızlı olmakta ve gazlar çok iyi çözünebilmekte, ısı ve kütle transferi açısından yüksek hassasiyete sahip olmakla beraber temas süresi çok kısa olmaktadır.

Çeşitli temel endüstri uygulamalarında, oksidasyon, hidrojenasyon, ve biyolojik fermantasyon gaz ve sıvı karışımları ile yapılmaktadır. Hidrojenasyon uygulamasında; gazların çözünme özelliği daha düşük kalmakta ve buna karşılık temas süresi daha uzun olmaktadır. Gazların resirkülasyonu istenen durumlarda, karışım örnekleri ve katı süspansiyonu önem kazanmaktadır. Genellikle reolojik olarak kompleks yapıdadırlar. Bu tip karışım proseslerinde sıvı içerisinde gaz dağılımı kabarcık teşekkülü ile beraber olmaktadır. Gaz ile sıvı arasında dağılım gerçekleştirirken aynı zamanda kimyasal reaksiyonda gerçekleşebilmektedir. Bu tip gaz dispersiyonu, daha önce gördüğümüz katı-sıvı arasında meydana gelen kristalizasyon prosesinde benzerlik göstermektedir.

Örnekler :

A- Kabarcık sütunları oluşturma : Kabın tabanından sıvı içerisine bir boru vasıtasıyla gaz girişi yapıp kabarcık sütunları oluşmaktadır.

B- Tabakalı sütun oluşturma : Her sütunda gaz disperse olup daha sonra serbest kalmaktadır.

C- Mekanik Tahrikli Kaplar : Pervane tank içerisinde (genelde tank içerisinde akım kırıcı bulunmakta) dönerek etkin bir kütle transferi yaratmaktadır.

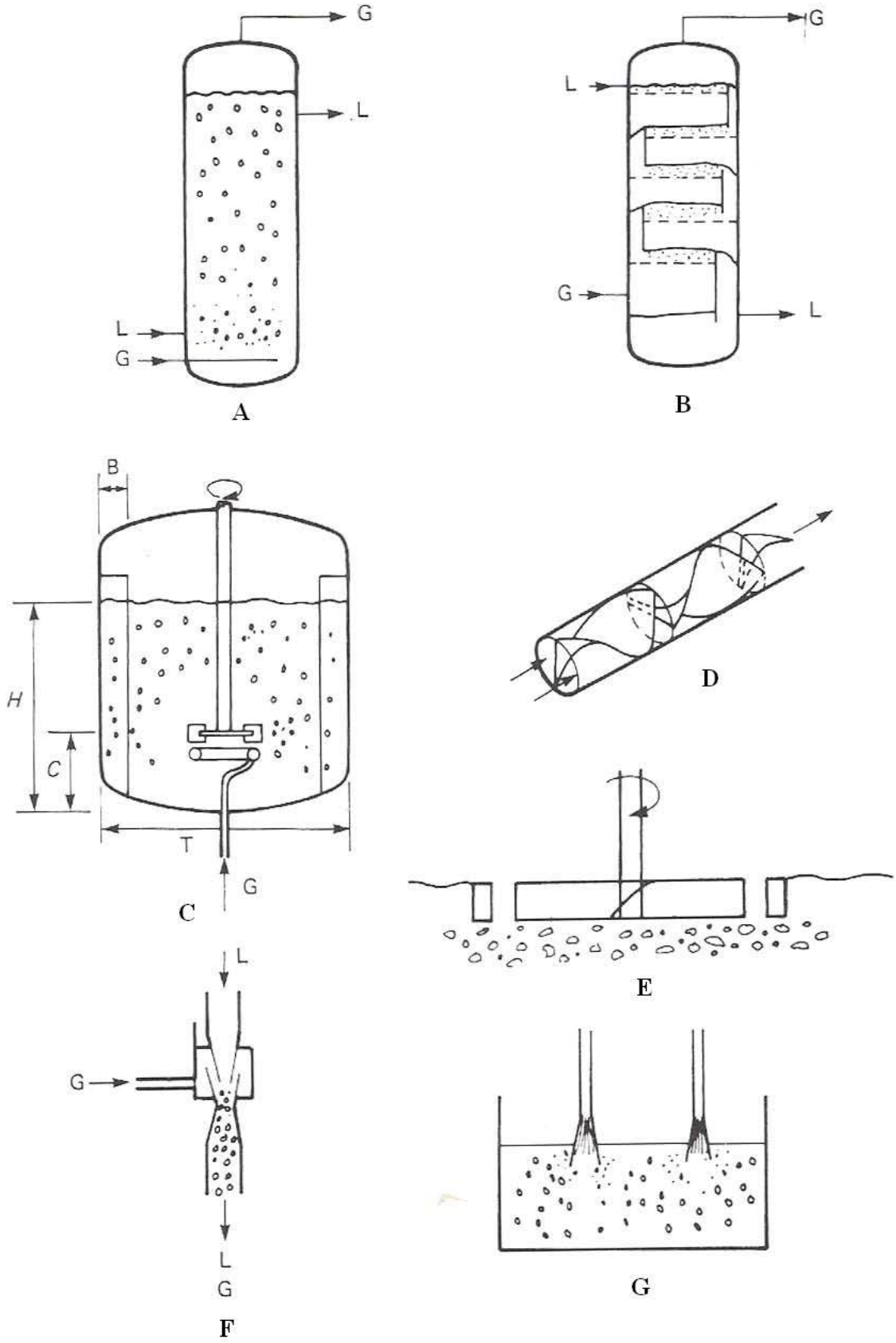
D- In-Line Statik Mikser : Karışım enerjisi akışın kendisi tarafından kaynaklanmaktadır.

E- Yüzeyi Havalandırma : Sıvı yüzeyine yakın bir bölgeye karıştırıcı pervane konur, ve hareketle sıvı yüzeyine doğru bir gaz geçişi olur.

F- Jet Püskürtücü : Bir boru içerisindeki sıvı akışıyla beraber gaz emilir, oluşan türbülansın şiddetine göre disperse olur.

G-Püskürtme Jeti : Gaz sıvı yüzeyine bir boru vasıtasıyla püskürtülerek karışım sağlanmaktadır.

Düşük viskozitelerde veya Reynolds sayısında, $Re \geq 10000$, yüksek ısı ve kütle transfer katsayısı ile iyi bir karışım elde etmek için türbülans gerekmektedir. Şekil 4.1'de bu tür cihazlar gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Gaz-sıvı karışım tipleri

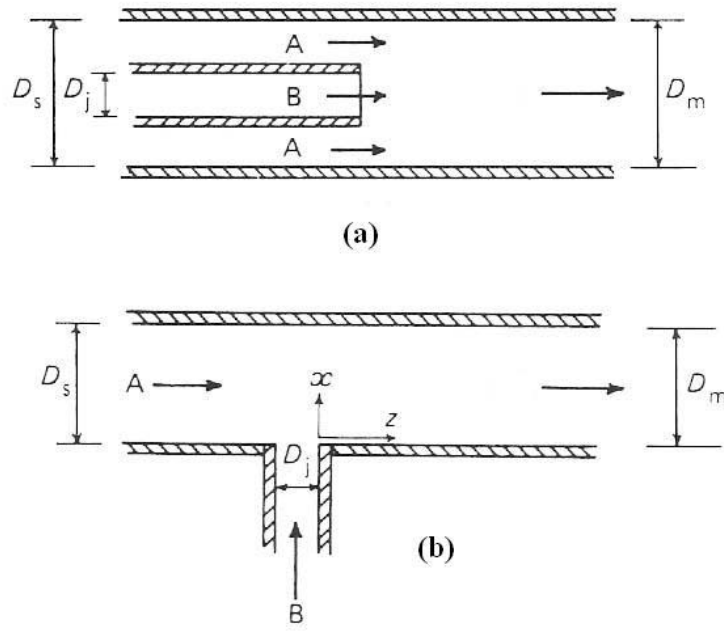
4.2 Sıvı-Sıvı Karışımları

4.2.1 Karışabilir Sıvıların Karıştırılması

Statik cihazlar ile yapılan akıcı karışımlar, bir boru hattı içerisinde türbülanslı akım gerçekleştirmek suretiyle yapılan ucuz yöntemlerdendir. Bazı tipik örnekleri şekil 4.2a,b'de gösterilmiştir. Basit tip karıştırıcı (b) 10-20 mm boru ebadı ile verilmiştir. Bu karıştırıcılar düşük viskoziteli akışkanların karışımı için uygundur (≤ 50 Ns/m). Ancak akış türbülanslı, akışkanların yoğunlukları ve akış oranları birbirine yakın olmalıdır.

Enjeksiyonlu karıştırıcılar (b) de gösterilmiştir. Normal akış yapan bir akışkanın bir akışkanın içine eş eksenli bir boru sayesinde ikinci bir akışkan gönderilerek karışım sağlanır. Şekil 4.2a'da ise halkalı şekilde düzenlenmiş jetin içinden geçirilen akışkan boru içindeki diğer akışkanla karıştırılabilir. Bu cihazlar diğerlerine göre daha düşük akışlarda kullanılır. 80 mm boru ebadına kadar tatmin edicidirler. Karışımın istenilen özelliklerine haiz olması için karışım uzunluğunun uygun seçilmesi gerekmektedir.

Karıştırma metodu, karıştırılmaları istenilen sıvıların boru içerisinde türbülans meydana getirmesine bağlıdır. Türbülans, sıvının birbirine komşu tabakası arasındaki hız farkının bir fonksiyonudur. Hemen hemen hareketsiz duran bir sıvı ile temasta bulunan diğer bir sıvı son derece hızlı bir şekilde hareket edecek olursa temas yüzeyinde yüksek bir hız farkı meydana gelir ve bu iki iş yapar. Bunlardan birincisi çekim kuvveti (doğrudan doğruya dv/dy ile orantılıdır.) olup hızla hareket eden sıvıyı kısımlara parçalar ve bu parçaları, anafor veya girdap halinde daha az hızla hareket eden alanlara gönderir. Bu girdaplar oldukça uzun bir zaman kalır ve sonunda, enerjilerinin ısıya dönüşmesi sebebi ile kendi kendilerini dağıtırlar.



Şekil 4.2 Statik karıştırıcılar

4.2.2 Farklı Özelliklere Sahip Sıvıların Karıştırılması

Bu tür sıvıların karıştırılmasında aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır.

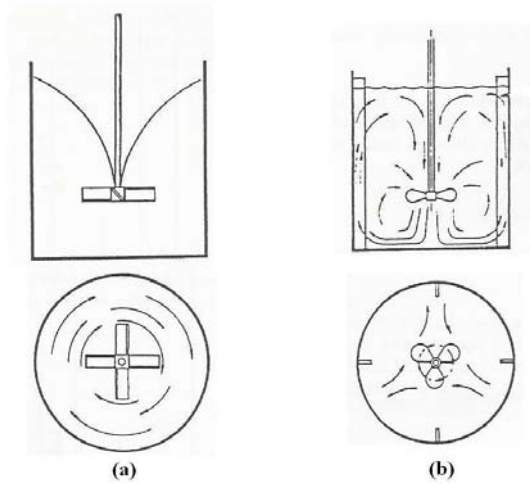
- Sürekli operasyonun miktarı
- Doğal metotlar : Karıştırılabilir sıvılar, eriyiklerin hazırlığı karıştırılamaz sıvıların dağılımı
- Gerekli karışım sıcaklık derecesi
- Sıvıların fiziksel özellikleri (özellikle viskoziteleri)
- Diğer işlemler ile birleştirilmiş karışım; Reaksiyon, Isı transferi

Bu faktörler dikkate alınarak gerekli karışım sağlanabilir. Düşük viskoziteli akışkanların devamlı karışımları için mikserler kullanılabilir.

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

Sıvıların karışımını sağlayan cihazlar, çarkları, deniz taşıt araçlarına ait pervanelere benzeyen pervaneleri ve türbinleri kapsayacak şekilde standart hale getirilebilir. Basit çarklar son zamanlarda oldukça az, genel olarak sadece ufak işlerde kullanılmaktadır.

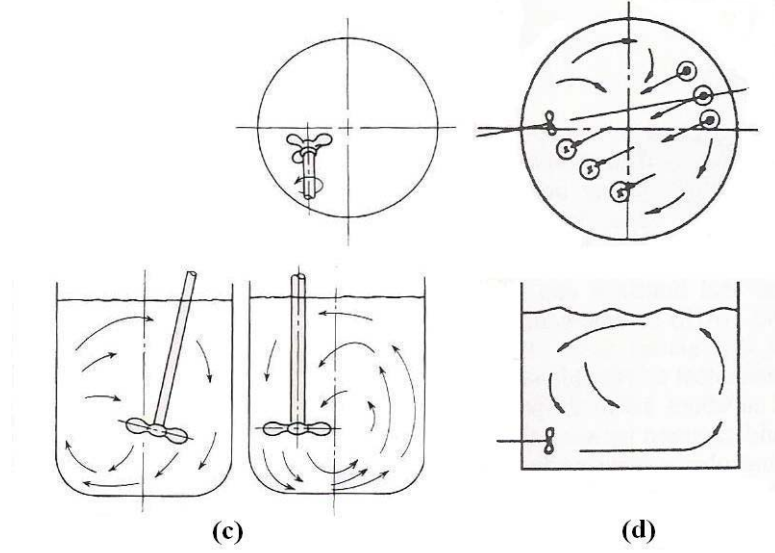
Pervanelerin yerleştirilmeleri ile ilgili farklı metotlar şekil 4.3'te gösterilmektedir. Tank merkezine dikey olarak yerleştirilmiş bir pervaneden ve tank kenarlarına akım kırıcı konulmamış bir karıştırma tankından oluşan düzenek iyi sonuç vermez. Çünkü hemen hemen sadece bir dönme hareketi meydana getirir. Bu durum pervane çevresindeki karışıma hava girmesine ve pervane çalışmasının yavaşlamasına sebep olur. Daha iyi sonuç veren bir düzen tank kenarlarına şekil 4.3b'de gösterildiği gibi akım kırıcı koymaktadır. Genel olarak bunların sayısı dört olup genişlikleri tank çapının 1/10 ile 1/12 si kadardır.



Şekil 4.3 Pervane karıştırıcı tipleri (a-mil tank merkezinde dik ve akım kırıcı yok, b-mil tank merkezine dik ve akım kırıcı var)

Sıvıların karıştırılmaları halinde, bu akım kırıcılar tank duvarına yapışmışlardır. Katıların sıvılar içerisinde süspansiyon durumuna getirilmeleri istenilmekte ise, tank duvarı ile akım kırıcı arasında yaklaşık olarak 2-3 cm'lik bir açıklık bırakılacaktır. Pervanenin dik veya yatık olarak fakat merkezden farklı bir noktaya yerleştirilmesi çok iyi sonuç verir.00 Şafta yukarıdan bakıldığında dönme, saat yönünün aksi yönündedir. Hem düşeyle meydana getirilen açı hem de merkezden uzaklık büyük önem taşır. Çok büyük tanklarda pervanenin

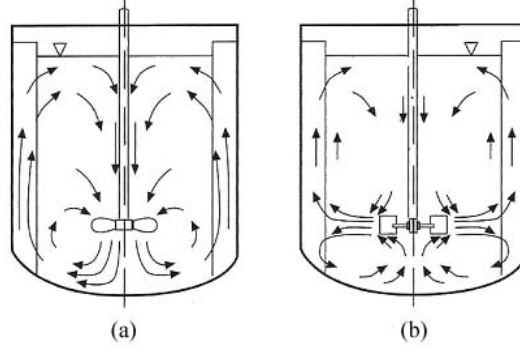
yandan girişi hemen hemen standart bir hal almıştır. Bunlar daima tank yarıçapı ile bir açı yapacak şekilde yerleştirilirler ve bu açı büyük önem taşır.



Şekil 4.4 Pervane karıştırıcı tipleri (c-akım kırıcı yok, pervane kenara yerleştirilmiş, d-büyük tanklar için yanıl giriş düzeni)

Şekil 4.5'te ise karışımda meydana gelen akış modelleri gösterilmiştir. Bu akışlar radyal ve aksenal olarak sınıflandırılabilir. Karışım, karıştırıcı vasıtasıyla oluşan dolaşık girdapların hareketi ile, mikroskobik ölçekte sıvının hacimsel akışı ile meydana gelir. Hacim akışı katıların süspansiyonu ve karıştırılabilir sıvıların karıştırılmaları için, üstün karıştırma olaylarındandır. Türbülanslı karışımın, kütle transferi ve ısı transferinde önemli bir yeri vardır, proses kontrol imkanı sağlar.

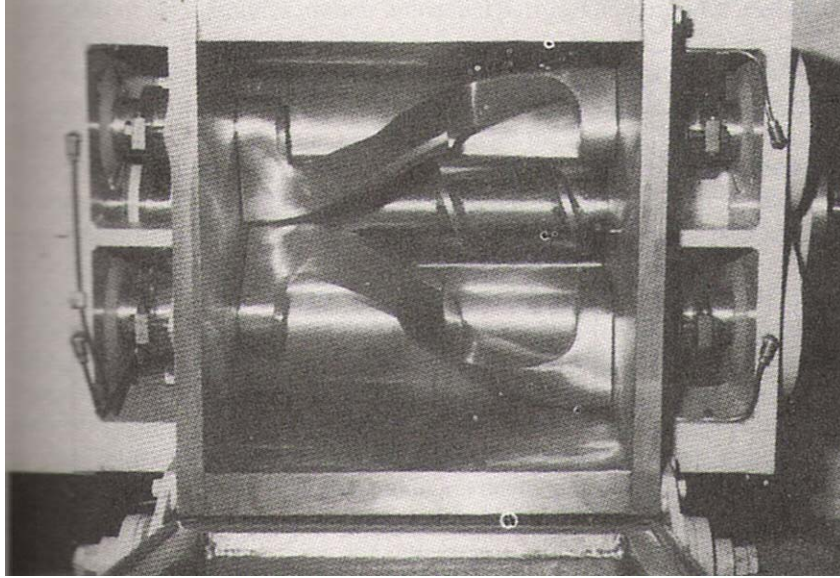
Düz kanatlı türbinler esasen radyal akışlı aletlerdir. Bunlar karıştırıcı çarkından ayrılan akışkanın baskın doğrultusuna göre isimlendirilirler. Farklı özelliklere sahip sıvıların karıştırılmalarında kullanılmakta olan çark çeşitlerine, karıştırıcı ekipmanlar kısmında değinilecektir.



Şekil 4.5 Karıştırıcı Akış Tipleri (a-Aksiyal Akış b-Radyal Akış)

4.3 Viskoz Maddelerin Karıştırılması :

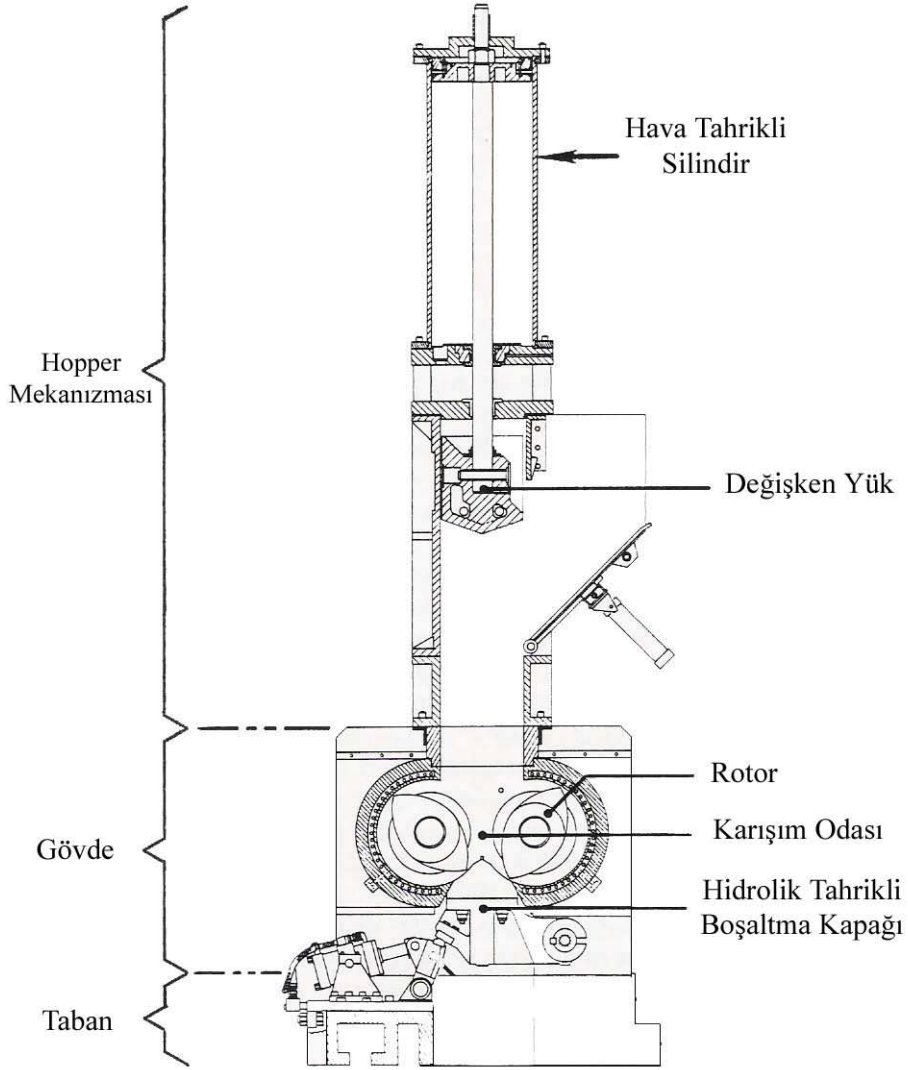
Bu durum için pek az sistematik bilgi vermek mümkündür. Şekil 4.6’da gösterilen viskozitesi çok yüksek maddeler için yoğurma makinesinin kullanılması oldukça yaygındır. Yaklaşık olarak yarı silindirik bir tabanı olan üstü açık bir tekneden meydana gelmiştir. Bu teknenin kendilerine Z şekli verilmiş iki yatay bıçak dönmektedir.



