

T.C  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KARIŞTIRICILAR VE KARIŞTIRMA KABINDAKİ AKEM OLAYLARININ  
İNCELENMESİ

Hazırlayan

Makina Mühendisi NADİR İLTEM  
Balıkesir Mühendislik Fakültesi

Termodinamik Dalı Yüksek Lisans Tezi

Yöneten

Yard. Doç. Dr. ÖMER SAMİH NERTBAŞ

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

BALIKESİR, Haziran 1986

KARIŞTIRICILAR VE KARIŞTIRMA KABINDAKİ AKIM OLAYLARININ  
İNCELENMESİ

Bu Tez, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkesir  
Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'na Yüksek Lisans  
Tezi olarak sunulmuştur.

MADİR İLMEZ

BALIKESİR, HAZİRAN 1986

Bu Tez, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmak üzere hazırlanmıştır.

  
.....



Tez Yöneticisi

Yard. Doç. Dr. Ömer Samih Mertbaşı

Bu Tez, tarafımızdan incelenmiş, seviyesi ve içeriği yönünden U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü lisans üstü öğretim yönetmeliğine uygun olarak hazırlandığı saptanmıştır.

JÜRİ ÜYELERİ

- 1 - Doç. Sabri Savaş.....
- 2 - Y. Doç. Dr. Ümit Kancıoğlu.....
- 3 - .....

  
.....  
  
.....  
.....

## ÖNSÖZ

Maddelerin karıştırılması, herhangi bir şekilde yapılamaz. Karışım da homojenlik sağlanması gerekir. Bunu sağlamak için karıştırıcılar kullanılır.

Karıştırıcıların kullanılma sahaları birbirinden farklıdır. Sistemin ve karıştırılacak maddelerin özelliklerine göre karıştırıcının tipi belirlenir.

Bu çalışmada; karıştırıcılar ve karıştırma kabındaki akım olayları , yapılan araştırmaların ışığında incelenmiştir.

Böyle bir konuda çalışma imkanını değerli hocam Yard. Doç. Dr. Ömer Samih Mertbaş vermiş ve çalışmamda bana yardımcı olmuştur. Tezin hazırlanmasında araştırma görevlisi arkadaşlarım yardım etmişlerdir. Kendilerine yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Balıkesir, Haziran 1986

Mak. Müh. Nadir İLTEN

## ÖZET

Bu çalışmada; karıştırma olayları, karıştırma yöntemleri, bu olaylarda kullanılan karıştırıcılar ve güç hesapları daha önce yapılmış olan çalışmalara göre incelenmiştir.

1. bölümde; mevcut kaynakların konu ile ilgili kısımları özet halinde verilmiştir.

İki veya daha fazla komponentin biraraya getirilmesine karıştırma denir. Karıştırılan maddeler, katı, sıvı, gaz veya bunların kombinasyonu olabilir. Karıştırmada, karıştırma zamanı, karıştırma derecesi ve homojenlik çok önemlidir. Bunun için kaplara ısı transferi de yapılabilir. Bu olaylar 2. bölümde incelenmiştir.

3. bölümde; kullanılan karıştırma yöntemleri, karışıma bağlı olarak verilmiştir. Bunlar, sürekli, kesikli, pnömatik, mekanik olarak sınıflandırılır.

4. bölümde; karıştırma kabındaki akım olayları incelenmiştir. Meydana gelen girdap ve bunu giderme yolları araştırılmıştır.

Karıştırıcılar, karışıma giren maddelere ve karıştırma yöntemlerine göre değişmektedir. En çok kullanılan karıştırıcılar, püskürtmeli, pervaneli, helezon, türbin, çapalı ve yaprak karıştırıcılarıdır. Bunlar 5. bölümde incelenmiştir.

6. bölümde; kullanılan karıştırıcı tipine göre güç ihtiyacı için daha yapılmış olan teorik ve pratik araştırmalar özetlenmiştir.

## ABSTRACT

In this study; the mixing events, methods, mixers, which are used in this evets and the power calculations were examined according to the former studies.

In the first chapter; "The parts" of present sources which are related to the main subject were summarized.

Mixing is defined as combining two or more components. The matters mixed can be either solids, liquids, gases or a combination of these matters. Mixing time, mixing degree and homogeneity are very important in the mixing events. Heat transfer, therefore, can be done to the containers as well. These events were examined in chapter 2.

In the third chapter; the mixing methods used were given in relation to the mixture. They can be classified in to continue, transient, pneumatic and mechanic methods.

In the fourth chapter; The current events which are in the mixing container were examined. The whirlpools created and the ways of preventing them were investigated.

Mixers change according to the components and the mixing methods. The most popular mixers are sprayer mixers, propelled mixers, spiral, turbine, whirlpooled mixers and leafed mixers. They examined in chapter 5.

In the sixth chapter; The theoretical and pragtical investigates made in the past for the power demand according to type of the used mixer were summarized.

## ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	B Faktörü	8
2.2	a ve m Katsayıları	8
2.3	Spesifik Karıştırıcı Gücü	10
3.1	Direnç Sayıları	26
4.1	Girdap Sayısı	29
5.1	Karıştırıcı Tipleri	52
5.2	Kullanılan Akışkanların Madde Büyüklükleri	58
6.1	$c_1$ ve $c_2$ Sabitleri	62
6.2	Güç Eğrilerine Göre Düzenleme	63
6.3	Güç Eğrilerine Göre Düzenleme	64

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Yoğurma Makinası	5
2.2	Kuru Karıştırıcı	6
2.3	Yapraklı Karıştırıcı	7
2.4	Yapraklı Karıştırıcının Direnç Sayısı	7
2.5	Karıştırma Derecesi	12
2.6	Karıştırıcı Gücü ve Karıştırma Zamanı	12
2.7	Çözünme Sayısı	14
2.8	Doyma Derecesi	14
2.9	Kapların Su Buharı İle Isıtılması	15
2.10	Karıştırma Kabı	16
2.11	Boru Demetleri	16
2.12	Karıştırmada Hız Dağılımı	17
2.13	Ortalama Hız Oranları	17
2.14	Lokal Kayma Gerilmesi	19
2.15	Gazın Re Sayısının Açıklanması	21
2.16	Bir Türbin Karıştırıcı	21
2.17	Bir Karıştırma Kabı	22
3.1	Karıştırma ve Püskürtme Sistemli Kaplar	24
4.1	Karıştırma Kabında Oluşan Sirkülasyon ve Girdap	28
4.2	Karıştırıcılarda İyi Karışmayan Bölgeler	28
4.3	Karıştırıcının Eksantrik Yerleştirilmesi	29
4.4	Karıştırıcının Yandan Yerleştirilmesi	30
4.5	Akım Kırıcılı Kap	31
4.6	Akışkan Dış Yüzeyi	31
4.7	Maksimum Girdap Derinliği	33
4.8	Akışkan Hacminin Kısmi Bölümleri	33
4.9	$\frac{z^*}{z^*}_2$ Değerleri	34



<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
4.10	Bir Yapraklı Türbin Karıştırıcıdaki Akış	35
4.11	Çevrinti Sistemi Oluşumu	35
4.12	Bir Yapraklı Türbin Karıştırıcıdaki Akım	35
4.13	Yaprak Sayısına Bağlı Güç Sayısı	37
4.14	Karıştırıcının Ortalama Seviyesindeki Akım	37
4.15	Gazlanan Karıştırıcı Etrafındaki Akış	38
4.16	Çevrinti Göbeğinin Gazla Dolması	39
4.17	Komşu Bölgenin Gazla Dolması	40
4.18	Bir Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış	40
4.19	Gazın Güç Sayısı	41
4.20	Kaptaki Gazsız Akışkanın Akımı	42
4.21	Akışkan Dış Yüzeyindeki Akımlar	42
4.22	Gazlanan Kaptaki Akış	43
5.1	Sürekli Çalışan Karıştırıcı	46
5.2	Karıştırıcı Uzunluğu	47
5.3	Karışım Sayıları	47
5.4	Pervaneli ve Helezon Karıştırıcılar	48
5.5	Karıştırıcı Pervaneler	49
5.6	Türbin Karıştırıcı	50
5.7	Türbin Karıştırıcılar	50
5.8	Çapalı Karıştırıcı	51
5.9	Çarklı Karıştırıcılar	51
5.10	Planet Karıştırıcı	54
5.11	Fırdöndü Karıştırıcı	55
5.12	Scheibel Karıştırma Kolonları	56
5.13	Kühni Karıştırma Kolonları	56
5.14	Deneme Sisteminin Şeması	57
5.15	Karıştırıcıların Enerjik Olarak Karşılaştırılması	59
6.1	Türbinli Karıştırıcının Güç İfadesi	60

SekilSayfa

6.2	Güç Sayısının Gazın Reynold Sayısına Bağlılığı	61
6.3	Güç Sayısı ve Güç Fonksiyonu	63
6.4	Radial Karıştırıcıların Güç İhtiyacı	65
6.5	Çapalı Karıştırıcıların Güç İhtiyacı	65
6.6	Re ve Ga Sayılarına Bağlı Olarak Güç Sayısı	68
6.7	Levhalı Karıştırıcı	71
6.8	Güç Sayıları	72
6.9	Güç Sayıları	72
6.10	Eşdeğer Çap	74
6.11	Eşdeğer Çap ve Güç Sayısı	75
6.12	Eşdeğer Çap ve Güç Sayısı	75
6.13	Güç Sayısı ve Eşdeğer Çap	77