Şekil 4.6 Yoğurma makinesi

Bu yapı şekli genellikle sigma kanat olarak adlandırılır. Bu bıçaklar, bir bıçak tarafından döndürülen madde hemen onu izleyen bıçak tarafından alınıp döndürülebilecek şekilde tasarlanmış olup, çok fazla güç kullanılacak şekilde projelendirilmiştir.

Isıtmak veya soğutmak amacıyla bir ceket ile sarılmış olabildikleri gibi uçucu karakterdeki çözücülerin kaybolmalarını önlemek amacı ile tamamıyla kapalı olarak da yapılabilirler. Bu cihazlar her zaman süreksiz olarak çalışırlar ve bu sebeple cihazların boşaltılması makine gücü ile çalışan diğer cihazlar yardımıyla yapılır. Şekil 4.6'da böyle bir cihaz görülmektedir. Bıçakların şekil ve durumunu göstermek amacı ile cihaz boşaltma durumunda çizilmiştir.

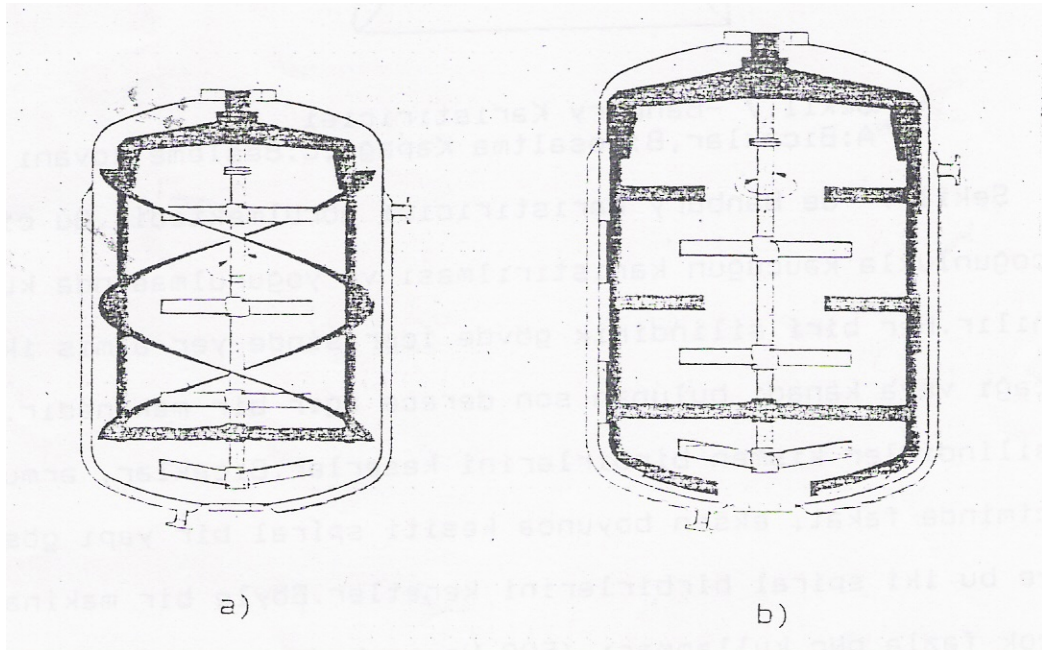


Şekil 4.7 Banbury Karıştırıcısı (Farrel Corp., Ansonia, CT,)

Şekil 4.7'de Banbury karıştırıcısı görülmektedir. Bu cihaz çoğunlukla kauçuğun karıştırılması ve yoğrulmasında kullanılır. Her biri silindirik gövde içerisinde yer almış iki bıçağı veya

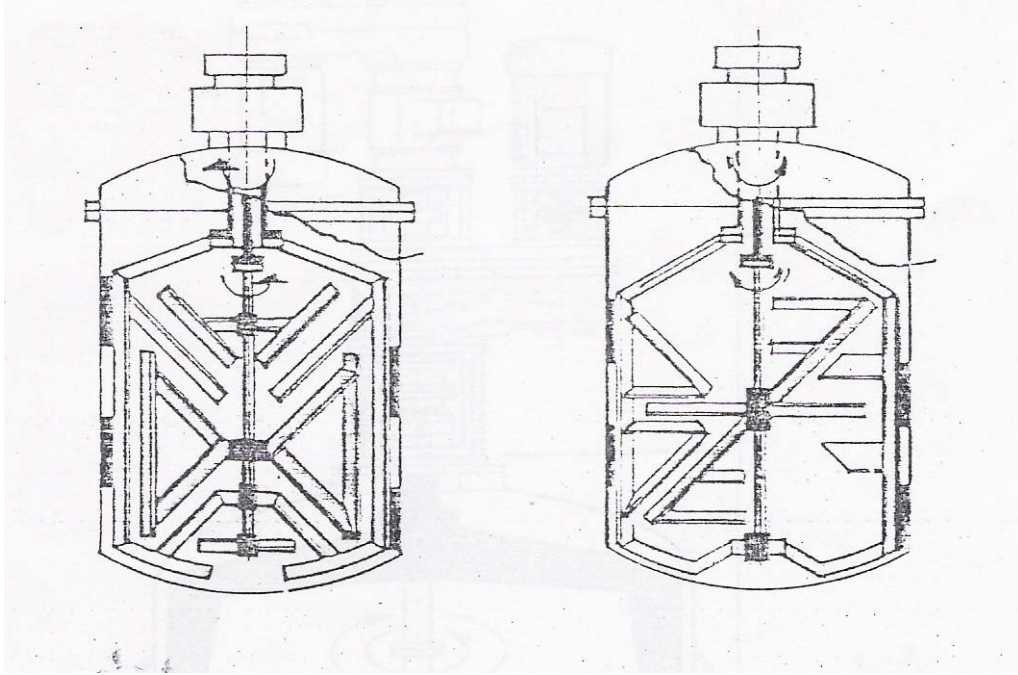
kanadı bulunan son derece ağır bir makinedir. Bu silindirler kısmen birbirlerini keserler. Bıçaklar, armut biçiminde fakat, eksen boyunca kesiti spiral bir yapı gösterir ve bu iki spiral birbirlerini kenetler. Böyle bir makinenin çok fazla kullanılması (500 Hp'ye kadar) sebebiyle, silindir duvarları su püskürtücülerle soğutulur. Bıçakların altında yer alan ağır kayan bir yapı boşaltmayı sağlar. Hidrolik bir silindir tarafından tutulan izleyici bir ağırlık, maddenin makine içerisinde tutulmasını temin eder.

Şekil 4.8'de viskoz maddelerin karıştırılmasında kullanılan değişik dizaynları karıştırıcılar görülmektedir. Bu tür karıştırıcılarda iki adet tahrik sistemi mevcuttur. İç kısımdaki kanatlar ile dış kısımdaki kanatlar birbirine ters yönde dönmektedirler. Genellikle kimya sektörlerinde, ilaç sanayinde, kozmetik sanayinde, yıkama acentelerinde, boya-vernük yapıştırıcı imalatında, makine yağı imalatında, gıda sanayinde, kağıt endüstrisinde kullanılabilirler. Karıştırıcı tankı çevresindeki gömlek içerisinde karıştırılan malzemenin fiziksel özelliklerini düzenleyecek şekilde sıcak veya soğuk akışkan gönderilir. Böylece karışımın daha düzenli olması sağlanmış olur.



Şekil 4.8 Viskoz Madde Karıştırıcıları (a-içi düz, dışı spiral kanatlı karıştırıcı b-içi düz, dışı düz kanatlı karıştırıcı)

Şekil 4.9'da da kozmetik, ilaç, boya ve vernük, kurşun dizaynları görülmektedir. Bu tip karıştırıcılarda da iki tahrik mekanizması vardır. İç kısımdaki kanatlar birbirlerine ters yönde dönmektedirler.



Şekil 4.9 Özel Şekilli Karıştırıcılar

Bu tür karıştırıcılarda, kanat sayısının fazlalığı ve yerleştirme tarzı dolayısıyla, düşük hızlarda dahi sirkülasyon performansı yüksek olur.

4.4 Sıvıların Katılarla Karıştırılması :

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

Kristalleştirme ve katı kristalli sıvı reaksiyonlarında, katı partikülleri düşük viskoziteli sıvılar içerisinde çözülebilirler. Mekanik tahrikli karıştırıcı sistemleri kullanarak, katıların çökmesini önleriz ve katı sıvı arasında meydana gelebilecek kütle transferi ve/veya kimyasal reaksiyonu uygun şartlarda sağlamış oluruz. Eğer karıştırma işlemi durdurulursa buna bağlı olarak katı ve sıvı fazlarının yoğunluğuna göre katı partikülleri sıvı yüzeyine çökelebildiği gibi dibe de çökelebilmektedir.

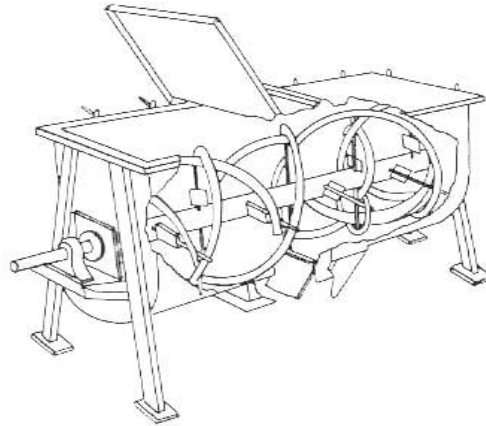
Başka bir yönden olaya bakarsak, küçük partiküllerin yüksek viskoz sıvılarının içinde karıştırılması da söz konusudur. Örneğin: kauçuk içerisine karbon takviyesi buna örnek olarak

gösterilebilir. Burada sıvı-sıvı emülsiyonundaki gibi, ürün stabil, yüksek viskoziteli ve kompleks reolojik yapıdadır. Bu tip prosesler, yüzey ve fiziksel temastan yola çıkarak, kimyasal reaksiyon ve kütle transferi ile çözümler sunmaktadır.

4.5 Katuların Katularla veya Az Miktardaki Sıvılarla Karıştırılması

Bu konuda sistematik bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Sadece çok değişik tipte cihaz kullanmakla kalmayıp aynı amaçla kullanılan cihazların tipleri, birbirlerinden çok farklı endüstri kollarında da aynıdır.

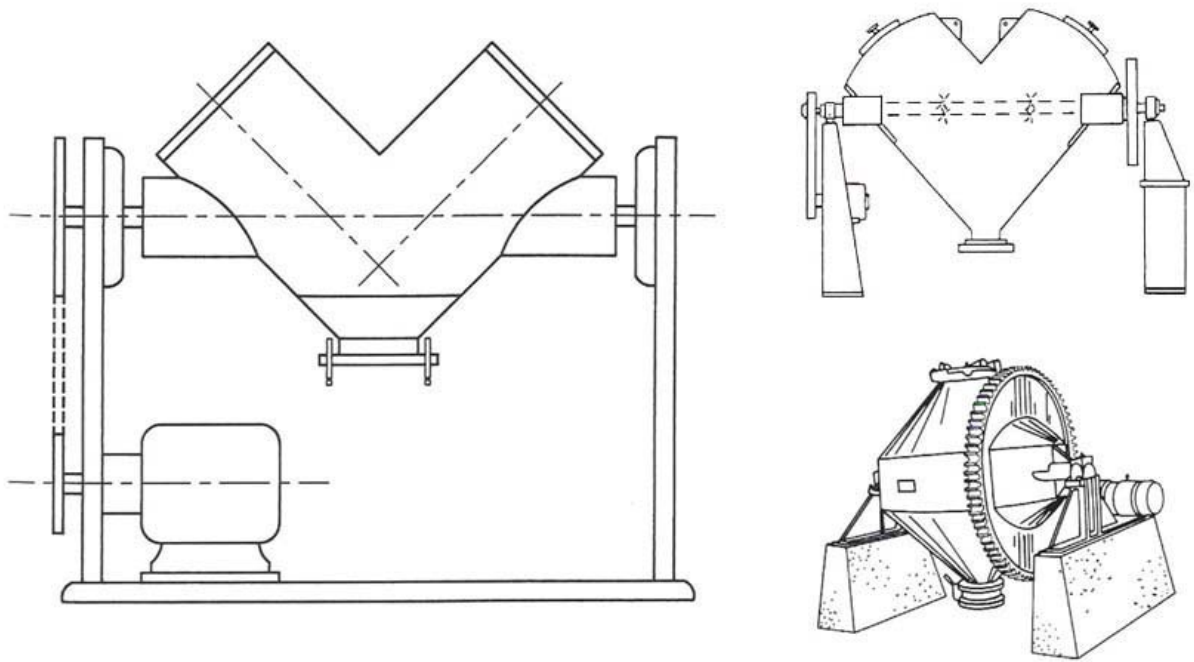
Çok ufak tanecikli kuru tozların karıştırılması halinde maddenin bir yerden diğer bir yere taşınması esnasında vidalı konveyörlerin kullanılmaları iyi bir karıştırma meydana gelmesini sağlar. Bu durumda yeniden bir cihaza ve yeniden bir güce ihtiyaç duyulmaz. Şekil 4.10'daki gibi süreksiz çalışmalar için kuru karıştırıcı pek sık kullanılır. Bu yarı silindirik bir tekneden meydana gelmiş olup toz sızmasını önlemek amacı ile üstü kapatılmıştır. İçerisinde iki veya daha fazla sayıda şeritli spiraller vardır. Spiralin biri sağa, diğeri ise sola döner ve böylece madde tekne içerisinde ileriye ve geriye doğru hareket eder.



Şekil 4.10 Kuru karıştırıcı

Toz halindeki kuru maddelerin karıştırılmasında kullanılan diğer bir tip karıştırıcı döner silindirik karıştırıcıdır. Bu içerisinde derin oyuklar olan veya kepçe şekli verilmiş kanatlar bulunan döner bir silindirden ibarettir. Herkesçe bilinen beton karıştırıcılar buna örnektir. Çift

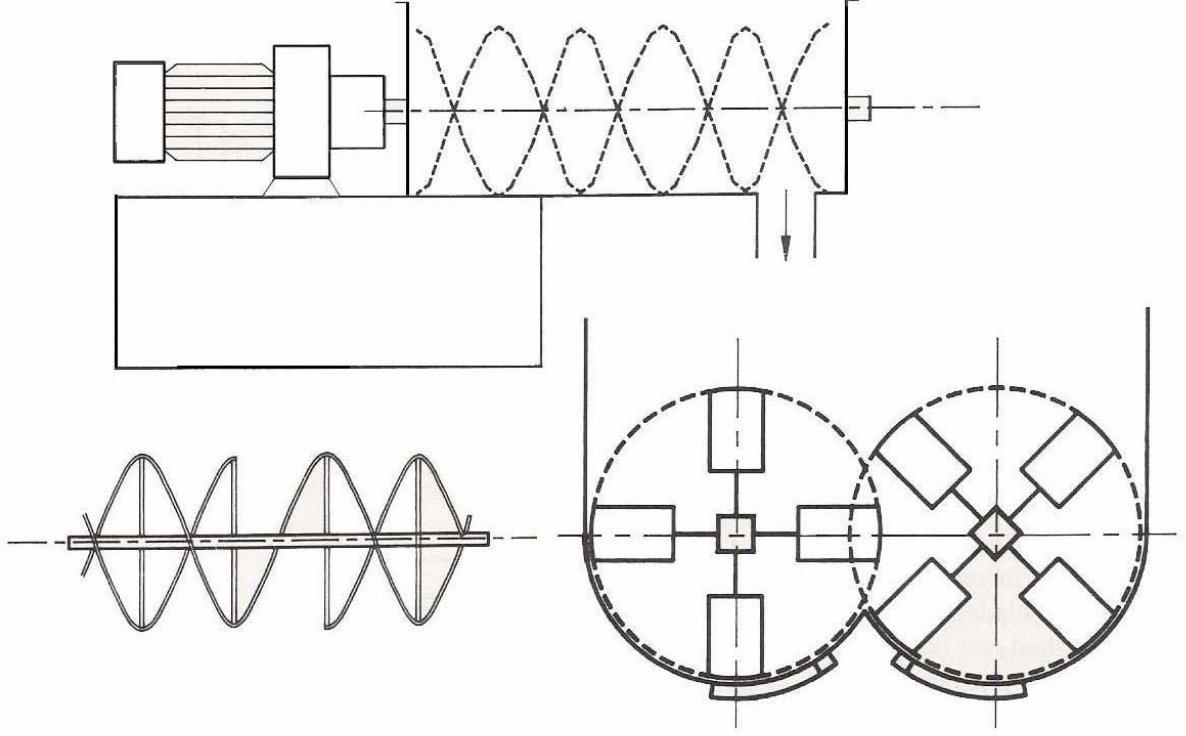
konili karıştırıcı, alt kısımları karşı karşıya gelecek şekilde bağlanmış iki koniden oluşmuştur. Bazı tiplerde aralarında silindirik bir kısım olmasına karşılık bazı tiplerde yoktur. Cihaz konilerin tepe noktalarını birleştiren doğruya dik bir eksen etrafında döner. Buna benzer diğer bir cihaz şekil 4.11’de gösterilmiştir. İki kısa silindirden oluşmuştur ve bu silindirler, eksenleri arasındaki açı 90° olacak şekilde birleştirilmiştir. Bu cihaz silindirlerin birleştirilme yüzeyine dik ve merkezinin biraz üzerinde olan bir eksen etrafında döner.



Şekil 4.11 V şekilli karıştırıcı

Plastik yapıda olan maddelerin karıştırılmaları için önceki kısımda açıklaması yapılan yoğurma makinesi uygundur. Bu konuda diğer bir cihaz çamur karma makinesidir. Şekil 4.12’de gösterilen bu cihaz esas itibari ile içerisinde birbirlerine paralel ve alt kısma yakın dönen iki şaftı bulunan bir tekmeden oluşmuştur. Bu şaftlar üzerinde eğimli kanatlar, kürekler veya çiviler vardır. Bu iki şaft biri diğerinin izlemiş olduğu yola gelece şekilde yerleştirilmiştir. Bu cihaz killerin oldukça fazla kullanılır. Kıvamlı maddelerin karıştırılmasında kullanılan diğer bir tip karıştırıcı macun bıçağıdır. Çok değişik tipte bulunan

öğütme cihazlarında katıların karıştırılmalarında kullanılabilirler. Bu esnada az miktarda sıvıda kullanıldığı olur. Böylece öğütmenin yanında bir de karıştırma yapılır.



Şekil 4.12 Çamur karma makinesi

Bu konu sıvıların-sıvılarla karıştırılmasından çok daha fazla güçlükler çıkarır. Sıvıların karıştırılmasında gerçekte muntazam olan son bir numunenin elde olması, karışmanın tamamlanıp tamamlanmaması konusunda, hangi kriter alınmış olursa olsun bir fikir verir. Akla yatkın bir karıştırma zamanı tamamıyla birbirlerine benzer numuneler vermeye yeterli olmaktadır. Böyle bir durum, katıların karıştırılmasında çok ender olarak elde edilebilir. Bu gibi durumlarda kütlenin tümünden gelişi güzel fakat muntazam olan bir numune almak mümkün ise de bunların ufak miktarlarda alınması halinde muntazam olmadıkları görülür. Sonuç olarak katıların karıştırılmasını açıklayan teori konusunda pek az şey yapıldığı söylenebilir.

İhtimaliyet teorisinin belirttiğine göre çok sayıda gözlemler yapılır ve bunlardan meydana gelen hatalar tamamen bir tesadüf eseri olursa araştırılan büyüklüklerin en çok mümkün olan değeri, tek tek okumalara ait sapma kareleri toplamının minimum olanıdır. Bundan “karekök

ortalama” kriteri geliştirilmiştir. Bu kriter şu şekilde hesaplanır; sapmaların kareleri alınır ve bunlar toplanır, bu sayı gözlemlerin sayısına ve en çok mümkün değerin karesine bölünür, son olarak da hepsinin karekökü alınır. Bu anlatım aşağıdaki şekilde formülize edilebilir.

$$D_v = \left(\sum (C_A - C_{MA})^2 / n \cdot C_{MA}^2 \right)^{0,5} \quad (4.1)$$

yukarıdaki eşitlikte :

D_v : Karıştırma derecesini belirleyen kriter

C_{MA} : Karışımında A komponentinin gerçek ortalama konsantrasyonu (karışımında bulunan her bir komponentin miktarı olarak pratikte uygulama bulur.)

C_A : Tek bir numunede A komponentinin konsantrasyonu.

n : Numune sayısı

Maddenin daha iyi karıştırılması halinde bu kriter sıfıra yaklaşır. Karıştırma yapılmamış bir madde topluluğunda bunun başlangıç değeri D_{V_0} konsantrasyonla değişir ve memnuniyet vermekten uzaktır. Bu değer aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$D_{V_0} = \left(1 - C_{MA} / C_{MA} \right)^{0,5} \quad (4.2)$$

Bu değerden aynılık (eş dağılım) endeksi I aşağıdaki şekilde çıkarılır.