## TERİMLER ve SEMBOLLER

N	Karıştırıcı gücü
n	Karıştırıcı devir sayısı
$d_r$	Karıştırıcı çapı
$d_s$	Levha çapı
f	Levha kalınlığı
$h_r$	Karıştırıcı yüksekliği
l	Yaprak genişliği
c	Yaprak kalınlığı
z	Yaprak sayısı
$y$	
$d_w$	Mil çapı
D	Karıştırma kabı çapı
H	Akışkan yüksekliği
s	Akım kırıcıların genişliği
k	Akım kırıcıların kalınlığı
i	Akım kırıcıların sayısı
e	Karıştırıcının taban açıklığı
x	Karıştırıcının Eksantrikliği
$\dot{V}$	Gaz debisi
$d_p$	Kabarcık çapı
$\eta$	Viskozite
$\rho$	Yoğunluk
$\sigma$	Dış yüzeydeki gerilim
g	Yerçekim ivmesi

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ONAY	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TERİMLER VE SEMBOLLER	xii
İÇİNDEKİLER	xiii
Bölüm 1. GİRİŞ	
Bölüm 2. KARIŞTIRMA OLAYININ TEORİSİ	
2.1 Karıştırma Olayı	3
2.1.1 Sıvıların Gazlarla Karıştırılması	3
2.1.3 Sıvıların Katılarla Karıştırılması	4
2.1.2 Sıvıların Sıvıların Karıştırılması	4
2.1.4 Viskoz Madelerin Karıştırılması	4
2.1.5 Katıların Katıların Karıştırılması	5
2.2 Karıştırma Teorisi	6
2.2.1 Karışım Olaylarının Benzerliği	6
2.2.2 Karıştırma Derecesi	10
2.2.3 Karıştırma Zamanı	12
2.2.5 Kapların Isıtılması	14
2.2.6 Karıştırmadaki Kayma Gerilmesi	16
2.2.7 Karıştırma Olayındaki Benzerlikler ve Tanım Sayıları	19
Bölüm 3. KARIŞTIRMA YÖNTEMLERİ	
3.1 Sürekli ve Kesikli Karıştırma	28

3.2 Pnömatik Karıştırma	25
3.3 Mekanik Karıştırma	26
<b>Bölüm 4. KARIŞTIRMA KABINDAKİ AKIM OLAYLARI</b>	
4.1 Karıştırma Kaplarındaki Akım Tipleri	27
4.2 Akım Sahalarının İncelenmesi	27
4.2.1 Girdap Oluşumu	27
4.2.2 Girdaba Engel Olma	29
4.2.3 Girdap Derinliğinin Hesabı	30
4.3 Gazlanmayan Karıştırıcının Etrafındaki Akış	33
4.3.1 Bir Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış	33
4.3.2 Çok Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış	36
4.4 Gazlanan Karıştırıcının Etrafındaki Akış	37
4.4.1 Bir Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış	37
4.4.1.1 Çevrinti Göbeğinin Doldurulması	37
4.4.1.2 Komşu Bölgenin Doldurulması	39
4.4.2 Çok Yapraklı Bir Karıştırıcı Etrafındaki Akış	40
4.5 Kap İçinde Gazlanmayan Akışkanın Akımı	41
4.6 Kap İçinde Gazlanan Akışkanın Akımı	42
4.6.1 Taşma ve Taşmada Model Tasarımı	44
<b>Bölüm 5. KARIŞTIRICI TIPLERİ</b>	
5.1 Sürekli Karıştırıcılar	46
5.1.1 Hızlı Püskürtmeli Karıştırıcılar	47
5.1.2 Yavaş Püskürtmeli Karıştırıcılar	47
5.2 Akım Şekillerine Göre Karıştırıcılar	48
5.2.1 Aksiyal Karıştırıcılar	48
5.2.2 Radyal Karıştırıcılar	49
5.2.3 Teğet Karıştırıcılar	50
5.3 Mil Sayılarına Göre Karıştırıcılar	51

5.3.1 Tek Mili Karıştırıcılar	52
5.3.2 Çok Mili Karıştırıcılar	54
5.4 Karıştırma Kolonları	55
5.5 Deneme Sistemleri ve Deneme Biçimleri	56
5.6 Karıştırıcıların Karşılaştırılması ve Seçimi	59
<b>Bölüm 6. KARIŞTIRMA OLAYINDAKİ GÜÇ İHTİYACI</b>	
6.1 Akışkanın Gazlanıp Gazlanmamasına Göre Güç İhtiyacı	60
6.1.1 Gazlanmamış Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı	60
6.1.2 Gazlanan Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı	61
6.2 Karıştırıcı Tiplerine Göre Güç İhtiyacı	61
6.2.1 Aksiyal Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı	61
6.2.2 Radyal Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı	64
6.2.3 Teğet Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı	64
6.3 Akım Şekillerine Göre Karıştırıcının Güç İhtiyacı	66
6.3.1 Laminer Akımdaki Güç İhtiyacı	66
6.3.2 Türbülanslı Akımdaki Güç İhtiyacı	68
6.4 Kap Hacmine Bağlı Olarak Güç İhtiyacı	69
6.4.1 Yüksekliği Büyük Karıştırıcıların Güç İhtiyacı	70
6.4.2 Orta Yükseklikteki Karıştırıcıların Güç İhtiyacı	72
6.5 Akışkanın Özelliğine Göre Güç İhtiyacı	73
6.5.1 Newtonsal Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı	73
6.5.1.1 Eşdeğer Karıştırıcı Çapı	73
6.5.1.2 Yapraklı ve Çapalı Karıştırıcıların Güç İhtiyacı	74
6.5.1.3 Türbin Karıştırıcılar İçin Güç İhtiyacı	76
6.5.2 Newtonsal Olmayan Akışkanlar İçin Güç İhtiyacı	76

Bölüm 7. SONUÇLAR

KAYNAKLAR



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İki veya daha fazla komponentin biraraya getirilmesine karıştırma denir. Karıştırma işleminde genellikle bir karıştırıcı kullanılır.

Karışımın amacı, gerekli homojenliğin, en kısa zamanda, en az güç sarfederek sağlanmasıdır. Sistemin kuruluş masraflarının da düşük olması istenir.

Güç ihtiyacı üzerine, özellikle Japon bilim adamlarının çok geniş deneysel araştırmaları vardır. Bu konularla ilgili yazılmış eserlerde Japon bilim adamlarının deneysel çalışmalarından yararlanılmıştır.

Karıştırma zamanı üzerine, çok az araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar da sistematik değildir.

Prof. J. T. Banhero ve W. L. Bodger (1) eserlerinde, katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerin karıştırılmasının teorisini incelemişlerdir.

Bernd Otto Biesecker (2) çalışmasında, akışkanların karıştırıcılar yardımıyla gazlanmasını, gazlardaki akım olaylarını ve deneme sistemlerini araştırmıştır.

Vauck Müller (3) eserinde, karışım derecesi ve karıştırma zamanı ile ilgili araştırmalara, karıştırma yöntemlerine ve karıştırıcıların standartlaştırılmış ölçülerine değinmiştir.

H. J. Henzler (4) makalesinde, sürekli çalışan karıştırıcıların homojenleştirmeye uygunluğunu araştırmıştır.



P. Grassman - F. Widmer (5) kitabında, büyük sistemlerde kullanılan karıştırma kolonlarından bahsetmiştir.

E. U. Schlünder (6) eserinde, kaplardaki ısı transferine değinmiştir.

Dr. Ing. Hein Brauer (8) kitabında, karıştırıcıları sınıflandırdıktan sonra, karıştırıcıların, kapların ve akışkanların özelliklerine göre güç ihtiyaçlarını eğriler çizerek vermiştir. Çizmiş olduğu eğrilerin çoğu deneysel sonuçlara dayanmaktadır.

MacCabe - Smith (9) eserinde, karıştırma sırasında oluşan girdap ve bunu giderme yollarını incelemiştir.

## BÖLÜM 2

### KARIŞIM OLAYININ TEORİSİ

#### 2.1 Karıştırma Olayı

İki veya daha fazla komponentin biraraya getirilmesi işlemine karıştırma denir. Bu işlemde, gazlar, sıvılar veya katıların birbirleriyle karıştırılması sonucu bir bileşik oluşur. Gazların birbirleriyle karıştırılmasında genellikle bir zorluk çıkmaz. Çünkü gazlar, birbirleri içine bırakılmalarıyla kendiliklerinden karışırlar. Sıvıların birbirleriyle veya gazların sıvılarınla karıştırılmaları en çok karşılaşılan problemlerdir ve çok geniş bir şekilde araştırılmıştır. Sıvıların katılarınla karıştırılması, sıvının katıya oranının büyük olduğu durumlarda, sıvıların sıvılarınla karıştırılması gibi düşünülür ve işlemler buna göre yapılır. Sıvının katıya oranının küçük olması halinde, katıların katılarınla karıştırılması gibi alınır (1).

##### 2.1.1 Sıvıların Gazlarınla Karıştırılması

Gazların sıvılarınla karıştırılması, genellikle kap altından, gazın kap içindeki sıvıya enjekte edilmesi ile gerçekleştirilir. Gaz, kap içindeki sıvıya delikli bir boru ile de gönderilebilir. Bu metot, uzun bir zamanda gerçekleştiği gibi yukarıdaki metotdan daha fazla bir kuvveti gerektirir(1).

Sıvıların gazlarınla karıştırılmasında, genellikle bir karıştırıcı kullanılır. Karıştırıcıların akışkanların gazlanması için kullanma sahaları gün geçtikçe artmaktadır.

1-) Kimyasal Endüstride: Katalizörlü veya katalizörsüz akışkan ve gazlar arasındaki reaksiyonlar, çözülmüş maddelerin çökertilmesi, akışkanların gazlanması(2).