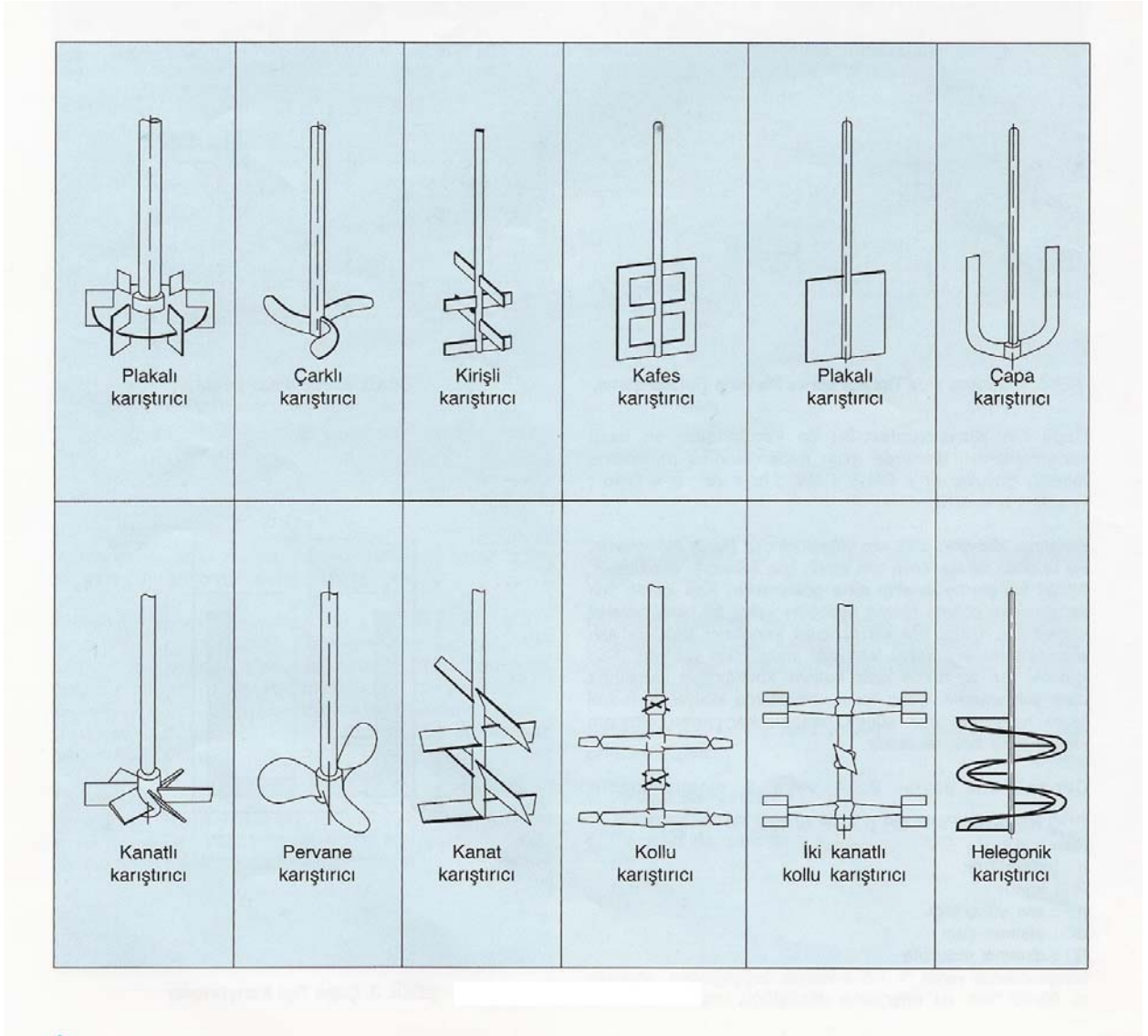
$$I = D_v / D_{V_0} = \left[\sum (C_A - C_{MA})^2 / n \cdot (1 - C_{MA}) \cdot C_{MA} \right]^{0,5} \quad (4.3)$$

Aynılık endeksi karıştırma yapılmamış madde topluluklarında 1.0 den başlamak ve tamamıyla karıştırılmış madde topluluklarında sıfır olmak üzere değişir. Bu sebeple aynılık endeksi, karıştırmanın tamam olup olmadığını gösteren bir kriterdir. Aynı kriter sıvıların karıştırılmalarında uygulanabilir, fakat pek fazla gerekmez.

5 KARIŞTIRICI EKİPMANLAR VE GÜÇ HESAPLAMALARI

5.1 Karıştırıcı Çarklar

Temel olarak 3 tip akışa göre dizayn edilmiş 3 tip pervane bulunmaktadır. Bunun yanında aynı akım tipi için değişik karıştırıcı çarkları dizayn edilmektedir. Bunlar, türbin, pervane, levha, çapa, helisel şerit şeklinde çarklar olarak isimlendirilirler. Bunlardan plakalı karıştırıcı çarkları genellikle radyal akış oluştururlar. Temel olarak, aksiyal akış pervanedeki yüksek akış için, düşük kayma gerilmelerinde, radyal akış pervaneleri kullanılmaktadır. Diğer tiplere göre karışımda daha iyi ısı transferi gerçekleştirirler. Düşük viskoziteli maddelerin karıştırılmasında, katıların sıvılar ile çözündürülmesinde kullanılırlar.



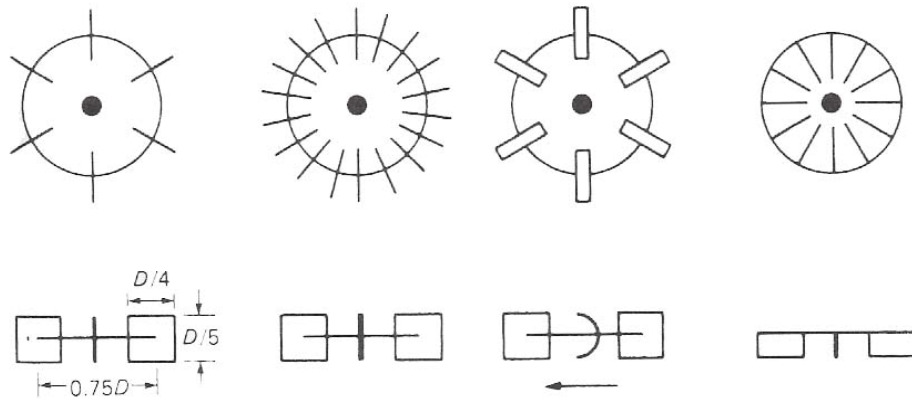
Şekil 5.1 Temel çark tipleri (GEPPELT, GMBH)

Aşağıda görüldüğü gibi pervaneler, plakalı karıştırıcılar genel olarak düşük viskoziteli sistemler ve yüksek açılabilir hızlar için geçerlidir. Örneğin, 3 m/s'lik bir hız için pervane tipi karıştırıcı çok yüksek kalarak çarklı karıştırıcı içinde de çok küçük kalacağı için, plakalı karıştırıcı seçmek en uygun metottur. Bu tip pervaneler, tank çapının 1/4 ile 2/3 arası çapında uzunluklara sahiptirler.

Çizelge 5.1 Viskozite ve hız değişimine göre karıştırıcı çark seçimi

Pervane Karıştırıcı ($< 2 \text{ kg/ms}$)		
Plakalı Karıştırıcı ($< 50 \text{ kg/ms}$)	↓	↑
Çarklı Karıştırıcı ($< 1000 \text{ kg/ms}$)	Viskozite Artışı	Hız Artışı
Çapa Karıştırıcı	↓	↑
Helegonik Karıştırıcı		
Helegonik Vidalı Karıştırıcı		

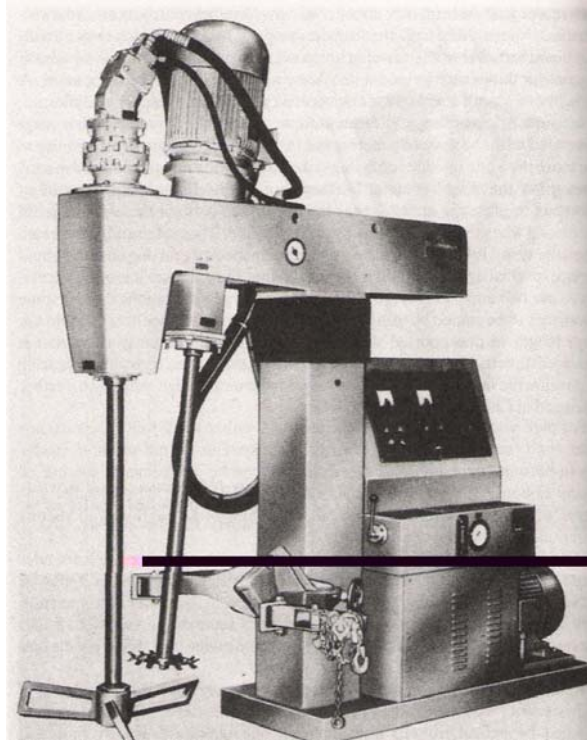
Şekil 5.2'de gösterilen 6 bıçaklı plakalı karıştırıcı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Kısmen de olsa kimya endüstrisinde de kullanılmaktadır. Plakalı karıştırıcılar genelde gaz dispersiyonunda kullanılmaktadır. Fakat bu gibi sistemlerin temel dizaynında değişiklik yaparak sistemdeki belirsizlikleri artırabilmekteyiz. Bundan dolayı bu tip sistemler için seçim yapma imkanımız düşüktür.



Şekil 5.2 Temel plakalı karıştırıcı tipleri

Son yıllarda geliştirilen yeni tip pervane sistemlerinde düşük enerji sarfıyatında çok etkili bir karıştırma sağlamaktadır. Bu sıvı karışımları ve katı süspansiyonu işlemlerinde belirgin bir iyileşmeye neden olmaktadır. Bazı zor dispersiyon işlemlerinde ise, normalden fazla enerji ihtiyacı doğabilmektedir. Bu tür uygulamalar yüksek kapasiteler ve yüksek hızlarda gayet verimli olmaktadır.

Yüksek viskoziteli akışkanlar için, tank yüzeyinde çok küçük bir boşluk bırakarak çapa tipi karıştırıcılar kullanılır. Viskozitesi yüksek olan sıvıların ve hamur kıvamındaki maddelerin karıştırılmalarında kullanılır. Düşük devirlerde çalışırlar. Fakat, bu gibi sistemler yüksek derecede karışımı ilerletmek için helisel şerit biçiminde karıştırıcı seçerek dipte oluşacak yığılmaları önleyerek iyi bir karışım sağlamaktadır. Buna benzer bir biçimde, küçük çaplar için helisel vidalı sistemler geliştirilmiştir. Helisel vidalı yüksek viskoz akışkanların aksiyal akım hatlarında uygun sonuçlar vermektedir.

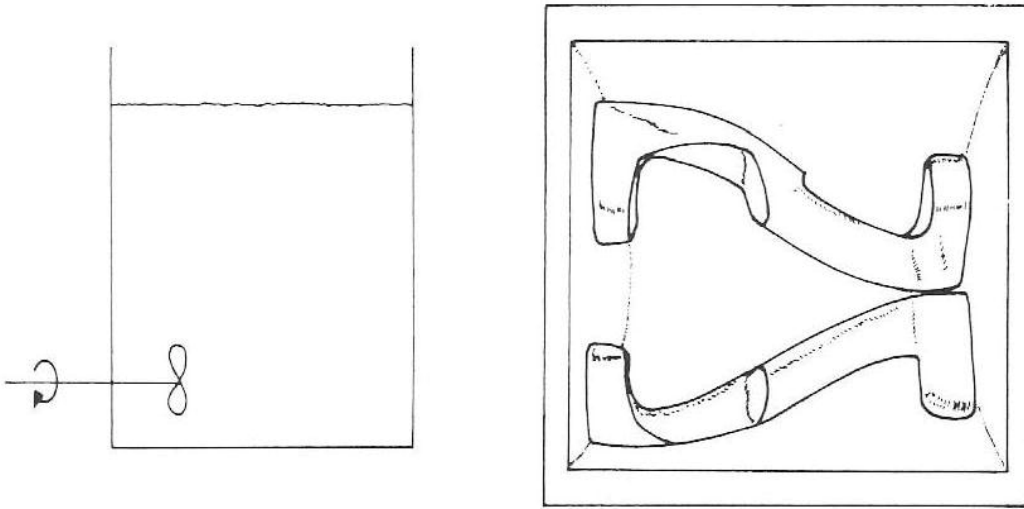


Şekil 5.3 Master Karıştırıcısı HSV/TS Yüksek hızlı/düşük hızlı pervane kombinezonlu
(Courtesy Mastermix)

Bazı uygulamalarda, sistemde çapa tipi karıştırıcı kullanıldığında yeterli kesme gerilmesi bulunmadığında, karışıma uygulayacak olan makineler yeteri kadar disperse olamazlar. Bu gibi durumlarda, çapa tipinin yanında, yüksek kesme kuvvetine sahip ek bir mikserin sisteme

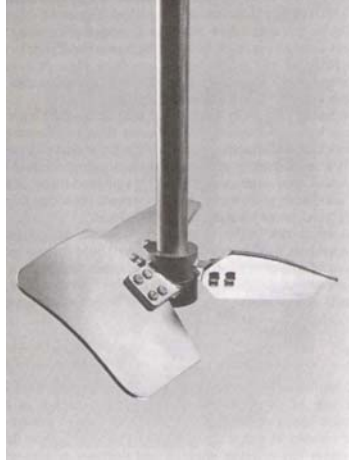
dahil olmasıyla birlikte yüksek hıza ulaşmaktadır. Buna benzer bir uygulama şekil 5.3'te gösterilmektedir.

Hamur ezme makinesi, Z veya sigma tipi bıçaklı üniteler, genellikle yüksek viskoziteli sıvıların, hamur, kauçukları vs. kullanılmakta, helegonik şeritli ve çapa tipi sistemler ise bu tip akışkanlar için uygun değildir. Bu tip sistemlerde tanklar yatay monte edilmiş olup 2 adet pervane bulunmaktadır. Pervaneler etkili bir biçimde çalışmakta ve pervane yüzeyi ile tank yüzeyi arasındaki çok küçük boşluklar bulunmaktadır. Z tipi mikserlerde karıştırma esnasında ölü bölge bulunmamalıdır.



Şekil 5.4 Z bıçaklı karıştırıcı örneği

Aksiyal akış pervanesi ve mili şekil 5.5'te gösterilmektedir ve bu tip bir pervane şimdiye kadar en çok kullanılmış olan aksiyal akış pervanesi olarak bilinmektedir. Aksiyal akış pervanelerinin bıçak açıları genellikle 45° yatay olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu açı 5° - 60° arasında değişim göstermektedir. Pervane çapının tank çapına oranı (D/T) 0,3 - 0,5 arasında en çok kullanım alanına sahip olmaktadır. Bu oran yüksek akış ve katı süspansiyon oranına göre değişim göstermektedir.



Şekil 5.5 Aksiyal akımlı karıştırıcı için pervane örneği (GEPPERT, GMBH)

Aksiyal akış pervanesi yüksek kapasitelerde ve düşük kesme kuvvetlerinde; harmanlama ve katı süspansiyonlarında çok verimli olmaktadır. Bu tip pervaneler özellikle büyük kapasiteli tanklarda kullanılabildiği gibi, etkili bir karışım istenmeyen küçük tanklarda da kullanılabilmektedir.

Viskoz akışkanlar için reynolds sayısı 10'dan küçük olan akışkanlar için şekil 5.1'de gösterilen helisel pervaneler, çapa tipi pervaneler kullanılmaktadır. Bu iki tip pervaneler 5-15 d/d aralığında, yüksek viskoz akışkanlarının karıştırılmasında uygun çözümler sağlamaktadır. Bu, radyal karışım elemanına oranla hayli düşük kalmaktadır.

5.2 Karıştırıcılarda Güç Hesaplamaları

5.2.1 Helisel Tip Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı ve Kesme Gerilmesinin İncelenmesi

Yüksek viskoziteli akışkanların karıştırılmasında iki tip güç parametresi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi K_p , laminar rejimdeki Newtonsal bir akışkanın Re Reynolds sayısında ve N_p gücünde güç sayısını vermektedir.

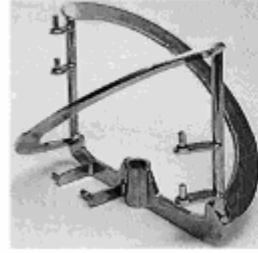
K_s ise, Otto ve Metzner (1957) ifade ettiği efektif kesme oranı sabitidir. Laminar rejimdeki Newtonsal olmayan akışkanlar için ifade edilmiştir.

Değişik geometriler için deneysel çalışmalarla birçok K_p ifade edilmiştir. Günümüzde çok değişik geometriler için hesaplamalarda tahmini K_p değerleri deneysel çalışmalardan yola çıkılarak kullanılmaktadır.

K_s faktörü ise Otto ve Metzner'in (1957) ifade ettiği pek çok karıştırma prosesinde kullanılmaktadır. Fakat değişik çalışmalar ile kıyaslandığında birbirleri arasında farklılıklar oluşmaktadır. Akışkanın reolojik özelliklerine bağlı K_s faktörüyle ilgili çelişkili sonuçlar bulunmaktadır.

Karıştırma sisteminin güç ihtiyacını tahmin etmek için, Metzner ve Otto (1957) ifadesinin kullanımıyla alakalı ayrıntılı bir inceleme, K_s faktörünün belirlenmesinde bir başka eksikliğe dikkat çeker. Birçok K_s değeri Otto ve Metzner'in (1957) ifade ettiği gibi ($0 \leq n \leq 1$) arasındaki kesme oranına sahip akışkanlar için yaygın olarak kullanılırken, ($n \geq 1$) için ise ortalama kesme oranı ifadesinde kullanılmaktadır.

	Boyutlar (m)
Pervane çapı, d	0.320
Sıvı yüksekliği, H_1	0.400
Tank çapı, t	0.346
Şerit genişliği, w	0.032
Şerit hatvesi, s	0.560
Pervane yüksekliği, l	0.340



Şekil 5.6 Helisel Karıştırıcı ve geometrik parametrelerinin gösterimi

(PARAVISC sistem, EKATO)

5.2.1.1 Newtonsal Kesme Gerilmesi Düşük Akışkanların Güç İhtiyacının İncelenmesi

Şeffaf camdan imal edilen kap 34 lt hacindedir. Kap ile ilgili geometrik parametreler şekil 5.6'da gösterilmektedir. Bu sistemde değişken devirli pompa kullanılmakta olup 0-20 N·m arasında tork hareketi sağlanmaktadır. Reynolds sayısına bağlı güç ihtiyacı :

$$N_p = f(\text{Re}) \quad (5.1)$$

$$N_p = P / \rho \cdot N^3 \cdot d^5 \text{ ve } \text{Re} = \rho \cdot N \cdot d^2 / \mu \quad (5.2)$$

$$N_p = K_p / \text{Re} \quad (5.3)$$

Otto ve Metzner'in (1957) ifade ettiği efektif kesme oranı :

$$\dot{\gamma} = K_s \cdot N \quad (5.4)$$

Newtonsal ve kesme gerilimi düşük olan sıvılarda, sıcaklığa bağlı akışkanların viskozitesi ve yoğunluğu aşağıdaki ilişkilerle ifade edilir:

$$\mu = a \cdot \theta^b \text{ ve } \rho = c - d \cdot \theta \quad (5.5)$$

Çizelge 5.2 Newtonsal akışkanın fiziksel özellikleri

Akışkanlar	Yoğunluk (ρ Kg·m ⁻³)	Viskozite (Pa·s)	Karışım Sıvısının Sıcaklığı θ (°C)
Saf Glikoz Şurubu	1428.6-0.6· θ	238507· $\theta^{2,0903}$	17,0 < θ < 26,0
Glikoz Şurubu-Örnek A	1405.1-0.5· θ	3709· $\theta^{1,979}$	21,3 < θ < 23,4
Glikoz Şurubu-Örnek B	1455.7-0.3· θ	137141· $\theta^{3,088}$	24,2 < θ < 26,5
Glikoz Şurubu-Örnek C	1415.2-0.9· θ	21112· $\theta^{2,685}$	24,2 < θ < 26,4
Glikoz Şurubu-Örnek D	1393.9-0.5· θ	11154· $\theta^{2,706}$	25,2 < θ < 25,9

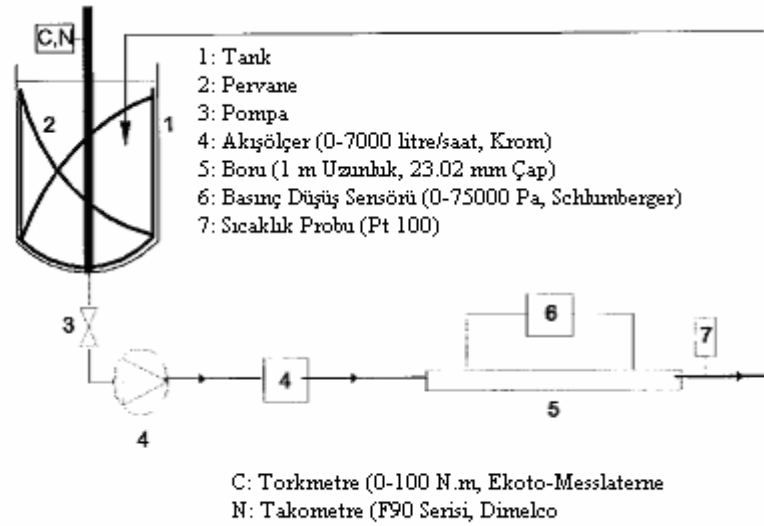
Çizelge 5.3 Kesme gerilmesi yüksek ve düşük akışkanların güç parametreleri

Akışkanlar	k(Pa·s ⁿ)	n (-)	Kesme Oranı Değerleri (s ⁻¹)
3% Guar Zamkı-Solüsyon A	179,7	0,113	1,9-28
3% Guar Zamkı-Solüsyon B	209,9	0,150	0,8-40
2% Adragante Zamkı	95,9	0,181	1-60
1,96% Adragante Zamkı	74,7	0,193	1-60
2% CMC	40,6	0,428	0,8-36
2% CMC-DGS-Solüsyon A	19,5	0,59	3,8-60

2% CMC-DGS-Solüsyon B	17,5	0,61	5-33
3% Alginat	18,6	0,629	2,8-17,5

5.2.1.2 Kesme Gerilmesi Yüksek Olan Akışkanlar İçin Güç İhtiyacının İncelenmesi

Reolojik verinin son durumu nişasta süspansiyonunun silindirik borulardaki laminar rejim altındaki akımı göz önünde bulundurularak yerine getirilir. Akışkanın aynı sıcaklıkta akım eğrileri farklı viskozite ölçerler kullanılarak karıştırma deneylerinde karşılaşılan gibidir. Akışkanın reolojik özellikleri böylece debi ve basınç düşüşü ölçümlerinden çıkarılmış olur.



Şekil 5.7 Deney setinin şematik gösterimi

Dilatant akışkanlarda akış eğrisi normal güç hesaplamaları gibi yapılamaz. Wilson ve Thomas (1985) tarafından geliştirilen güç akış eğrisi :

$$\mu_a = k \left(\dot{\gamma} \right) \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \quad (5.6)$$

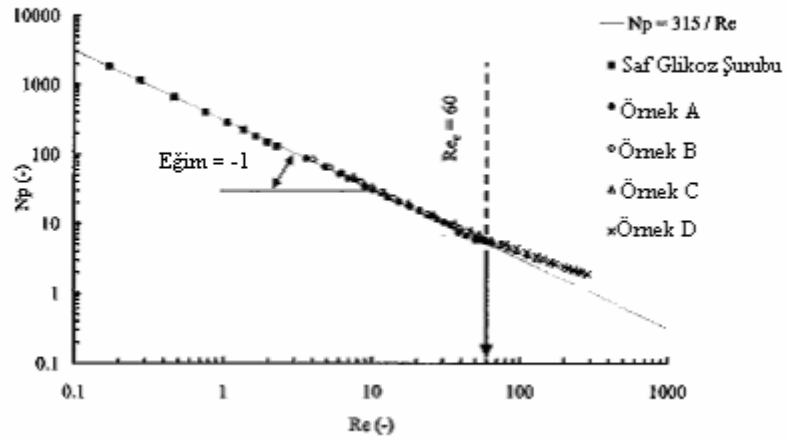
Laminar akış için debiye bağlı olarak basınç düşüşünün gösterimi :

$$\Delta P = \frac{4 \cdot L \cdot k}{D} \left(\frac{3 \cdot n + 1}{n} \cdot \frac{8}{\pi D^3} \right)^n \cdot Q^n \quad (5.7)$$

Burada n ve k değerleri, çizelge 5.2'den okunan akışkanın yerel reolojik özellikleridir. Debiye bağlı olarak kesme gerilmesi ve kap yüzeyinde meydana gelen gerilmeler :

$$\dot{\gamma}_w = \frac{3 \cdot n + 1}{4 \cdot n} \cdot 32 \cdot \frac{Q}{\pi \cdot D^3} \quad (5.8)$$

$$\tau_w = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot L} \quad (5.9)$$

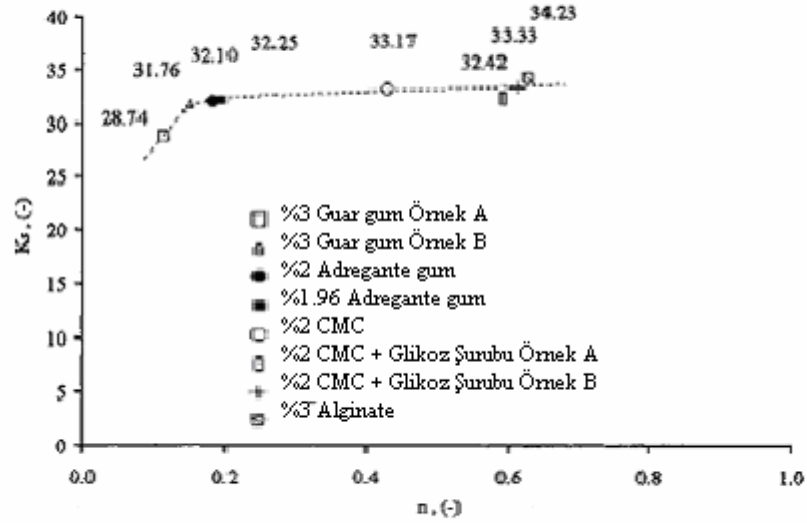


Şekil 5.8 A, B, C, D solüsyonlarının Reynolds sayısına bağlı güç grafiği

Burada geçiş bölgesi Reynolds sayısının 60 olduğu bölgenin civarındadır. Gerçekte yapılan bu tip çalışmalarda geçiş bölgesi Reynolds sayısının 50 ile 100 olduğu aralıktadır. Reynolds sayısının 60 dan küçük olduğu durumlarda, güç sabitesi geliştirilen K_p faktörü 315 alınmıştır.

$$K_p = 66 \cdot N_r^{0,84} (1/2 \cdot (t/d - 1))^{-0,29} \cdot l/d \quad (5.10)$$

Eşitlikteki ifadede ise K_p değeri 318 çıkmakta ve bu da deneysel çalışmada ortaya çıkan 315 değerine çok yakındır.

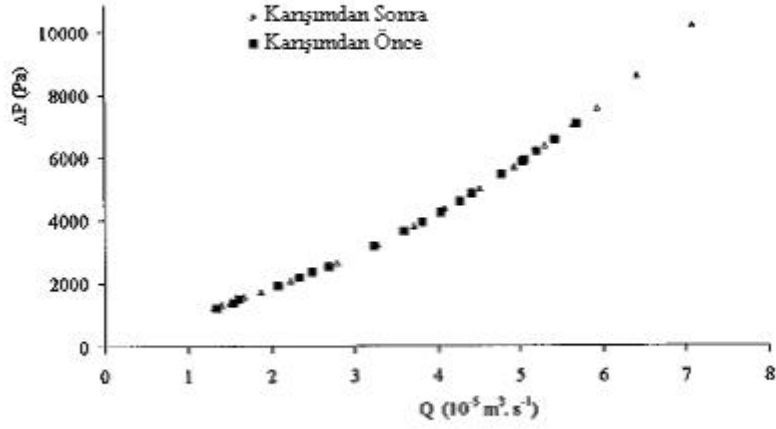


Şekil 5.9 Kesme gerilmesi düşük olan akışkanların K_s değerlerinin değişiminin grafiği

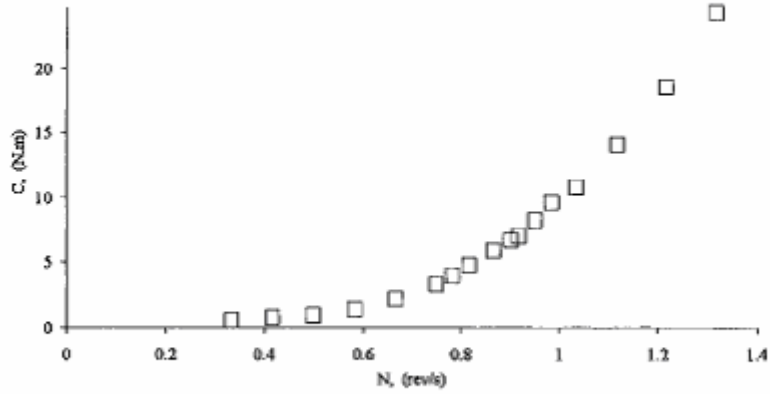
Otto ve Metzner (1961) tarafından ifade edilen metot kullanılarak elde edilen deneysel K_s değerleri yukarıdaki tabloda gösterilmektedir. Yukarıdaki tabloda K_s değeri ani bir artış göstermekte ve ortalama 32.2 değerine ulaşmaktadır. Bu ortalama değer ($0.3 \leq n \leq 1$) arasındadır. K_s değerleri 20 ile 45 arasında değişim göstermektedir. Delaplace ve Leuliet (1997) tarafından geliştirilen korelasyon ise :

$$K_s = \frac{2}{N_r} \cdot \frac{K_p}{\pi^2 \cdot \frac{l^*}{d} \cdot \frac{t}{d}} \quad (5.11)$$

Helegonik şerit in boyu $l^*=0,228$ m'dir. Burada ortalama K_s değeri 33,7 çıkarken deneysel olarak K_s 32,9 çıkmakta ve arada %10'luk bir fark oluşmaktadır.

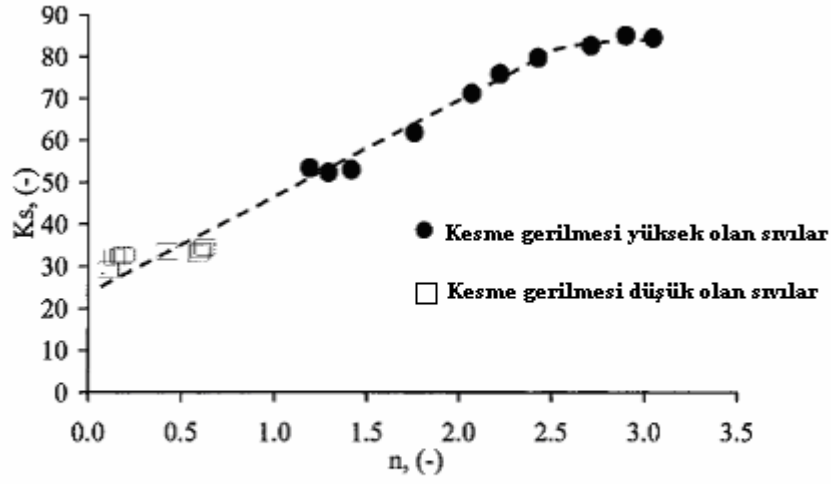


Şekil 5.10 Karışım öncesi ve sonrasında basınç düşüşü/akış debisi'nin grafiği



Şekil 5.11 A, B, C, D solüsyonlarının devir sayısına bağlı güç grafiği

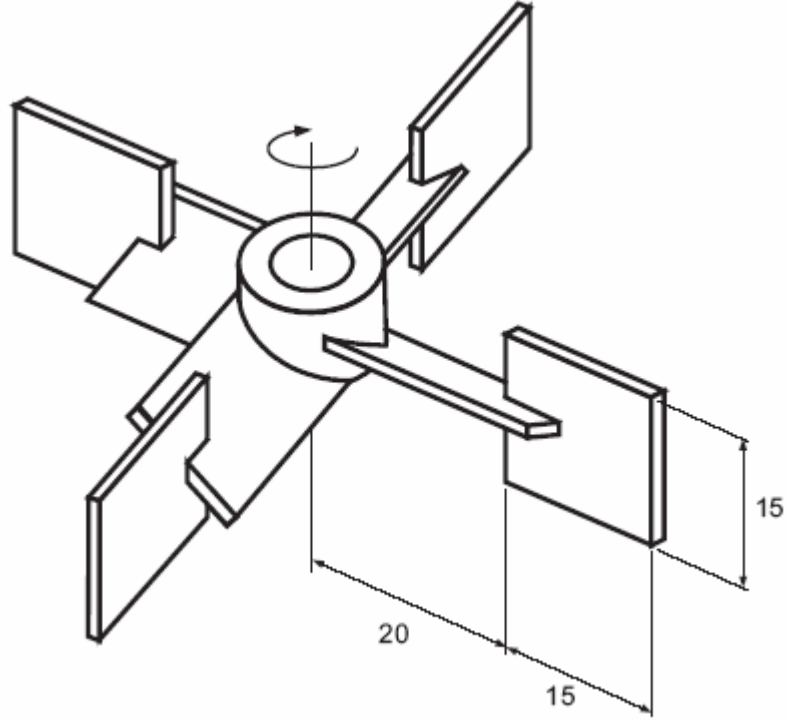
Şekil 5.11'de nişasta süspansiyonu için gerekli olan güç ihtiyacı eğrisi gösterilmektedir. Bu eğrinin içbükey olması akışkanın Dilatant akışkan olduğunu göstermektedir. Newtonsal akışkanların kullanıldığı laminar akımlarda ise oransal artış meydana gelmektedir. Pseudoplastik akışkanlar için eğri ise tam ters yönde dışbükey olmaktadır.



Şekil 5.12 PARAVISC sisteme göre K_s faktörünün değişimi

5.2.2 Kanatlı Tip Karıştırıcılarda Performans Analizi ve Güç Hesaplamaları

Bu sistemde 165 mm iç çapa sahip şeffaf polikarbonat bir kap kullanılmaktadır. 230 mm yüksekliğine sahip bu kaptaki deneysel çalışmada 3 değişik tip pervane kullanılmaktadır. Bunlardan ilki (PBT şeklinde kısaca ifade edilen kanatlı karıştırıcı, bu karıştırıcı 4 bıçaktan oluşmakta ve 21 mm uzunluğunda, 45° açı yapacak şekilde ana gövdeye monte edilmiştir. İkinci tip pervane (RT) ise 6 bıçaktan teşekkül olan plakalı tip karıştırıcıdır. Bu karıştırıcı bıçaklarının uzunluğu 19 mm yüksekliği ise 15 mm'dir. Üçüncü tip ise şekil 5.13'de gösterilen (ARI) tip kirişli karıştırıcıdır. Karıştırıcı, bir AC motor vasıtasıyla (0,56 kW) döndürülmektedir. Açısal hız 5 ile 11500 d/d arasında değişmektedir. 4 N·m sabit tork ise 1750 d/d da çalışmaktadır.

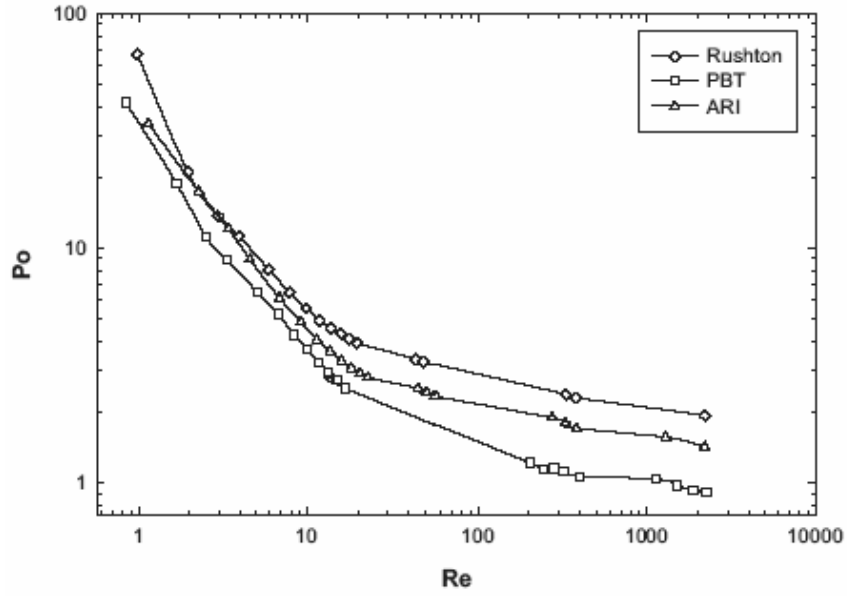


Şekil 5.13 Deneyde kullanılan kanatlı tip karıştırıcı pervanesi

Deneyde akışkan olarak mısır şurubu ve karboksimetil selüloz kullanılmakta ve özellikleri de çizelge 5.4’de gösterilmektedir.

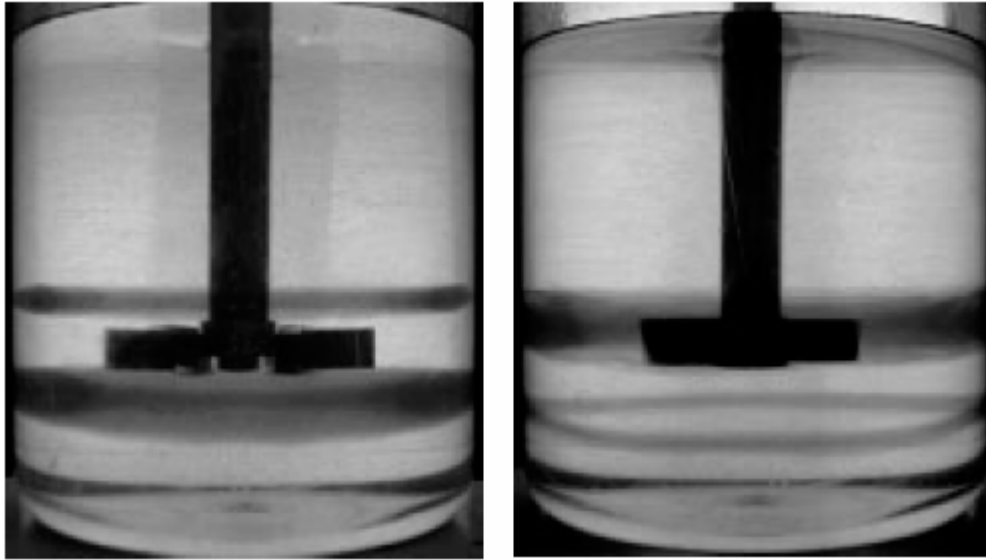
Çizelge 5.4 Deneyde kullanılan akışkanların fiziksel özellikleri (25°C)

Akışkanlar	$k(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n (-)	Yoğunluk (kg/m^3)
82,5% Mısır Şurubu	0,20	1,00	1340
3% Guar Zamkı-Solüsyon B	0,14	0,84	1000



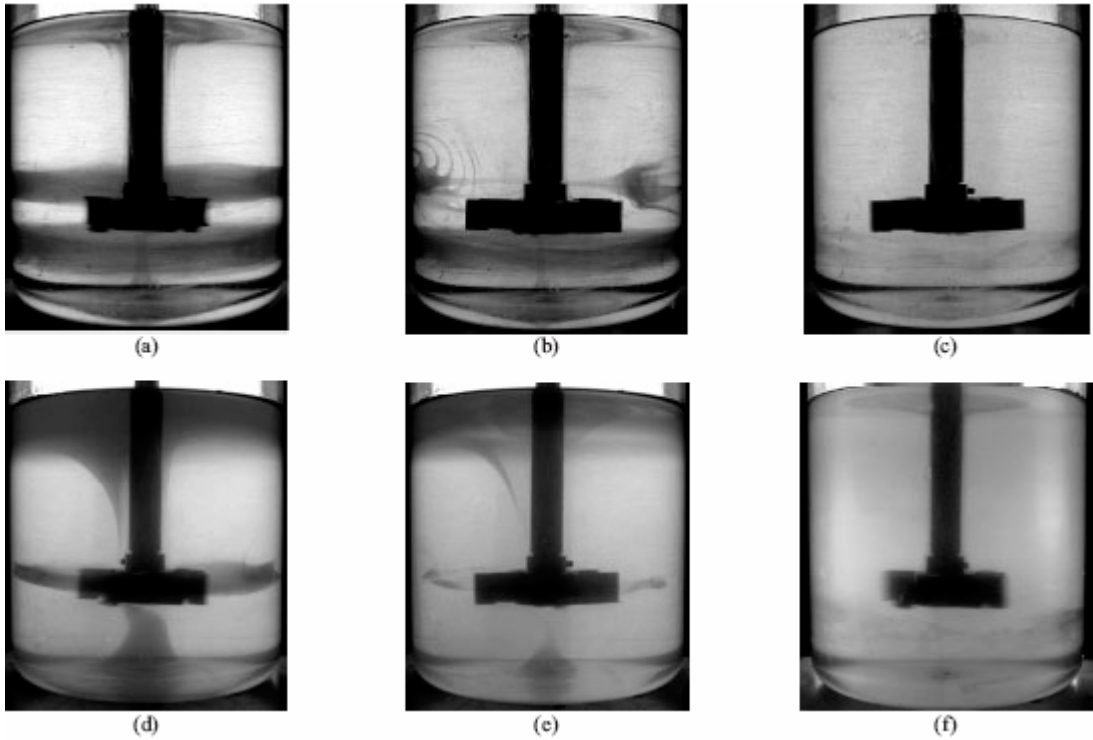
Şekil 5.14 Üç tip değişik pervaneye göre hazırlanmış olan güç eğrisi

Şekil 5.14'te Newtonsal akışkanların üç tip pervane için Güç sayısı (P_o) ve Reynolds sayılarının (Re) grafiği verilmiştir. Burada güç sayısı ifadesi $P/\rho N^3 D^5$, Reynolds ifadesi $\rho N^2 D/\mu$ olarak hesaplanmıştır. Grafikte görüleceği üzere ARI tipi karıştırıcı PBT ve RT'nin kombinasyonu şeklindedir. Yeni geometri için güç sabiti değeri 35.3 elde edilmiştir ve RT ve PBT tipi için 50.6 ve 34.4 olarak hesaplanmıştır. Laminar rejimde -1 e karşılık gelen eğim ARI tipi karıştırıcılarda Reynolds sayısının 25 den küçük olduğu durumlarda RT ve PBT için 12 ve 20 den düşük olduğu durumlarda kritik Reynolds sayısına ulaşılmaktadır.



Şekil 5.15 1 dakika içerisinde karışımında meydana gelen ayrılmış bölgeler a-) RT tipi karıştırıcı (200 d/d) b-) PBT tipi karıştırıcı (300 d/d)

Şekil 5.15'te RT ve PBT tipi karıştırıcılar içerisinde Newtonsal akışkan bulunduğu durumda ayrılmış katmanları göstermektedir. RT tipi karıştırıcıda (karıştırıcının dibinden tepesine kadar) simetrik katmanlar olduğu görülmektedir. Bu iki durumda da katmanlı bölgeler olduğundan dolayı belirli bir karışım süresinden sonra homojenleşme elde edilememiştir.



Şekil 5.16 ARI tipi karıştırıcılarda newtonsal akışkanların karıştırılması (200 d/d) (a) 30 s; (b) 40 s; (c) 120 s ve newtonsal olmayan akışkanların karıştırılması (d) 30 s; (e) 60 s ve (f) 180 s

Şekil 5.16'da iki tip akışkan (newtonsal olan ve newtonsal olmayan akışkan) için ARI tipi karıştırıcı görülmektedir. Şekil 5.16a'da Newtonsal akışkanın kullanıldığı ilk durumda simetrik katmanlı bölgeler oluşmaktadır. Birkaç dakika sonra üst bölgedeki katmanlar kaybolur ve çok küçük tabakalar görülür hale gelir. Şekil 5.16c'de karıştırıcı karıştırma etkisini en son kabın tabanında gösterir

Şekil 5.16d'de görüleceği üzere newtonsal olmayan akışkan kullanıldığı durumlarda pervanenin altında daha küçük bir bölge meydana gelir; ve böylece birkaç dakika içerisinde homojenizasyon tamamlanabilmektedir.

Sonuç olarak ARI tipi karıştırıcı kullanıldığı durumlarda etki bir karışım meydana gelmekte ve kabın tabanında yüksek bir karışım elde edilmektedir.