2-) Su Hazırlama Tekniğinde: Klor veya ozonlamayla dezenfekte, demir ve manganın çökertilmesi, gaz ve yağ giderimi(2).

3-) Kullanılmış Su Tekniğinde: Belediyelere ve sanayilere ait pis suların temizlenmesi(2).

4-) Biyoloji Tekniğinde: Bazı antibiyotiklerin ekşime prosesleri(2).

#### 2.1.2 Sıvılarla Sıvıların Karıştırılması

Sıvıların sıvılarla karıştırılması, genellikle silindirik bir kaba yerleştirilen karıştırıcı vasıtasıyla iki veya daha fazla sıvının karıştırılması olayıdır. Kısa bir zamanda iyi bir homojenlik sağlanılmasına çalışılır. Bunu sağlamak için ya karıştırıcı kap ekseninden kaçık dizayn edilir veya karıştırıcı kap eksenine yerleştirildiğinde kap duvarlarına akım kırıcılar yerleştirilir.

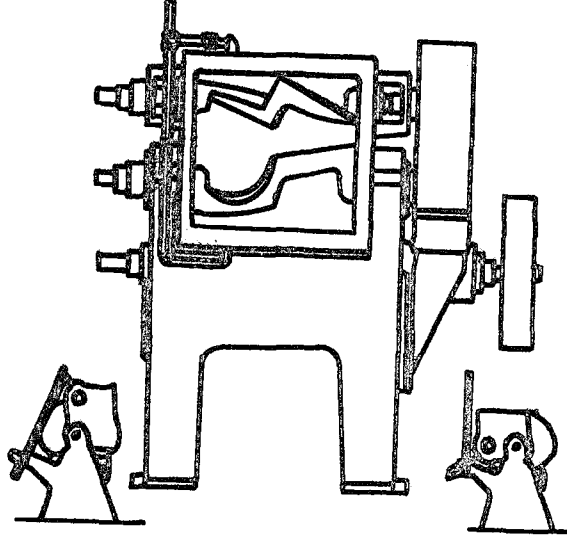
Sıvıların karıştırılmasının çok geniş kullanım sahası vardır. Kimya endüstrisinde, ilaç sanyinde, bazı içeceklerin hazırlanmasında sıvıların karıştırılması yapılır.

#### 2.1.3 Sıvıların Katılarla Karıştırılması

Katıların büyük tanecikli olmadığı, sıvıların çok viskoz olmadığı ve sıvının birim hacmindeki katı miktarının fazla olmadığı takdirde, düz kanatlı türbin kullanarak katıları sıvılar içinde süspünsiyon haline getirmek mümkün olur. Bu şartların dışında işlem, yoğurma veya bir katının diğer bir katı ile karıştırılması şeklini alır(1).

#### 2.1.4 Viskoz Maddelerin Karıştırılması

Viskozitesi çok yüksek maddelerin karıştırılması için yoğurma makinasının kullanımı oldukça yaygındır(Şekil-1). Yaklaşık olarak yarı silindirik



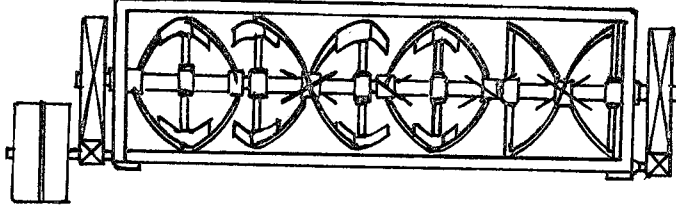
Şekil 2.1 Yoğurma Makinası (1)

bir tabanı olan, üstü açık bir tekneden meydana gelmiştir. Bu teknenin içinde kendilerine Z şekli verilmiş iki yatay bıçak dönmektedir. Bıçaklar, bir bıçak tarafından alınıp döndürülen madde hemen onu izleyen bıçak tarafından alınıp döndürülecek şekilde yerleştirilmiştir.

#### 2.1.5 Katıların Katılarıyla Karıştırılması

Katıların katılarıyla karıştırılmasında sistematik bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Kullanılan cihazlar çok değişik tiptedirler. Aynı tipteki cihaz farklı endüstrilerde de kullanılmaktadır.

Çok küçük tanecikli kuru tozların bir yerden diğer bir yere taşınmasında vidalı konveyörlerin kullanılması iyi bir karıştırma meydana gelmesini sağlar. Kısa süreli çalışmalar için kuru karıştırıcı (Şekil 2.2) çok sık kullanılır. Bu karıştırıcı yarı silindirik bir tekneden meydana gelmiş olup, toz sızmasını önlemek amacıyla üstü kapatılmıştır. İçerisinde iki veya daha fazla sayıda şeritli spiraller vardır. Spiralin biri sağa diğeri sola döner.



Şekil 2.2 Kuru Karıştırıcı

Böylece madde, tekne içerisinde ileriye veya geriye doğru hareket eder.

## 2.2 Karıştırma Teorisi

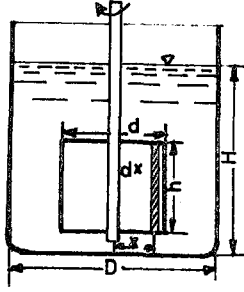
Karıştırma teorisinin incelenmesinde önce, yapılacak özel karışım belirlenir. Numunelerin incelenmesinde kullanılan metodların tipi ve hassasiyet dereceleri, numunelerin sayıları, yerleri ve karışımın istenilen özellikleri gözönünde bulundurulur. Numunelerin elektriksel iletkenlikleri ve özgül ağırlıkları, karışabilme derecesi, numunedeki komponentlerin miktarları belirlenir.

Numuneler, gelişigüzel fakat sabit noktalardan veya karışmanın en az olduğu noktalardan alınmalıdır. Bu noktaların yerleri tecrübelerle belirlenir.

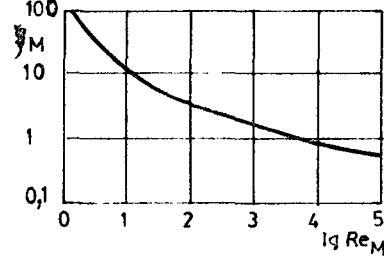
Karıştırma teorisinin amacı, gerekli karıştırma zamanını hesaplamak ve karıştırma işlemi süresince ne kadar güce ihtiyaç olacağını bulmak olmalıdır. Karıştırma için gerekli zaman konusunda çok az inceleme yapılmıştır. Fakat bunlar hem sistematik değildir ve hem de bunlardan genel bir sonuç çıkarılamaz. Güç ihtiyacı üzerine oldukça geniş araştırmalar vardır.

### 2.2.1 Karışım Olaylarının Benzerliği

Karıştırma sırasında yenilmesi gereken direnç, karışımın Reynold sayı-



Şekil 2.3 Yapraklı karıştırıcı



Şekil 2.4 Yapraklı karıştırıcının direnç sayısı

sına bağlıdır.

$$\} = f(Re) \dots\dots\dots (2.1) (3)$$

Şekil 2.3'de bir yapraklı karıştırıcı verilmiştir. Şekilde D kap çapı H doldurma yüksekliği, d karıştırıcı genişliği, h karıştırıcı yüksekliği, x karıştırıcı ekseninden uzaklıktır. Bu karıştırıcıdaki direnç sayısı da Şekil 2.4'de Reynolds sayısına bağlı olarak verilmiştir.

Newtonsal akışkanların karıştırılması için değişen karıştırıcı dönme sayısına bağlı olarak değişen Reynold sayısı :

$$Re_m = \frac{nd^2}{\nu} \dots\dots\dots (2.2)$$

Newtonsal olmayan akışkanların karıştırılması için Reynolds sayısı şöyle verilir :

$$Re_m = \frac{n^{2-c} d^{2-c} B^{1-c}}{\eta'} \left( \frac{4c}{3c+1} \right)^c \dots\dots\dots (2.3)$$

Burada B karıştırıcı şekline bağlı olarak değişen faktördür :

$$B = \frac{D^2}{d^2} \left( \frac{H}{d} \right)^2 \dots\dots\dots ( )$$

Şekil 2.4

Çizelge 2.1 B faktörü (3)

Karıştırıcı şekli	Yapraklı karıştırıcı	Çapalı karıştırıcı d/D=0,9 ; 0,93 ; 0,96	Çarklı karıştırıcı 4çark 6çark
B	10	51	71 84 11 11,6

Direnç sayısı akım şeklinin üç ana bölgesinde değişebilir.  $Re < 30$  olan laminar bölgede :

$$\lambda_m = a Re_m^{-1} \dots \dots \dots (2.4)$$

Bu sınır geçiş ve türbülanslı bölgede  $30 < Re < 10^4$  da :

$$\lambda_m = a Re_m^{-1/c} \dots \dots \dots (2.5)$$

a ve c sabitleri karıştırıcı şekline ve dizaynına göre belirlenir.  $Re_m > 10^5$ 'de atalet kuvveti sürtünme kuvvetini yener, böylece Reynold sayısının etkisi azalır :

$$\lambda_m = \text{sabit} \dots \dots \dots (2.6)$$

(2.5) eşitliğindeki direnç sayıları a ve  $m = 1/c$  sabit değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir :

Çizelge 2.2 a ve m sayıları (3)

Karıştırıcı tipi	a	m	$Re_m$
Yapraklı karıştırıcı	110	1,0	20
Kirişli karıştırıcı	6,8	0,20	—
Çapalı karıştırıcı	6,0	0,25	—
Pervaneli karıştırıcı	230	1,67	50
	4,6	0,35	$10^2 \dots 3 \cdot 10^3$
	1,2	0,15	$3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^4$