Çizelge 5.5 ve çizelge 5.6'da mısır şurubu ve CMC tipi akışkanın kullanıldığı 3 tip pervane için karışım süreleri gösterilmektedir. Şekil 5.17a ve şekil 5.17b'de reynolds sayısının bir fonksiyonu olan boyutsuz karışım süresi grafiği gösterilmektedir. Boyutsuz karışım süresi $N.t_m = a.Re^b$ denkleminde yola çıkılarak regresyon eğrisi çizilmiştir. Regresyon katsayıları a ve b çizelge 5.7'de değişik karıştırıcı tiplerine göre gösterilmektedir. Metzner ve Otto korelasyonuna göre $k_s = 12 \pm 1.5$ olarak ARI tipi karıştırıcı için belirtilmiştir.

Newtonsal akışkanların kullanıldığı durumlarda 200 ve 600 d/d aralığında ARI tipi karıştırıcılar PBT tipi karıştırıcılara oranla daha az zamanda karışımı sağlayabilmektedir. Şekil 5.17a'da ARI ve RT tipi karıştırıcılar karışım süresi bakımından benzer davranışlar göstermektedir fakat şekil 5.14'de ARI tipi karıştırıcılar için daha az güç ihtiyacı olmaktadır.

Newtonsal olmayan akışkanların kullanıldığı durumlarda ise daha farklı davranışlar ortaya çıkmaktadır. ARI tipi karıştırıcılar RT tipi karıştırıcılara oranla %40 daha fazla karışım sürelerine sahip olmakla birlikte PBT tipi karıştırıcılardan (%100-183 arasında daha kısa) sürelerde karışım elde edilmektedir bu da şekil 5.17b'de açıkça görülmektedir. Bu yüzden ARI performans açısından RT ve PBT'nin bir kombinasyonu gibidir.

Çizelge 5.5 Değişik tipteki karıştırıcılarda newtonsal sıvıların karışım süreleri

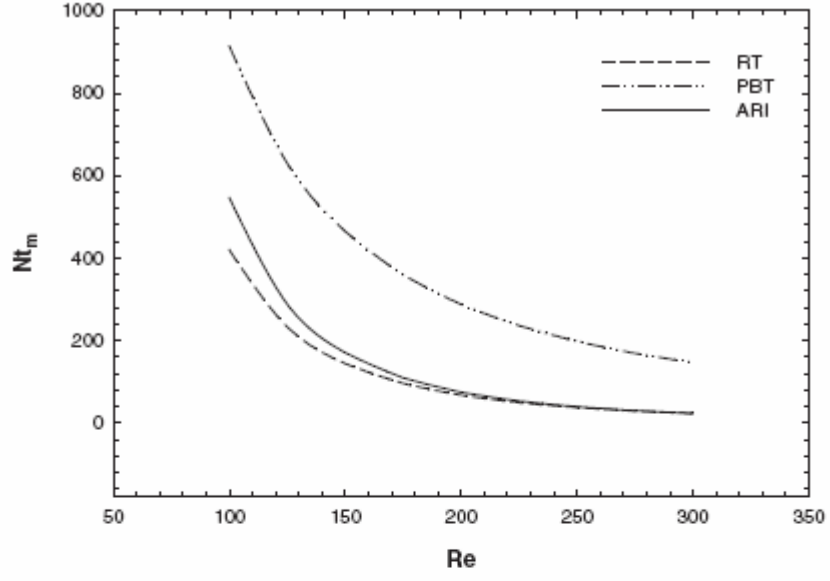
N (d/d)	Karışım Süreleri (s)		
	RT	PBT	ARI
100	∞^*	∞^*	∞^*
200	∞^*	∞^*	165
300	30	∞^*	25
400	12	75	10
500	8	50	5
600	5	30	2

Çizelge 5.6 Değişik tipteki karıştırıcılarla newtonsal olmayan sıvıların karışım süreleri

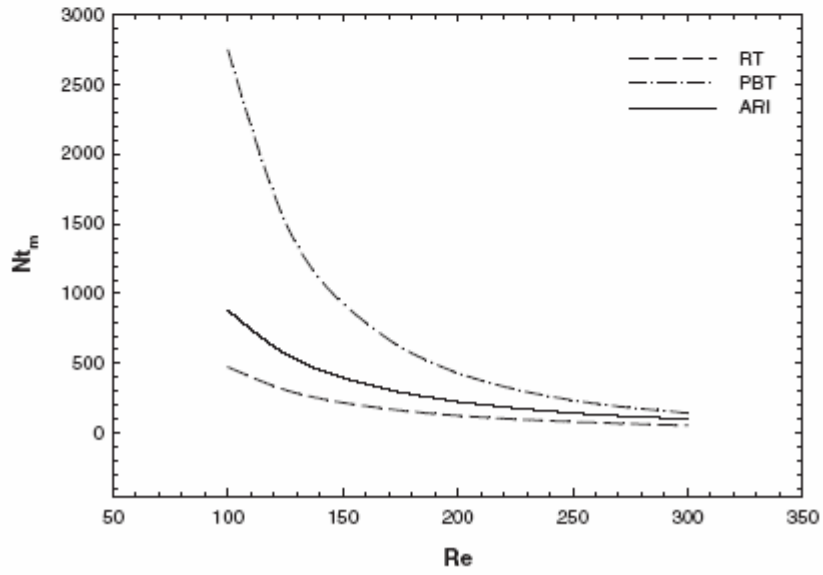
<u>N (d/d)</u>	<u>Karışım Süreleri (s)</u>		
	RT	PBT	ARI
100	540	∞^*	780
200	25	66	165
300	10	40	15
400	4	17	6
500	2,5	50	5
600	1,5	30	2

Çizelge 5.7 Newtonsal ve Newtonsal olmayan akışkanların boyutsuz karışım süreleri ($N \cdot t_m$) için regresyon katsayıları

<u>Karıştırıcılar</u>	<u>Newtonsal Sıvılar</u>			<u>Newtonsal Olmayan Sıvılar</u>		
	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2
RT	$8 \cdot 10^7$	-2.64	0.9786	$3 \cdot 10^6$	-2.64	0.9786
PBT	$2 \cdot 10^6$	-1.67	0.9903	$6 \cdot 10^8$	-2.67	0.9555
PBT	$3 \cdot 10^8$	-2.87	0.9886	$7 \cdot 10^6$	-1.95	0.9888



(a)



(b)

Şekil 5.17 Üç değişik tipteki pervane için boyutsuz karışım süreleri a-) newtonsal akışkanlar için b-) newtonsal olmayan akışkanlar için

5.2.3 Aksiyal Akışlı Pervanelerde Katı Süspansiyonun İncelenmesi

Karışım tankı T= 390 mm çapta ve H= 600 mm yükseklikte tabanı düz akrilik malzemenen yapılmıştır. Karışım tankının dışında ayrıca dikdörtgen biçiminde bir tank daha mevcuttur. Bu tank optik bozulmayı önlemek için suyla doldurulmuştur. Dört adet akım kırıcı birbirleriyle simetrik olacak bir biçimde 1/12 T genişliğinde sirkülasyon tankının içine monte edilmiştir. Test pervaneleri mil ile beraber tankın merkezine ve tork transduceri de hız detektörü monte edilmiştir. Bu milin hızı 0 ile 1000 d/d arasında değişken olup frekans konvertörlüdür. Veriler bir bilgisayarda toplanmakta ve güç tüketimi ile ilgili yorumlar bu verilerin ışığında yapılmaktadır.

Kanatlı karıştırıcılar, değişik kanat açılarında sahip olup, D=0,160 m'lik çapa sahiptir. Kullanılan karıştırıcı tipleri çizelge 5.8'de gösterilmektedir. Ayrıca Lightinin A310 tipi pervane de aynı çapa sahip olup deneyde ek olarak kullanılmaktadır.

Küresel ballotini cam parçaları katı partikül olarak kullanılacaktır. Katı partikülün özellikleri çizelge 5.9'da gösterilmektedir. Sistemde sıvı olarak musluk suyu kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda çok farklı büyüklükteki partikülleri kullanırken bu çalışmamızda ise yalnızca 70 µm'lik partiküller kullanılmıştır. Zwittering (1958) yapmış olduğu çalışmada N_{js} yi tanımlamak için, partiküller kabın tabanına ulaştıklarında burada 1-2 saniye kalmaktadır. Gerçekte katı partiküllerin çok az bir kısmı kap tabanında kalmakta ve partiküllerin büyük bir kısmı sıvı içerisinde asılı kalmaktadır. Bu çalışmada Hicks'in (1997) yapmış olduğuna benzer bir yaklaşım ortaya konuldu ve sabit partikül hacmi süspansiyonunu ölçmede kullanıldı. Dipteki süspansiyon hızı N_{js} sabit partikül hacminin yüksekliği görülebilir düzeye eriştiğinde, pervane hızı yavaşça azaltılarak tam bir süspansiyon yaratılmaktadır.

Molerus ve Lazel (1987) katıların süspansiyonunda kap cidarında meydana gelen kesme gerilmesini tanımlamışlardır. Kritik cidar kesme gerilmesi sirkülasyon hızının ve ortalama karıştırıcı temas alanının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (5.12)$$

Burada Q akış debisi, D pervane çapını belirtmektedir. Dipteki süspansiyon oluşumu için, karışım hızı :

$$V_{js} = \frac{4}{\pi} N_{js} D N_Q \quad (5.13)$$

Burada V_{js} süspansiyon hızı olarak tanımlanmıştır. N_{js} ise genellikle pervane hızı olarak adlandırılmakta ve $N_Q = Q/(ND^3)$ ise akış sayısını vermektedir.

V_{js} burada pervane geometrisinden bağımsız olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle verilen katı sıvı karışımında ve pervane çapında, $N_{js} * N_Q$ pervane tipinden etkilenmemektedir.

Aşağıda S parametresiyle Zwietering'in (1958) korelasyonu gösterilmektedir.

$$N_{js} = S \frac{v^{0,1} d^{0,2} (g\Delta\rho / \rho_L)^{0,45} X^{0,13}}{D^{0,85}} \quad (5.14)$$

Burada S pervane tipine bağlı olan bir boyutsuz katsayıdır. D/T ve C/T (Nienow, 1992)

Buradaki analizde D çapındaki pervane için $N_Q * S =$ sabit olmaktadır.

Kanatlı karıştırıcılar akışkanı aşağı yönlü yönlendirmekte ve hızı da 300 d/d dır. Bu karıştırıcıların geometrik özellikleri çizelge 5.8'de gösterilmektedir.

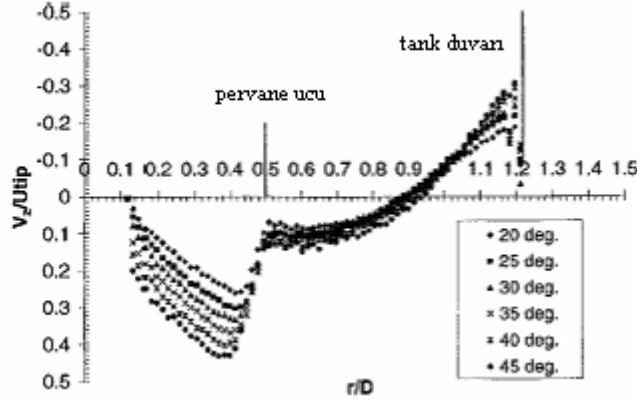
Çizelge 5.8 Pervane geometrisi ile ilgili veriler

Pervane Eğim Açısı (°)	Pervane Kalınlığı (mm)	Pervane Yüksekliği	D/T	C/T
20, 25, 30, 35, 40, 45	1,5	1/5 D	0,41	1/3

Çizelge 5.9 Katı partikül ile ilgili veriler

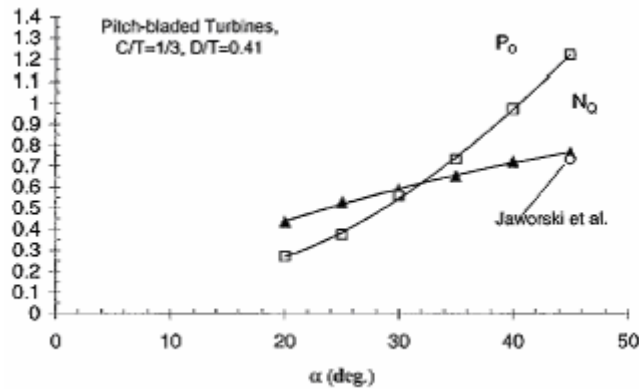
Katı Partikül Çapı (mm)	Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	Boşluk Oranı (Cv %)
70	2520	22.5

Şekil 5.18’de değişik kanat açlarına göre hız dağılımlarını göstermektedir. Şekilden bakarsak eğer, maksimum hıza $r/D \sim 0,4$ olduğu durumda ulaşılır. r/D oranı 0,5 olduğunda çok keskin bir düşüş yaşanmaktadır. Bunun nedeni ise pervane yüzeyine yakın olan yerlerde meydana gelen basınç düşüşünden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.18 Değişik pervane açlarında 6 bıçaklı pervanenin hız dağılımı

Şekil 5.19’da güç notasyonunun açı değişimine göre hız dağılımının akış numarasını göstermektedir. 45° kanatlı pervane kullanılan sistemlerde Jarowski’nin (1996) yapmış olduğu çalışma ile mukayese edildiğinde iyi bir uyum yakalanmıştır.



Şekil 5.19 Kanat açlarına göre akış sayısı ve güç sayısının değişimi

Bu deneyde katı partikül olarak ballotini cam partikülleri kullanıldı. Şekil 5.19’da 6 bıçaklı kanatlı karıştırıcı için N_{js} değerleri ile oluşturulan eğrilerde, kanat açısının artması ile N_{js} değerlerinde azalma meydana gelmektedir. N_{js} değeri N_Q ile çarpılırsa bu veri açıdan bağımsız

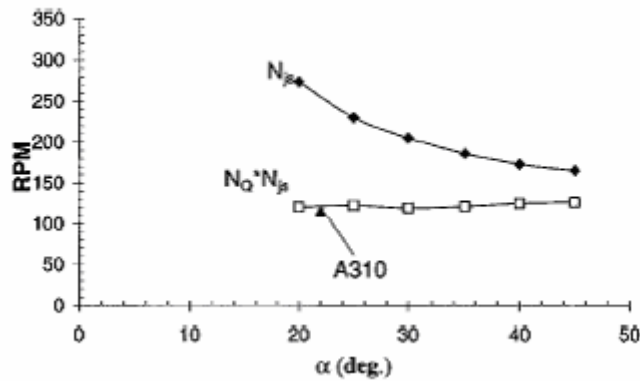
olmaktadır. Bu tip bir davranış değişik büyüklükteki ve katı konsantrasyonundaki deneyler için de geçerlidir.

Çizelge 5.10 A310 tipi karıştırıcının süspansiyon hızları

Pervane Tipi	N_{js} (d/d)	N_{js} (tahmini)	N_Q
Tek-A310	230	-	0.503
Çift-A310	237	236	0.491

Lightinin A310 tipi aksiyal akış pervanesi pervane tipinin ölçüme etkisini incelemek için kullanılmıştır. Şekil 5.20'de $N_{js} * N_Q$ verileri kanatlı karıştırıcı ile benzeşim göstermektedir. Ayrıca ek bir test durumu ise, ikinci bir A310 milin 1 çap altına eklenmiştir. Bu akışın hız profili akış numarasının hesaplanmasında yardımcı olmaktadır. Akış numarası 0,491 olmakta ve tek pervaneli sistemden (0,503) daha düşük kalmaktadır. Daha önce yapılmış olan katı süspansiyonu testlerinde N_j 'nin 230 dan 237 ye çıktığı çizelge 5.10'da belirtilmişti. Çift pervaneli sistemin süspansiyon hızını tanımlayan ifadeyi tek pervaneli N_{js} verilerinden yola çıkarak :

$$N_{js} = (N_{js} * N_Q)_{tek\ pervaneli} / (N_Q)_{çift\ pervaneli} \quad (5.15)$$



Şekil 5.20 Süspansiyon hızının kanat açısına göre değişimi

236 d/d'lık çift pervaneli konfigürasyon ve 237 d/d'lık ölçülen değer birbiri ile mükemmel uyum göstermektedir. LDV optik fiber sistemi tarafından ölçümü yapılan çift pervaneli sistem konfigürasyonu ($\Delta C/D=1$, $D/T=0,41$) tek pervaneliye oranla düşük kalmaktadır.

Bütün bu veriler verilen C/T ve D/T 'nin geometrileri verilen katı sıvı sistemi için $N_{js} * N_Q$ değerinin pervane tipinden bağımsız olduğunu doğrulamaktadır. Pervanenin pompalama kapasitesi ve Zweiger korelasyonundaki S değeri ilişkisine bir temel oluşturması açısından önemlidir ki burada $N_Q * S$ sabittir. Şu vurgulanmalıdır ki " $N_Q * S =sabit$ " değeri katı/sıvı değerinden bağımsızdır. Sadece süspansiyona dayalı birleşme yüzeyinin dışındaki kap cidarında oluşan kayma gerilmesinin hızın genel kriterine daha ileri bir kanıt oluşturur. (kap cidarında oluşan kayma gerilmesi birleşme yüzeyindeki hıza göre belirlenir.)

5.2.4 Gaz Dispersiyonunda İkili Karışım Sistemlerinin İncelenmesi

Pleksiglas, tabanı düz olan kabın çapı 0,21 m'dir. İki tip karışık geometriye sahip karıştırıcının değişik kombinasyonları ölçülecektir. Bunlardan birincisi Helegonik şerit + Rushton türbini (HR+RT) ikincisi ise helegonik + Smith türbinidir. (HR+ST). Karıştırıcı çapları 0,070 ile 0,185 m arasında değişmektedir. Karıştırıcı bıçak genişliği RT tipinde 0,016m, HR tipinde ise 0,020 m'dir. Ayrıca RT ve ST'nin çalışma alanları da birbirine eşittir. Yukarıdan bakıldığı zaman, RT ve ST tipi karıştırıcılar saat yönünün tersi yönde dönerken, helegonik şerit tipi karıştırıcı ise saat yönünde dönmektedir.

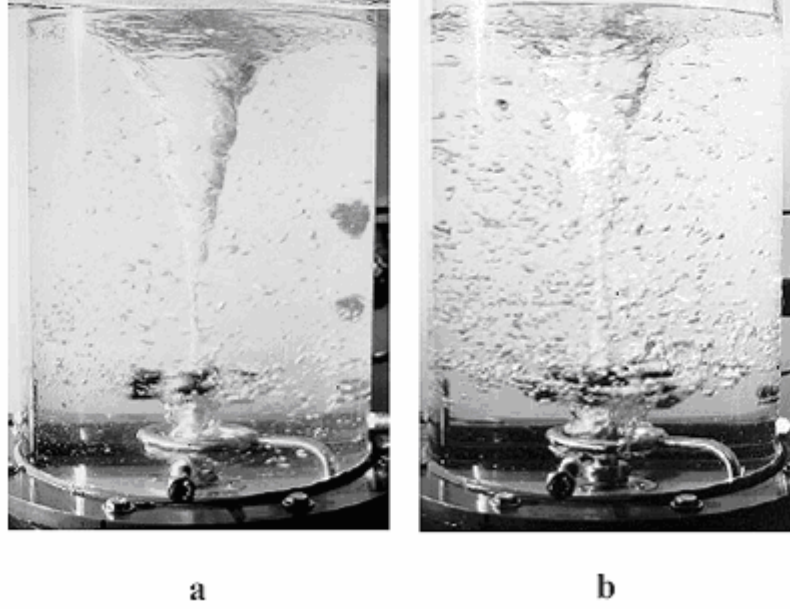
Model akışkan olarak sıvı solüsyonu (xanthan gum) kesme gerilmesi düşük olan akışkan olarak kullanılmaktadır. Akışkanların reolojik özellikleri düşük kesme gerilmesi indeksi n 0,14 ile 0,38 arasında değişmekte, kararlılık indeksi m, 0,32 ile 12,77 Pasⁿ arasında değişmektedir. Düşük kesme gerilmesine sahip olan akışkanın yoğunluğu 1020 kg/m³ dür. Ayrıca 0.5 Pas viskozite ve 1365 kg/m³ sulandırılmış mısır pekmezi solüsyonu kullanılmıştır. Bütün solüsyonlar deonize sudur. Bütün deneylerde 9,5 litrelik hacim kullanılmıştır.

59mm çapında 9.5 mm kesitli bir halka serpici vasıtası ile gaz sisteme veriliyor. Bu cihaz kabın tabanından 22 mm yukarıdadır. Hava aşağı yönlü olarak 0.2 mm çaplı 6 adet orifis yardımıyla sisteme tedarik edilmektedir.

5.2.4.1 Düşük Viskoziteli Akışkanlarda Gaz Dispersiyonu

Şekil 5.21'de RT ve ST tipi karıştırıcıların gaz ile beraber karıştırılması gösterilmektedir. Bütün pervanelerin dönüş hızı $N_t = 7,5 \text{ s}^{-1}$ ve sisteme giren havanın hızı ise 1 vvm'dir. Bu koşullar altında Froude sayısı (Fr) ve akış numarası (Fl) 0,4 ve 0,06 olmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere RT tipi karıştırıcıda vorteks etkisi meydana geldiğinden sisteme hava teması

ile beraber gaz dispersiyonu yetersiz olmaktadır. Buna karşılık ST tipi karıştırıcı vorteks etkisi pervanelere ulaşmasında rağmen gaz dispersiyonu oluşmaktadır.



Şekil 5.21 RT ve ST tipi karıştırıcıların $Q=1$ vvm ve $N_{RT}=7.5\text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40$, $Fl=0.06$) koşulları altındaki karışım performanslarının gösterimi

Dispersiyon işlemi ST ile olmuş olsa bile bir vorteks istenmez çünkü havanın bir kısmı pervaneden disperse olmadan geçer.