Çizelge 2.2 (devam)

	0,68	0	$3 \cdot 10^4$
Türbin karıştırıcı			
(6 yapraklı)	6,0	0,15	$10^3$
(12 yapraklı)	10,4	0,15	$10^3$

Sürtünme kuvvetinin atalet kuvvetini yemesi gerektiğinden ilk çalışma gücü işletme gücünden daha yüksektir. Güç oranı aşağıdaki gibi çıkarılmıştır :

$$N_A/N = 1 + 0,134Re_m^{0,22} \dots \dots \dots (2.7) (3)$$

V hacmindeki bir kabın karıştırıcı gücüne spesifik karıştırıcı gücü denir. Laminer sahada bu güç sabittir :

$$N_{sp} = N/V = \text{sabit} \quad (2.8)$$

Türbülanslı akım sahasında model karıştırıcı ve gerçek karıştırıcının, Reynold sayıları ve çapları arasındaki ilgi :

$$Re_{m,H}/Re_{m,M} = (d_H/d_M)^{4/3} \quad (2.9) (3)$$

şeklinde çıkarılmıştır. Burada H indisi gerçek karıştırıcıyı, M indisi model karıştırıcıyı ifade etmektedir.

Aynı şekilde karıştırma zamanları ile kap çapları arasındaki ilgi spesifik güçler eşit alınarak :

$$T_H/T_M = (D_H/D_M)^{1/3} \quad N_{sp,H} = N_{sp,M} \quad (2.10)$$

şeklinde çıkarılmıştır.



Spesifik karıştırıcı gücü, karışım olayının tesir derecesini etkiler. Optimal karışım derecesinde spesifik karıştırıcı gücü Çizelge 2.3'deki gibi çıkarılmıştır.

Çizelge 2.3 Spesifik karıştırıcı gücü (3)

Karıştırma olayı	Akışkanların karıştırılması	Katı maddelerin süspansiyonu	Peltesel akış. karıştırılması	Akışkan. gazlan.
$N_{sp}$ (KW/m <sup>3</sup> )	0,2...0,4	0,3...0,8	0,5...1	0,8..2

### 2.2.2 Karıştırma Derecesi

Başlangıçta ayrı olan komponentler karıştırma sırasında birbirleri içinde dağılırlar. Her bir karışımda komponentlerin karışmasıyla ideal homojenlikte bir yapı elde etmeye çalışılır.

Karışım içindeki bir komponentin kısmi ölçü değişimi, erişilen karışımın ölçüsü olarak kullanılır. Karıştırıcı içindeki homojen dağılımlardan çıkarılan kısmi miktarlar ( $M$ ) N denemeyle belirlenir. Bütün kısmi miktarlar ortalama değerlerden çıkarılır :

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n M_i \quad (2.11)$$

Standart sapma bu değerdeki azalış çoğalma olarak belirlenir :

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \quad (2.12)$$

Bu standart sapma başlangıçtaki standart sapma ile ilgilidir. Bu ilgi relativ standart sapma ile verilir :

$$S_{\text{Rel}} = \frac{S}{S_0} \quad (2.13)$$

Buradan karıştırma derecesi :

$$M = 1 - S_{\text{Rel}} \quad (2.14)$$

olarak kullanılır.

Karıştırmanın başlangıcında relativ standart sapma 1 ve karıştırma derecesi de sıfırdır. Birbiri içinde ideal olarak dağılan komponentlerde, karışım sonunda, bütün bölgelerde standart sapma sıfır, karıştırma derecesi 1'dir.

Şekil 2.5, karıştırma zamanı ile karıştırma derecesi arasındaki ilgiyi göstermektedir. Komponentlerin dağılması başlangıçta hızlı olur.  $M = 1$  asimtotuna yaklaştıkça dağılma yavaşlar.

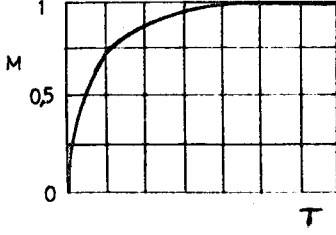
Karıştırma sabiti  $A'$  madde ve cihazlara bağlı olmak üzere, karıştırma hızı genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$\frac{dM}{dT} = A'(1 - M) \quad (2.15) \quad (3)$$

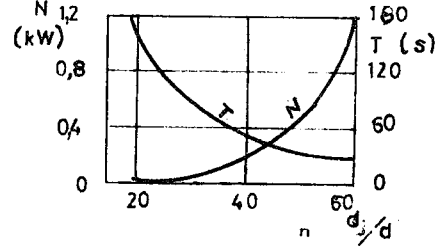
Karıştırma derecesi şöyle de ifade edilebilir :

$$M = 1 - \frac{\Delta a}{\sqrt{\bar{a}(1 - \bar{a})}} \quad (2.16) \quad (4)$$

Burada  $a$  ayarlanan bir konsantrasyona ve komponentlerin hacim oranına eşittir.  $\Delta a$  karıştırıcı çıkışındaki devir sayısına göre belirlenen Maksimum konsantrasyon farkıdır.  $\bar{a}$  ideal karışıma göre ortalama değerdir.