Espnoza-Solares'in çalışmasında HR-T tipi karıştırıcılarda gaz olmadan yapılan karıştırma işlemlerinde hareketsiz HR akım kırıcı vazifesi görür. RT veya ST kullanıldığı durumlarda vorteks yüksekliğinde gözle görülür azalma meydana gelir. Bu çalışmada akış modelleri hareketsiz HR ye göre değişiklik göstermektedir. Bu olay $0,18 \leq Fr \leq 0,71$ ve $0,05 \leq Fl \leq 0,09$ aralığında gerçekleşmektedir. Örneğin; açısal hızı 7.5 s^{-1} ve $Fr=40$ olan karıştırıcı hareketsiz HR ye oranla daha iyi bir karışım teşekkül etmektedir. Genellikle RT hareketsiz HR beraber kullanılmaktadır. Daha küçük kabarcıklar elde etmek için yalnız RT kullanmak yeterlidir.

Fl ve Fr arasında çok çeşitli korelasyonlar vardır. Boruda akan suyun hızı ile boru iç çapı arasındaki ilişkiyi veren boyutsuz terime froude sayısı (Fr) denilmektedir. İlk eşitlik Nienow (1985) tarafından maksimum resirkülasyon esnasında tutulabilecek maksimum gaz eşitliğini vermektedir. İkinci eşitlik ise Warmoeskerken (1981) tarafından boşluk formu için minimum Fr değerini göstermektedir. Üçüncü eşitlikte ise Nienow (1985) Fr değerinin minimum olduğu dispersiyon geçiş bölgesinde taşmadan önceki maksimum akışı göstermektedir.

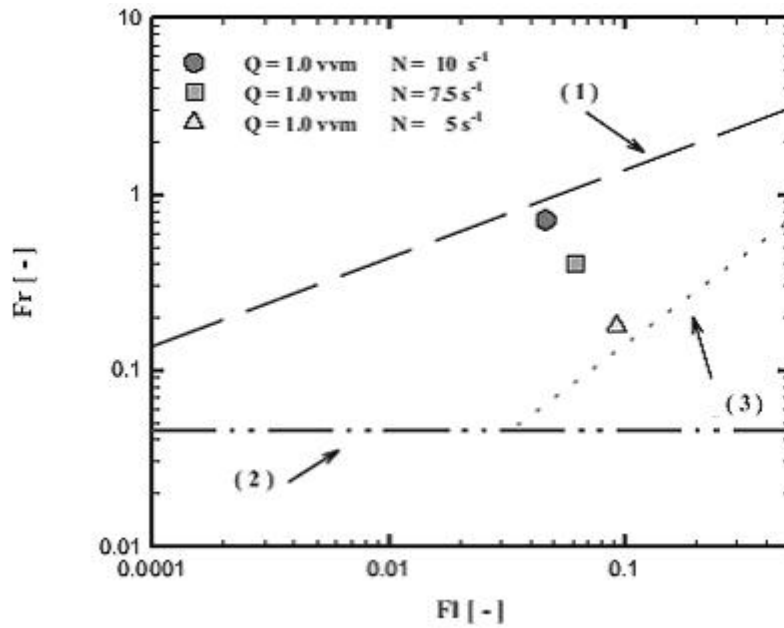
$$Fl = 13Fr^2 \left(\frac{d}{D} \right)^5 \quad (5.16)$$

$$Fr = 0,045 \quad (5.17)$$

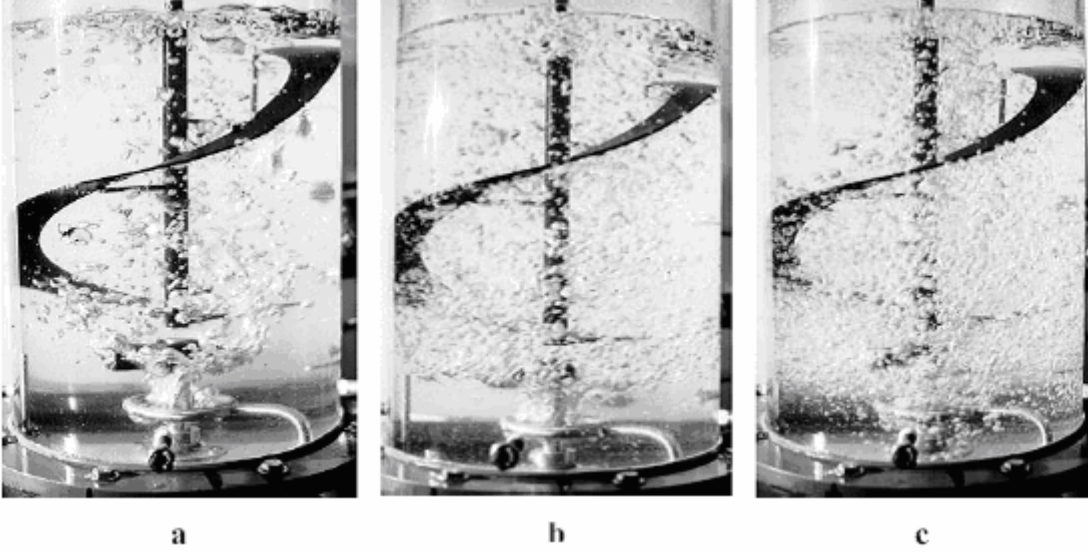
$$Fl = 30Fr \left(\frac{d}{D} \right)^5 \quad (5.18)$$

Warmoeskerken ve Smith (1986) dispersiyon işlemi için bu tip açıklamalarda bulunmuşlardır. Bu üç eşitliğin birbirleri ile olan ilişkileri şekil 5.22’de gösterilmektedir. Sistem ifade edilirken başlangıçta bu durum için ($Fr \geq 0,18$ ve $Fl \leq 0,06$) olarak belirtilmişti. Fakat, Rushton ve Bambinet’in (1968) kriterlerine göre, ancak ($Fr=0.40$ ve $Fl=0,06$) şekil 5.13b ve ($Fr=0.71$ ve $Fl=0,05$) şekil 5.23c olduğu zaman kabarcıklar kap yüzeyine ulaşmaktadır. Fakat Nienow (1977), kabarcıklar pervanenin aşağısında resirküle olmaya başladığı zaman şekil 5.23c’deki gibi bir dispersiyon işlemi gerçekleşmektedir.

RT ve hareketsiz HR yardımıyla Fl değerinin artması kabarcıkların yukarı doğru kolayca hareket etmesini engellemektedir. Bu durumda yüzey kuvvetleri azalmakta ve sonuç olarak Fr değeri artmaktadır. Bu tip bir durumda biyoreaktörlerdeki açılal hız mekanik olarak karışıma dikkate değer bir zarar vermektedir.



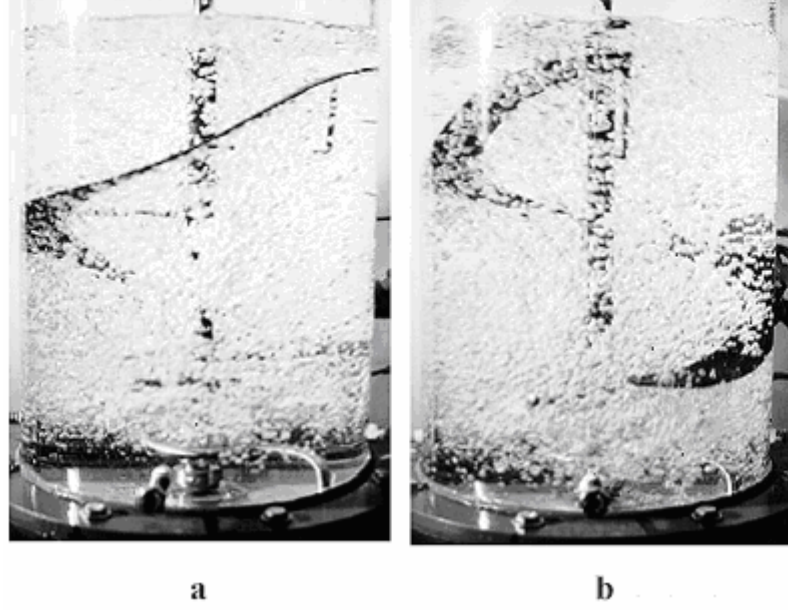
Şekil 5.22 Helegonik şerit pervanenin $5 < N_{RT} [s^{-1}] < 10$ aralığında $Q = 1$ vvm olduğu durumda oluşan gaz dispersiyonunun gösterimi



Şekil 5.23 Heleگونik şerit pervanesinin $Q = 1 \text{vvm}$ olduğu durumda oluşan gaz dispersiyonunun gösterimi a-) $N_{RT} = 5 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.18, Fl=0.09$), b-) $N_{RT} = 7.5 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40, Fl=0.06$), ve c-) $N_{RT} = 10 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.71, Fl=0.05$)

ST tipi karıştırıcı kullanıldığı zaman vorteks etkisi hareketsiz HR den dolayı elimine edilmektedir. Şekil 5.24a'da 1vvm de ST tipi karıştırıcının $N_{ST}=10 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0,71, Fl=0,05$) özellikler göstermektedir. Bu şekilde şekil 5.23c'deki gibi çok küçük kabarcıklar görmemiz mümkündür. Böylece ST tipi karıştırıcının RT ye oranla daha iyi bir performansa sahip olduğu kanıtlanmaktadır.

Gaz dispersiyonunu artırmak için, Espinosa-Solares'in (1977) yapmış olduğu $N_{ST} / N_{HR}=10$ olduğu gaz olmayan ikili sistem örneği incelenmiştir. Şekil 5.24'de hareketsiz HR ve ST (şekil 5.24a) ile hareketli HR ve ST ($N_{ST} / N_{HR}=10$) (şekil 5.24b) gösterilmektedir. Bu iki durumda da hava debisi ve türbin hızı her iki ST için eşittir. Gaz dispersiyonu nispeten eskiye oranla daha iyi özellikle kabın dibinde çok etkindir. Bu tip bir davranış $0,18 \leq Fr \leq 0,71$ ve $0,02 \leq Fl \leq 0,09$ olan ikili sistemlerde de ölçülmüştür. Bu tip gelişmiş bir performansın en önemli sebebi HR tipi ikili karıştırıcılar pervane mili bölgesinde aşağı yönlü fazla hareket olmakta ve pervanede oluşan kabarcıklar da yukarı doğru hareket etmek istemektedirler. Tankın merkezindeki kaldırma kuvvetlerinin azalması ile iyi bir dispersiyon sağlamaktan çok tankın merkezinde resirkülasyon sağlamaktadır. Netice itibariyle bu veriler dispersiyon ve resirkülasyon için minimum Fr numaralarının indirgeme ihtimalini gösterir.



Şekil 5.24 $N_{ST}=10 \text{ s}^{-1}$ ve $Q=1 \text{ vvm}$ ($Fr = 0.71$ ve $Fl = 0,05$) olduğu durumda a-) Hareketsiz HR tipi karıştırıcı b-) İkili sistem HR+ST ($N_{ST} / N_{HR}=10$) de gaz dispersiyonunun gösterimi

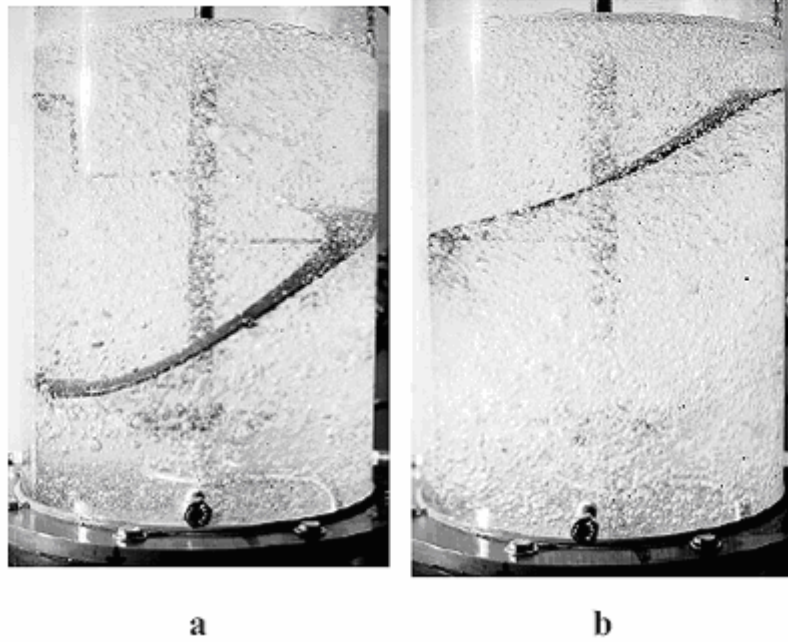
5.2.4.2 Orta Viskozitedeki ve Newtonsal Olmayan Akışkanlardaki Gaz Dispersiyonu

Bu karışık sistemler newtonsal akışkan ($0,500 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) ve newtonsal olmayan ($0,32 \leq m [\text{Pa}\cdot\text{s}^n] \leq 12,77$, $0,14 \leq n \leq 0,38$) özellikler göstermektedir. Bu tip karışık sistemlerde newtonsal olmayan akışkan kullanılan durumlar hava kullanılmayan durumlar ile benzeşmektedir. Sıvıların hareketi incelendiğinde HR'nin milini çevreleyen akışkan, RT'nin çevresi, türbin çevresinde hareket eder. HR vasıtası ile partiküller yukarı doğru hareket etmeye başlar ve başlangıç noktasına geri döner. Aslında, türbin tarafından disperse olan akışkan da kabarcık teşekkülü ile beraber daha etkin bir karışıma yardımcı olmaktadır.

Şekil 5.25'de opak bir görüntü olmasına rağmen, HR+ST tipi karıştırıcıda ($0,500 \text{ Pas}$, $Fr = 0,71$ $Fl = 0,05$) sahip olan akışkan bu durumda küçük kabarcıklar kabın tabanına doğru ulaşmak istemekte ve bu tip ikili sistemler ile kolayca etkin bir karışıma ulaşmaktadır.



Şekil 5.25 HR-ST tipi karıştırıcıda mısır şurubu solüsyonu kullanarak ($0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), $Q=0.5 \text{ vvm}$ $N_{ST}=10 \text{ s}^{-1}$ ($Fr = 0.71$ ve $Fl = 0,02$), ve $N_{ST} / N_{HR}=10$ olduğunda gaz dispersiyonu



Şekil 5.26 HR-ST tipi karıştırıcı içerisinde 0.1% xanthan gum solüsyonu ($m=0.316 \text{ Pa}\cdot\text{sn}$, $n=0.38$) $Q= 1 \text{ vvm}$ ve $NRT= 10 \text{ s}^{-1}$ a-) $NRT= 7.5 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.40$, $Fl=0.06$) b-) $NRT=10 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0.71$, $Fl=0.05$)

Şekil 5.26'da HR+ST tipi karıştırıcıda newtonsals olmayan akışkan ($m=0,316 \text{ Pa s}^n$, $n= 0,38$) gösterilmektedir. Hava hızı 1 vvm olarak alınmıştır. Şekil 26a ve 26b açısız hızı $N_{RT}= 7,5 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0,40$, $Fl = 0,06$) ve $N_{RT}= 10 \text{ s}^{-1}$ ($Fr=0,71$, $Fl = 0,05$) ve rotasyonel hız oranı $N_{ST}/N_{HR}=10$ olarak verilmiştir. Bu iki durumda da kabarcıklar tank yüzeyine ulaşmaktadır. Şekil 5.26b'de tankın dibinde resirkülasyon meydana gelmektedir. Bu performans gösteriyor ki karışık ikili tip geometri düşük kesme oranına sahip akışkanları tutmaktadır. ($n \leq 0,38$) Böyle bile olsa, bu baskın safhalarına yayılan geçiş formunun kesme gerilmesi yüksek olan sıvılar olarak değerlendirilmesinin üstünde durulması önemlidir.

5.2.5 Rushton Tipi Karıştırıcılarda Metzner-Otto'ya Göre Gerilmelerin İncelenmesi

Couette sisteminde, koaksiyal karıştırıcının iç çapı d ve dış çapı t 'dir. Sıvı yüksekliği $h_L=0,35$ m'dir. Bu çalışmada biz d yi $d=0,32$ m ve t yi $t=0,346$ m olarak seçtik. Bu sistemde $s=t/d$ gibi bir parametre belirledik. Bunu viskoz akışkanları karakterize etmek için kullanıyoruz. Bu teorik ve sayısal sonuçların karşılaştırılmasına imkan veren analitik çözümler bulabileceğimiz basit bir düzendir.

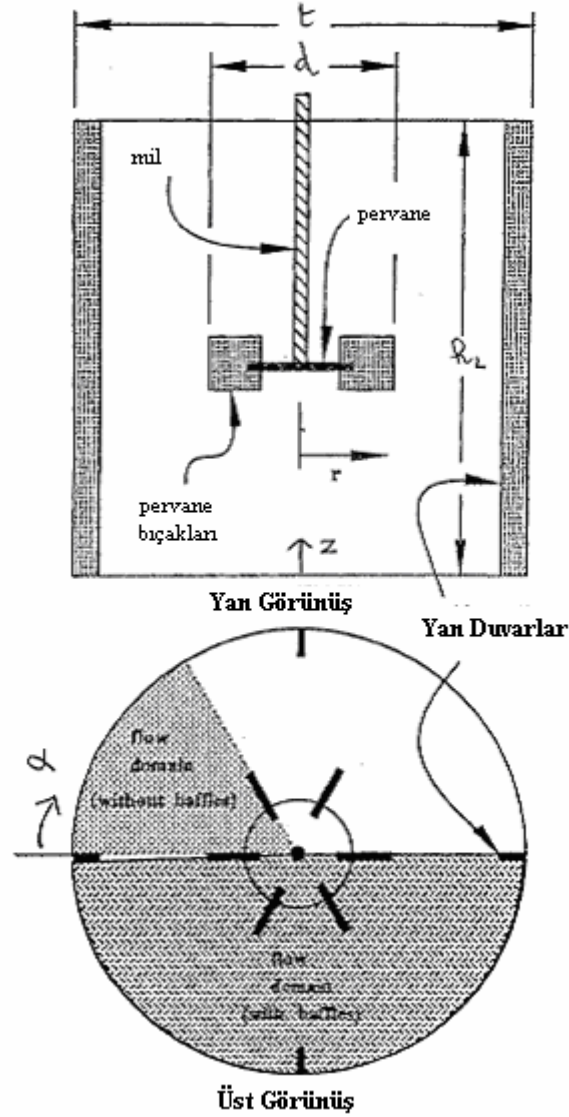
0.3 m çapında zemini düz olan silindirik cam kapta akım kırıcı bulunmamaktadır. Şekil 5.27'de şematik olarak deney seti gösterilmektedir. Karıştırıcı kap yüksekliğinin 1/3 ü kadar bir yükseklikte konumlandırılmıştır. Karıştırıcı pervanesinin çapı 0.15 m'dir.

Çizelge 5.11 Bingham akışkanlarının özellikleri

Pervane Tipi	ρ (kg/m ³)	μ (Pa·s)	τ_c (Pa)
1 Numaralı akışkan	1400	13	10
2 Numaralı akışkan	1400	13	100
3 Numaralı akışkan	1000	10	50

Çizelge 5.12 Herschel-Bukley akışkanlarının özellikleri

Pervane Tipi	ρ (kg/m ³)	n (-)	k (Pa·s ^{0.5})	τ_c (Pa)
4 Numaralı akışkan	1400	0.5	13	10
5 Numaralı akışkan	1400	0.5	13	100



Şekil 5.27 Deney setinin şematik gösterimi

Newtonsal akışkanlar için tork ölçümünde açısal hızın bir fonksiyonudur. Bu da boyutsuz güç sayısı N_p ye çevrilerek Reynolds sayısı;

$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 d^5} \quad (5.19)$$

$$P = 2\pi NC \quad (5.20)$$

$$\text{Re} = \frac{\rho N d^2}{\mu} \quad (5.21)$$

Laminar rejimde ($\text{Re} \leq 10$)

$$N_p \text{Re} = \frac{P}{\mu N^2 d^3} = K_p \quad (5.22)$$

Burada K_p değeri karıştırıcının şekil faktörü olarak belirtilmiştir. K_p karıştırıcının laminar rejimdeki boyutsuz şekil faktörü olarak tanımlanmıştır. Boruda akan suyun hızı ile boru çapı arasındaki ilişkiyi veren boyutsuz sayıya froude sayısı (Fr) denilmektedir. Vorteks etkisi olmadığından dolayı Froude sayısı Fr, denklemde yer almamıştır.

Newtonsal olmayan akışkanlar için Metzner ve Otto (1961) μ_e efektif viskozite ve Re_g genelleştirilmiş Reynolds sayısı olarak tanımlanmıştır. Eğer viskozite karışım koşullarına göre istenilen düzeyde ise, güç ifadesi aşağıdaki gibi olacak şekilde tanımlanmıştır.

$$N_p = K_p \left(\frac{\rho N d^3}{\mu_e} \right)^{-1} = K_p \text{Re}_g^{-1} \quad (5.22)$$

Bu efektif viskozite ifadesinden γ_e efektif kesme oranı, akışkanın reolojik davranışına göre tanımlanmıştır. Burada efektif kesme oranı karıştırıcı hızıyla N doğru orantılıdır.

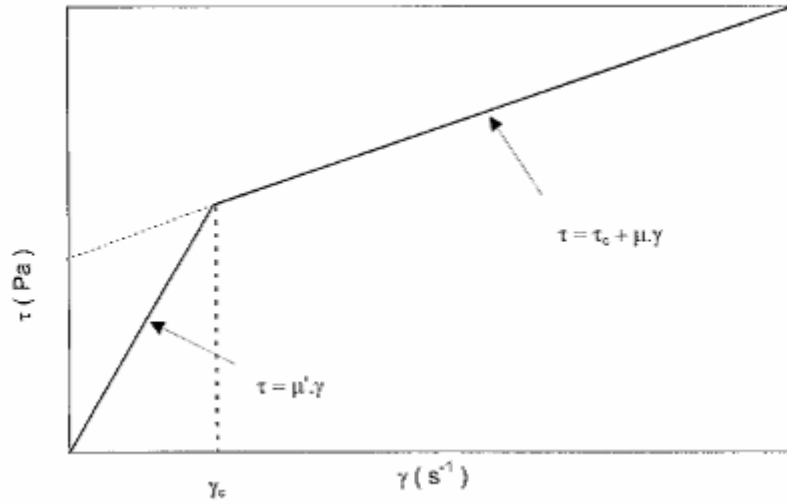
$$\gamma_e = K_s N \quad (5.23)$$

Bingham ve Herschel Bukley akışkanları için güç ifadesi;

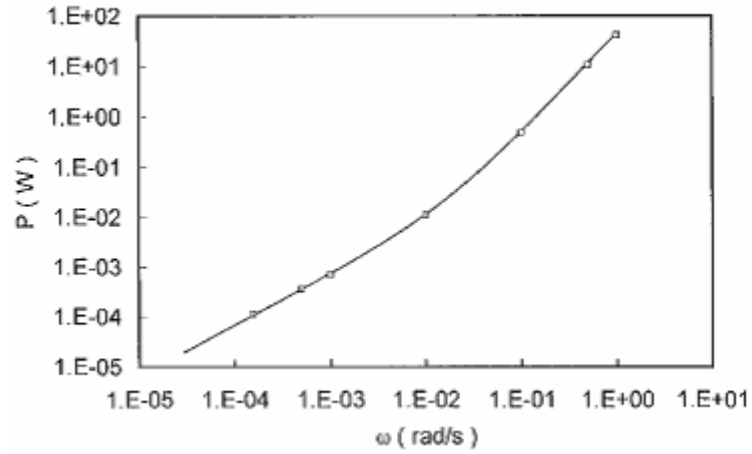
$$P = K_p N^2 d^3 \left(\mu + \frac{\tau_c}{K_s N} \right) \quad (5.24)$$

$$P = K_p N^2 d^3 \left(k(K_s N)^{n-1} + \frac{\tau_c}{K_s N} \right) \quad (5.25)$$

Lokal ortalama kesme oranı γ çok yardımcı bir değişkendir. Çünkü yönden bağımsız ölü bölgelerde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Başka bir taraftan türbine yakın olan bölgelerde γ değeri ise çok yüksektir.

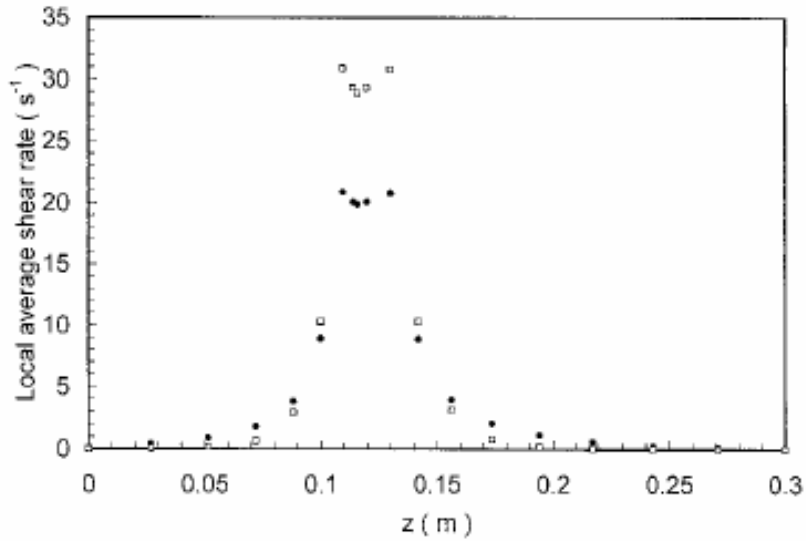


Şekil 5.28 Akışkanın nümerik olarak reolojik davranışının gösterimi



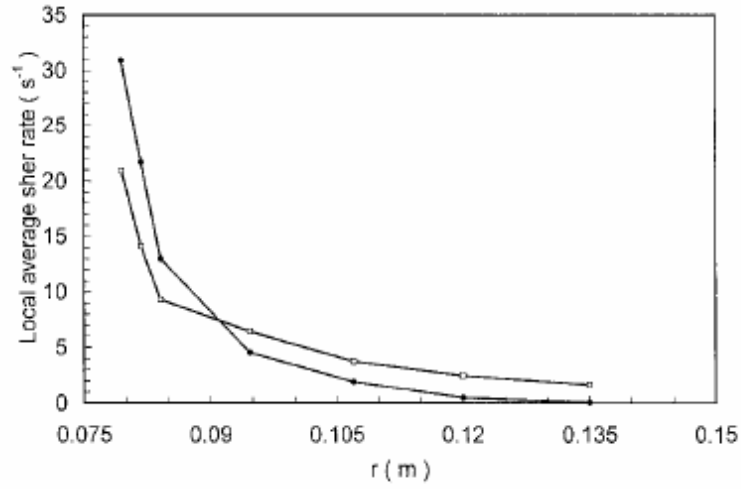
Şekil 5.29 Couette sistemi için teorik ve nümerik güç değerlerinin kıyaslanması \square : nümerik değerler, _____ : teorik değerler

Şekil 5.30'da ($r = 0,00795$ m) uzaklıktaki kesme gerilmesi dikey yüzeyde ($\alpha = 0$) ve $N = 1$ s⁻¹ n°1 ve n°2 akışkanları için



Şekil 5.30 Akma gerilmesi etkisinden doğan dikey yerel ortalama kesme oranı profili ($N = 1$ s⁻¹, $r = 0,0795$ m ve $\alpha = 0$); \square : $\tau_c = 100$ Pa (n°2 akışkanı), \bullet : $\tau_c = 10$ Pa (n°1 akışkanı)

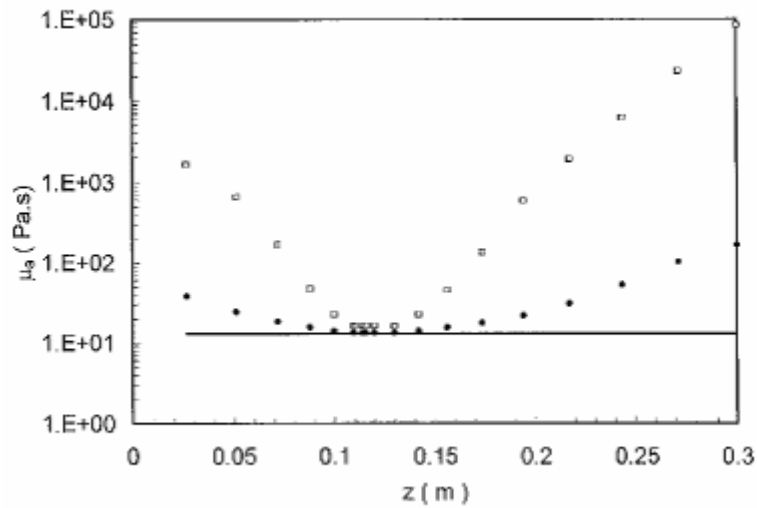
Şekil 5.31'de ($z=0,115$ m) lokal ortalama kesme gerilmesi yatay yüzeyde ($\alpha = 0$ ve $z = 0,115$ m) olan türbin bıçağı ve $N = 1$ s⁻¹ n°1 ve n°2 akışkanları için



Şekil 5.31 Akma gerilmesi etkisinden doğan radyal yerel ortalama kesme oranı profili ($N=1 \text{ s}^{-1}$, $z=0,115 \text{ m}$ ve $\alpha=0$); \square : $\tau_c=10 \text{ Pa}$ (n^1 akışkanı), \bullet : $\tau_c=100 \text{ Pa}$ (n^2 akışkanı)

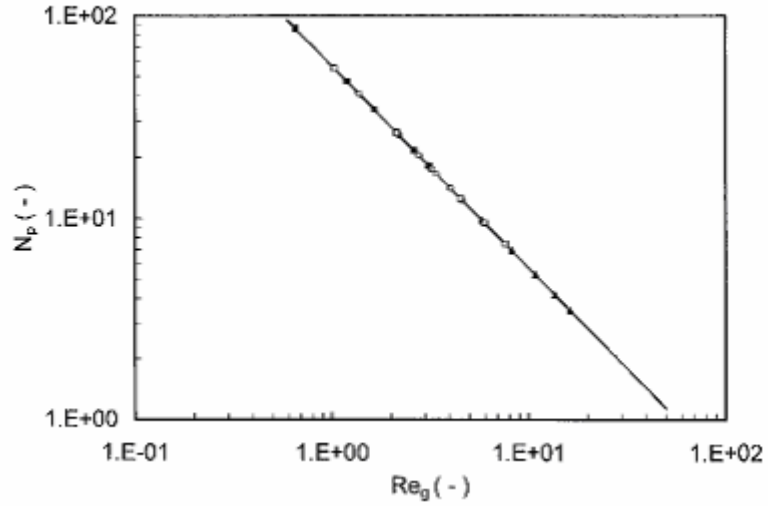
Bu şekiller τ_c 'nin yerel ortalama kesme oranı profili üzerindeki etkisini gösteriyor. Türbine yakın bölgelerde yüksek değerler elde edilirken türbinden uzak bölgelerde ise düşük değerler ortaya çıkmaktadır. ($\tau_c=100 \text{ Pa}$)

Yerel ortalama kesme oranının gelişimini/artışı, yerel viskozite her ikisinin de reolojik davranışına göre profilini belirler. Şekil 5.32'de n^1 ve n^2 akışkanları için τ_c 'nin yerel viskoziteye olan etkisi gösterilmiştir.



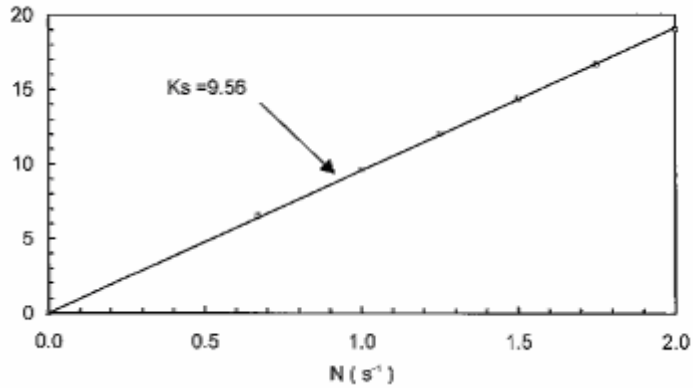
Şekil 5.32 Akma gerilmesi etkisinden doğan viskozite profili ($N=1 \text{ s}^{-1}$, $r=0,0795 \text{ m}$ ve $\alpha=0$); \square : $\tau_c=100 \text{ Pa}$ (n^2 akışkanı), \bullet : $\tau_c=10 \text{ Pa}$ (n^1 akışkanı), _____ $\tau_c=0 \text{ Pa}$ (newtonsal akışkan)

Kaynakta gerilme gösteren akışkanlar için, sonuçlar N_p ye karşı Re grafiği çizilip toplanarak bulunabilir. Şekil 5.33’de bütün veriler Newtonsal karakteristik eğrisine uymaktadır.

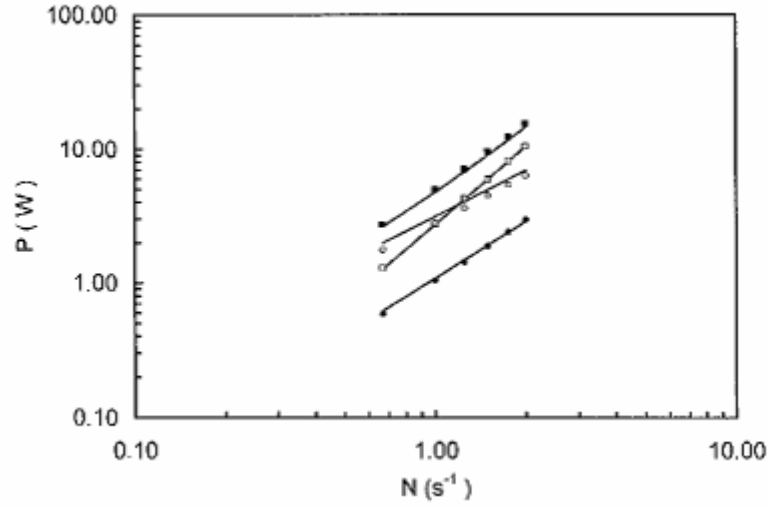


Şekil 5.33 Karıştırıcı türbinin genelleştirilmiş güç eğrisi; \circ : n°1 akışkanı, \blacksquare : n°2 akışkanı, \blacktriangle : n°4 akışkanı, \square : n°5 akışkanı, _____: Newtonsal akış eğrisi ($N_p = 57/Re$)

Kesme oranı ile güç notasyonu N şekilde orantılı olduğu görülmektedir. K_s eğrinin eğimini vermektedir. Şekil 5.34’de 5 numaralı akışkan için kesme gerilmesine göre güç notasyonunun değişimi gösterilmektedir.



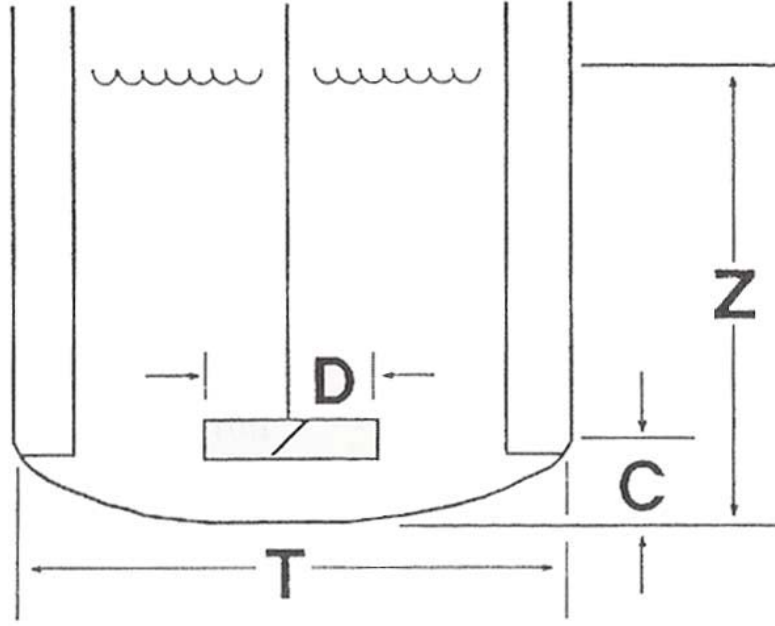
Şekil 5.34 n°5 akışkanı için Metzner-Otto sabitin K_s 'in belirlenmesi



Şekil 5.35 Analitik ve nümerik güç eğrilerinin karşılaştırılması ($K_s=8.5$); \square : n°1 akışkanı, \blacksquare : n°2 akışkanı, \bullet : n°4 akışkanı, \circ : n°5 akışkanı, _____: ($K_s=8.5$)

5.3 Karıştırıcı Tankları

Karıştırıcı ekipmanlardan tanklar, karışımın daha üniform ve homojen olması bakımından genellikle silindirik olarak seçilirler. Karışımın yapılan maddenin özelliğine göre de (katı-sıvı) kübik, konik ve yarı silindirik olanları da vardır. Silindirik tanklar genellikle gömleklilik olarak imal edilirler. Böylece karışımı düzenleyecek ısıtma-soğutma olayı gömlek içerisine sıcak veya soğuk akışkan göndermekle sağlanmış olur. Şekil 5.36'da mikser ve tankın boyutları ile ilgili temel eşitliklerin çizimi ve gösterimi verilmiştir. Tank şekilleri çoğunluk itibariyle silindirik ve tipik olarak tank üzerindeki sıvı yüksekliğinin tank çapına oranı ise (Z/T) 1,0 olduğu görülmektedir. Bu durumda tankta Z/T oranının düşük olduğu durumlarda (0,2-0,4 arası) bu durumlarda genellikle geniş saklama tanklarının kullanıldığı petrol endüstrisinde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan, tanklar ince ve uzun olabilmektedir. Çoklu pervaneler geniş, uzun tanklarda Z/T oranı minimum 0,8 olacak şekilde olmalıdır. Bazen tanklarda minimum güç kullanarak maksimum verim elde etmek istenen durumlarda ise Z/T oranının 0,6, bu noktada tasarımcı bazı parametreler ekleyerek etkiyi optimuma çıkarıp sisteme uygulamalıdır. Bu noktada Z/T oranı 0,6 olan tankın maliyeti Z/T 1,0 'a oranla fazla olmakla birlikte güçten elde edilen kazancı amorti etmekte ve burada da seçimi yapacak olan mühendise büyük iş düşmektedir.



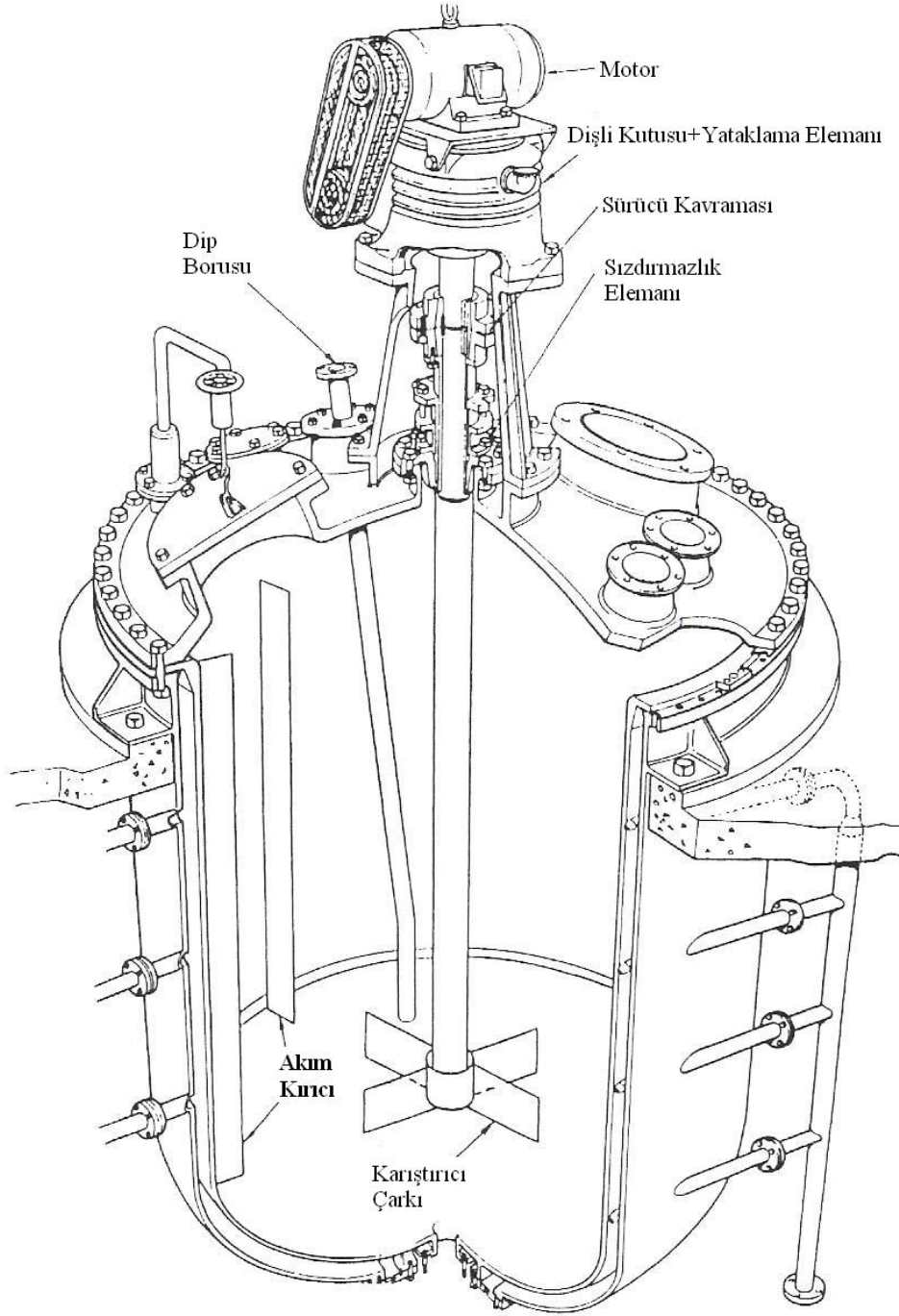
Şekil 5.36 Karıştırıcı tankı

Kare biçimli tanklar, dikdörtgen biçimli tanklara bir örnektir. Güç seviyesi 1 hP/1000 galon a kadar, kendinden saptırıcılı, ek bir saptırıcıya ihtiyaç duymayacak şekilde ayarlanmıştır. Belli bir seviyeye kadar saptırıcı ihtiyacı duymazken belli bir seviyenin üstünde ise saptırıcı ihtiyacı devreye girmektedir. Genellikle kare biçimli tanklarda 4 adet saptırıcı kullanılmaktadır. Dikdörtgen biçimli tanklarda ise 2 adet saptırıcı kullanılmaktadır. Ayrıca bu tanklarda komplike şekiller, eliptik kapak, küresel kapaklar ve yatay silindirik tankları içermektedir.

5.4 Akım Kırıcılar

Yüksek vorteks etkisini ortadan kaldırmak için düşük viskoziteli akışkanlara direkt tank kullanarak merkezden monte edilen karıştırıcıların, tank yüzeyine akım kırıcılar yerleştirilerek engellenmiş olur. Genelde tank yüzeyine 4 adet yerleştirilen akım kırıcılar, her birinin boyutları aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bazı durumlarda akım kırıcılar ile tank yüzeyi arasında bir boşluk bırakılabilir. Böylece farklı bir sistem elde edilmiş olur.

Yüksek vorteks problemi ortaya çıkarmayan viskoz akışkanlarda saptırıcı levha gerekli değildir.

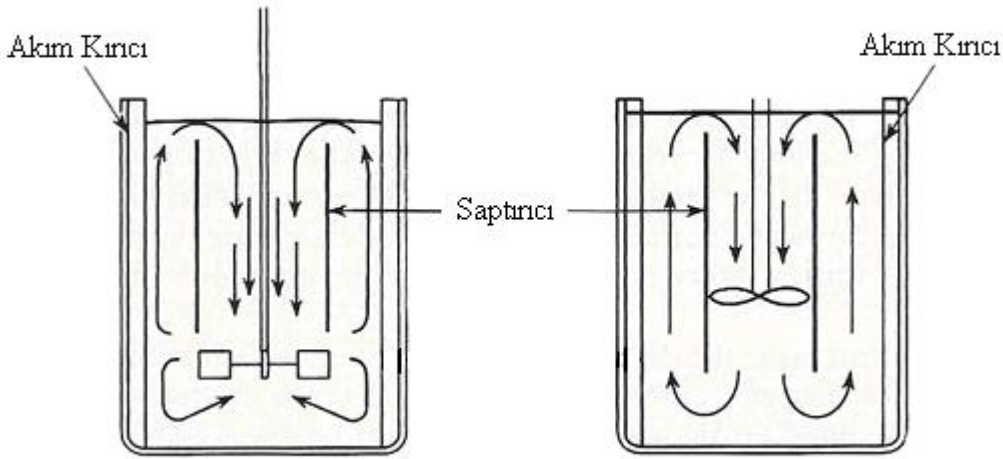


Şekil 5.37 Tank içerisindeki mekanik elemanlar

5.5 Saptırıcılar

Herhangi bir tipteki pervaneye geri dönen akış, çünkü katı yüzeyler kontrol altında olmayabilir. Pervaneye doğru veya pervane tarafından, örneğin, bir odada fan tarafından idare edilen havanın akışına benzerlik göstermektedir. Pervane tipi karıştırıcıların kullanıldığı

birçok uygulamada herhangi bir limite bağlı olmaksızın, pervanenin emişi akışın yönüne ve hızına bağlı olarak kontrol edilmekte ve şekil 5.38'deki gibi saptırıcılar kullanılmaktadır. Bu tip aletlere pervanede istenenden daha yüksek kesme kuvvetleri meydana geldiği zaman onu önlemede, bazı emülsiyon uygulamalarında üreticinin isteği ile veya karışımın yüzeyinde katı partiküllerin yüzme eğilimi göstermesi durumunda tank içindeki sıvının daha iyi disperse olmasına yardımcı olmaktadır. Saptırıcılar, pervane çevresine yerleştirilebildiği gibi plakalı karıştırıcılarda pervanelerin üst bölgesine monte edilmektedir. Değişik akım tiplerine göre saptırıcılar montajı şekil 5.38'de gösterilmektedir. Akış boruları sistemde ek sürtünmeler meydana getirmekte, ve sistemde varolan gücün karışıma yardımcı olan kısmında azalmalar meydana gelmekte ve bunda ötürü gerekli olmadıkça kullanılmamaktadır.



Şekil 5.38 Değişik akım tiplerine göre konumlandırılmış saptırıcı örneği

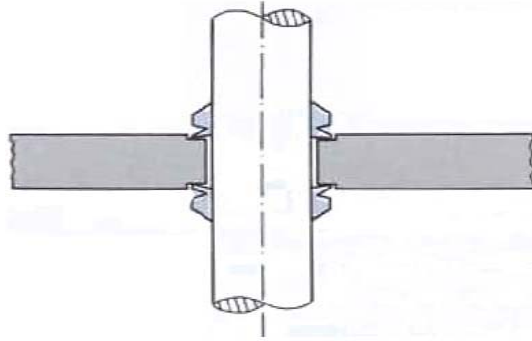
5.6 Mil Sızdırmazlık Elemanları

Karıştırıcılar ve tahrik sistemlerinde iki tip mil sızdırmazlık elemanı vardır. Uygulama alanına göre bu iki tipten birisi seçilir. Bunlardan birincisi salmastra kutusunun içinde yer alan bez biçiminde preslenmiş ayarlanabilir yumuşak salmastradır. Bir diğer sızdırmazlık metodu ise, mekanik salmastra kullanılarak yapılandır.

Mekanik salmastra yüksek basınç toksik ve zararlı madde içeren, kolay yanıcı veya çok yüksek kapasitelerde kullanılması zorunluluğu ortaya çıkar. Yumuşak salmastradan farklı olarak, sistemde küçük boşluklar oluşturarak mil ve sızdırmazlık elemanı arasında bir yağ

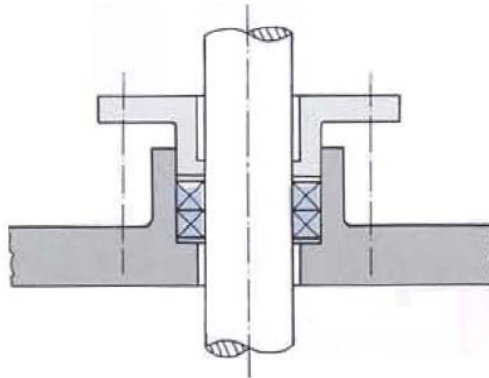
filmi oluşturarak, sistemde oluşabilecek boşluğu sıfıra indirmek istemektedir. Bundan başka mekanik salmastralarda kullanılan sabitleme rulmanları veya acil kapama aparatları şekil 5-43 - 5.44 - 5.45’de gösterilmektedir.

Şekil 5.39’da çift V-ring tipi salmastra gösterilmektedir. Bir veya iki adet V-Ring toza, su damlamasına, sıçramasına ve buhara karşı sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu tip salmastralar basınçlandırılmamış kaplarda kullanılmaktadır. Silikon yağ doldurularak sızdırmazlık ağzının yağlanması sağlanmaktadır. V-ring malzemesi perbunan veya vitondur.



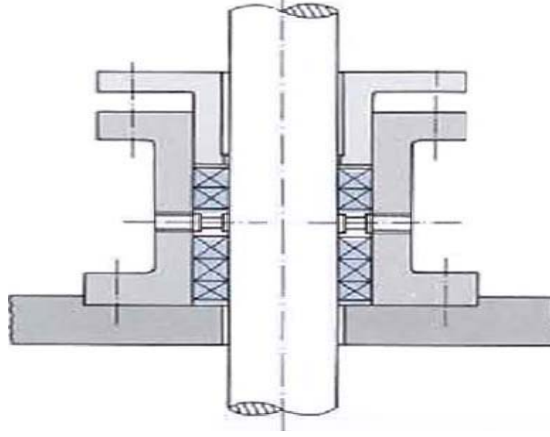
Şekil 5.39 V-ring örneği

Şekil 5.40’da küçük salmastra kutusu gösterilmektedir. Bir veya iki adet yumuşak salmastra halkası toza, su damlamasına, sıçramasına ve buhara karşı sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır.



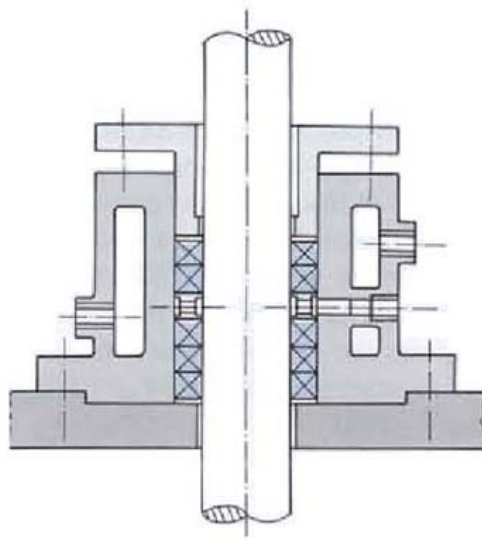
Şekil 5.40 Küçük salmastra kutusu

Şekil 5.41’de Yağlama halkalı salmastra kutusu gösterilmektedir. Birkaç salmastra halkası ile ve ilave bir silme ve/veya yağlama halkası bulunmaktadır. Yüzey altı montaj veya basınçlı yada vakumlu kaplar için bir uygulamadır.Yüksek sıcaklıklarda kullanılan sistemler için idealdir. Maksimum 4 bar’a kadar dayanıklıdır.



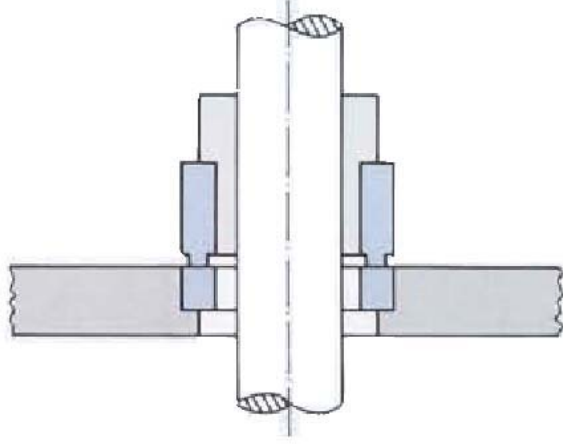
Şekil 5.41. Yağlama halkalı salmastra kutusu

Şekil 5.42’de soğutma ceketli salmastra kutusu gösterilmektedir. Birkaç salmastra halkası ve sürekli bit sıvı soğutma işleminde ilave bir soğutma ceketli bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan sistemler için idealdir. Maksimum 4 bar’a kadar dayanıklıdır.



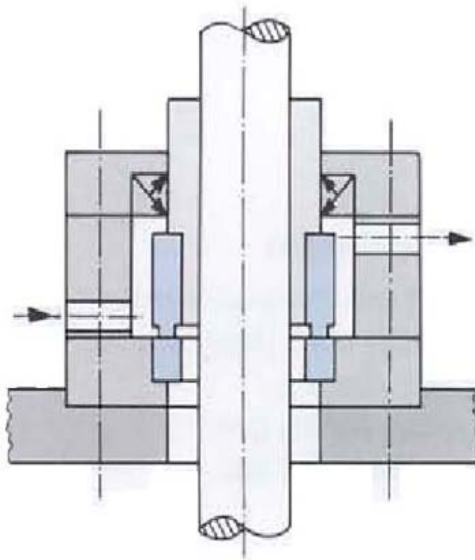
Şekil 5.42. Soğutma Ceketli Salmastra Kutusu

Şekil 5.43’de tek yönde çalışan mekanik salmastra gösterilmektedir. Küçük sızdırmazlık yüzeylerindeki sızdırmazlık istenen durumlarda kullanılmaktadır. Sızdırmaz ve bakımı rahattır. Sıvı yüzeyinin altına monte edilir. Maksimum 180 °C ve 6 bar’a kadar dayanıklıdır.



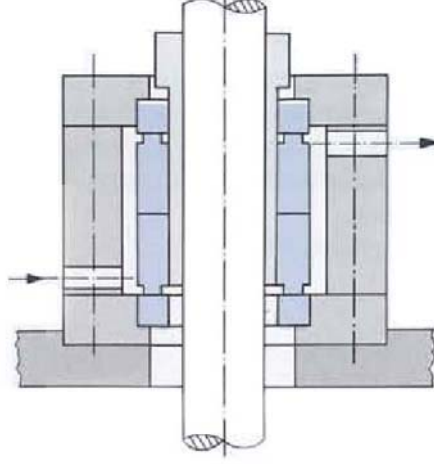
Şekil 5.43. Tek Yönde Çalışan Mekanik Salmastra

Şekil 5.44’de sönümlenme odalı tek yönde çalışan mekanik salmastra gösterilmektedir. Küçük sızdırmazlık yüzeylerindeki sızdırmazlık istenen durumlarda kullanılmaktadır. Salmastra bölgesi uygun yağlama elemanı ve soğutma sıvısı ile doldurulmalıdır. Maksimum 120 °C ve 4 bar’a kadar dayanıklıdır.



Şekil 5.44. Sönümlenme Odalı Tek Yönde Çalışan Mekanik Salmastra

Şekil 5.45’de çift etkili mekanik salmastra gösterilmektedir. Sızdırmazlık, salmastra halka çifti tarafından sağlanmaktadır. Salmastra bölgesi uygun bir salmastra sıvısı ile doldurulmalıdır. Maksimum 180 °C ve 25 bar’a kadar dayanıklıdır.

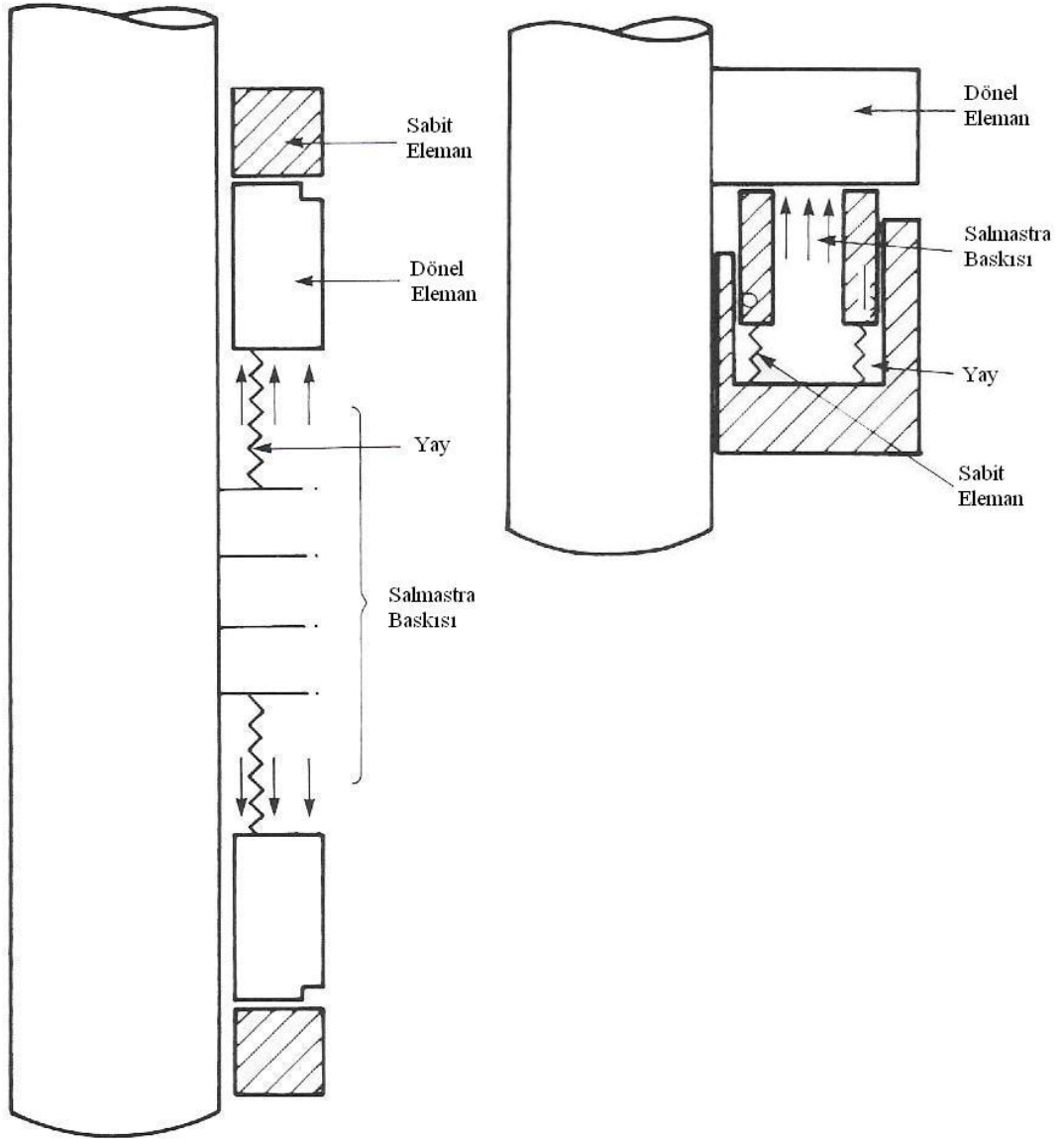


5.45 Çift Etkili Mekanik Salmastra

Eğer salmastrada herhangi bir boşluk oluştuğu takdirde salmastraların arasında oluşan boşluğu doldurur. Fakat, boşluk oranı çok küçük olursa ve tank tekrar doldurulursa veya tampon akışkanda bir azalma meydana gelirse acil kapama devreye girerek sistemi kapatır.

Güvenilir bir sızdırmazlık sağlamak için, riskli tehlikeli malzemeler içerdiğinde zehirli işlenmiş dumanların sızması onların dışarı atılması için pahalı havalandırma sistemlerinin yapılmasına gerek duyulduğundan dolayı emniyetli sızdırmazlık gereklidir. Örneğin; ilaç endüstrisinde, proseslerde sterilizasyonun sağlanmasında çok karşılaşılan bir durumdur.

Salmastra tasarımının tüm detayları bu tartışmaların ötesinde ve bir uğraş değildir. Fakat salmastraların seçiminde iki yol bulunmakla beraber, salmastra tipi karıştırıcı sürücü elemanlarının da seçimini etkileyebilmektedir. Bu iki tip salmastra sistemini ayırt etmek için aşağıda ortak eksenli ve eş merkezli olacak şekilde şematik olarak gösterilmektedir.



5.46 Koaksiyal geri dönüşlü ve eş eksenli çift etkili mekanik salmastra

Bu iki tip salmastrada presli dolgu macunu bulunmakta ve bu 1 veya 2 bar'ın üstünde kullanılan kaplarda sızdırmazlık elemanlarına karşı diğer elemanların yay boyunca etkiyen kuvvetleri azaltır. Şematik olarak ortak eksenli olarak ifade edilen örnekte sırt sırta vererek Bunun manası da mil yada salmastra gövdesine dolgu macunun basıncından dolayı herhangi bir net kuvvet etkimemektedir. Eş eksenli tipte ise dolgu macunu aynı yönde hareket ederek,

sonuçta mile verilmiş net bir açılmal baskı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Kap basıncı ile beraber bu nedenle dolgu macunu basıncı ittirerek yüzeyin genişlemesine neden olmaktadır. Eksenel itme kuvvetleri bu yolla oluşmakta, ve kullanım özelliğine göre bazı hallerde dişli kutusu seçimi ihtiyacı doğmaktadır.

İkinci bir nokta ise, milde meydana gelecek olan sapmaya karşı etkili bir yataklama gereksinimidir. Eş merkezli yataklamalarda tolerans aralığı 0.76 mm'ye kadar müsaade edilmekte, eş eksenli yataklamalarda ise sadece 0.076 mm'ye kadar müsaade edilmektedir. Böylece uygulamada verilen milin çaplandırılmasında, sadece gün iletim kapasitesi değil, ayrıca maksimum sapma toleransı da göz önünde bulundurulmalıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayide kullanılan karıştırıcıların çeşitliliği söz konusudur. Özellikle katı ve hamur kıvamındaki maddelerin karıştırılmasında kullanılan karıştırıcılar ihtiyaca en iyi şekilde cevap vermesi bakımından çok değişik şekiller alabilmektedir. Bu tür karıştırıcıların tasarlanmasında göz önüne alınacak standartlar oldukça azdır. Karışım sonucu oluşacak ürünün yoğunluğu dikkate alınarak ve homojen olması sağlanarak geliştirilen karıştırıcı ihtiyaca cevap veriyor demektir.

Sıvı maddelerin karıştırılmasında ise katılara oranla daha az problemlerle karşılaşılır. Yapılan deney ve araştırmalar bu tür maddelerin karıştırılmasında kesin kriterler ortaya koymuş ve karıştırıcı ekipmanları (çarkları, kanatları) standart hale getirmiştir. Sıvı madde karıştırıcı seçiminde ise karışım maddelerinin viskozitesi, yoğunluğu dikkate alınmalı ve karışım hacmine de bağlı olarak uygun ekipmanlar (kanat, çark, tank, tahrik mekanizması) seçilmelidir.

Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar, literatürde karıştırıcılar üzerine günümüze kadar yapılmış çalışmalar ile beraber değerlendirildiğinde, konu üzerine yapılan çalışmalarda yardımcı kaynak niteliği taşımaktadır. Karıştırıcı sistemler dizayn edilirken akım kırıcı kullanılmasına dikkat edilmelidir. Önemli bir husus da güç sarfiyatını asgariye indirerek karışımın gerçekleşmesini sağlamaktır. Bunun için de karıştırıcı çark, kanat ve bıçakları uygun formda planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bloch H.P., Soares C. (1998), "Process Plant Machinery", Butterworth-Heinemann, Texas
- Harnby N., Edwards M.F., Nienow A.W. (1997), "Mixing in the Process Industries", Butterworth-Heinemann, Oxford
- McCabe W, Smith J.C., Harriot P. (1993), "Unit Operations of Chemical Engineering", McGraw Hill, New York
- Brauer H. (1971), "Grundlagen der Einphasen und Mehrphasen Strömungen", Verlag Suerländer, Aarau und Frankfurt
- Özgen E, (1993), "Sanayide Kullanılan Karıştırıcıların Çeşitleri, Güç ve Kanat Hesaplamaları", Yıldız Teknik Üniversitesi FBE, İstanbul.
- Ascanio G., Foulcault S., Tanguy P.A. (2003) "Performance of a New Mixed Down Pumping Impeller" Chemical Engineering Technology, Canada
- Solares T.E., Fuente E.B., Tecante A., Tanguy P.A. (2002) "Gas Dispersion in Rheologically-Evolving Model Fluids by Hybrid Dual Mixing Systems", Chemical Engineering Technology, Canada
- Wu J., Zhu Y., Bandopadhyay P.C., Pullum L., Shephard I.C. (2000), "Solid Suspension with Axial Flow Impellers", AIChE Journal, Australia
- Deplace G., Leuliet J.C., Ronse G. (2000), "Power Requirement when Mixing a Shear-Thickening Fluid with a Helical Ribbon Impeller Type", Chemical Engineering Technology, France
- Torrez C., Andre C. (1999), "Simulation of a Rushton Turbine Mixing Yield Stress Fluids : Application of the Metzner-Otto Concept", Chemical Engineering Technology, France
- Geppert H., (2005), "Karıştırıcı Tahrik Sistemleri Katalogu"
- Özgür D. (1989), "Proses Tekniği Ders Notları", Yıldız Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 06.11.1981

Doğum yeri Isparta

Lise 1997-2000 Kütahya Fen Lisesi

Lisans 2000-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2005-2006 Işık Endüstriyel Ürünler Pazarlama A.Ş.