Şekil 2.5 Karıştırma derecesi



Şekil 2.6 Karıştırıcı gücü ve karıştırma zamanı

Katı maddelerin karışması tane büyüklüğüne, Tane şekline ve yoğunluğuna bağlı olduğu için sadece toz halindeki katı maddelerin karışımında seyrek olarak  $M = 1$  olur.

Kullanma maksadına göre karıştırma derecesinin son durumu kararlaştırılır ve karıştırıcının ekonomik olarak durdurulma zamanı tesbit edilir.

### 2.2.3 Karıştırma Zamanı

Şekil 2.6'da sudaki tuz çözeltisinin homojenleştirilmesi için gerekli karıştırma zamanı ve karıştırıcı gücü, düz kaptaki bir kirişli karıştırıcının devir sayısına bağlı olarak verilmiştir. Her iki eğriden de görüldüğü gibi gücün büyük bir artışıyla devir sayısının artışı, zamandan büyük bir tasarruf sağlamaz.

Bir sistemde homojenleştirmeyi sağlamak için karıştırıcı şekli ve devir sayısına göre değişen zaman gereklidir. Türbülanslı akım sahasında karıştırma zamanı karıştırıcı devir sayısı ile aşağıdaki gibi orantılıdır:

$$T = Cn^{-1} \quad (2.17) \quad (3)$$

Taşınan akışkan debisinin karıştırılması için bir karıştırma zamanı gerekir :

$$T = i \frac{V}{V} \quad (2.18)$$

Boyutsuz yuvarlanma sabiti  $i$  sulu çözeltilerde pervaneli karıştırıcılar için yaklaşık olarak 1,2 alınır.

#### 2.2.4 Kompenetlerin Birbiri İçinde Çözünmesi

Eriyen katı maddelerin dış yüzeyine bitişik çözelti akışkanı, çözelti madesi ile doyma durumuna gelir.

Çözünme hızını, karıştırma sıklığı, katı madde dış yüzeyi, sıcaklık ve sınır yüzeyi ile çözelti arasındaki konsantrasyon düşüklüğü etkiler. Çözelti, doyma konsantrasyonuna erişir erişmez, çözünmede bir durgunluk meydana gelir. Konsantrasyon düşüklüğü ve orantılı olarak çözelti hızı ne derece artarsa, katı madde sınır yüzeyinde sıcaklığın yükselmesi de o derece doyma konsantrasyonunu arttırır. Aynı zamanda artan sıcaklıkla dinamik viskozite ve çözelti kabındaki akımın türbülansı kuvvetlenir.

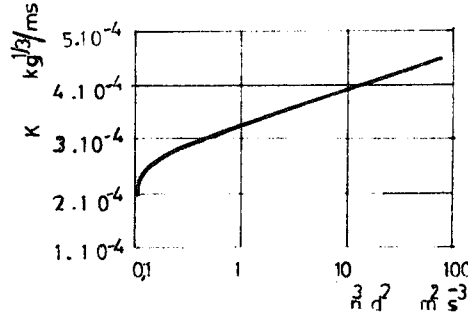
Karıştırma kaplarında çözeltiler için çözünme zamanı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi çıkarılmıştır. Burada  $V$  karıştırma kabını doldurulan hacmini,  $m_1$  başlangıçtaki katı madde miktarını,  $m_2$  işlem sonundaki katı madde miktarını,  $T$  zamanı ifade eder.

$$T = \frac{m_1 - m_2}{KV} \quad (2.19) \quad (3)$$

Boyutsuz çözünme sayısı  $K$  çözelti miktarının ve spesifik karıştırıcı gücünün bir fonksiyonudur. Bu ifade :

$$K = f(n^3 d^2) \quad (2.20)$$

şeklinde çıkarılabilir.



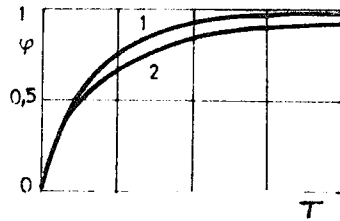
Şekil 2.7 Çözürme sayısı (3)

Şekil 2.7'de yüksek reynold sayılarında karabuhar asidi için çözürme sayısının karışım sıklığına bağlılığı verilmiştir.

Sürekli çalışmada, çözelti akışkanı ve çözelti maddesi eşit veya karşı akımlı sevk edilir. Cihaz içinde çözürme maddesinin bekleme zamanı erişilebilen doyma derecesini  $\psi$  belirler :

$$\psi = 1 - e^{-kt} \quad (2.21) \quad (3)$$

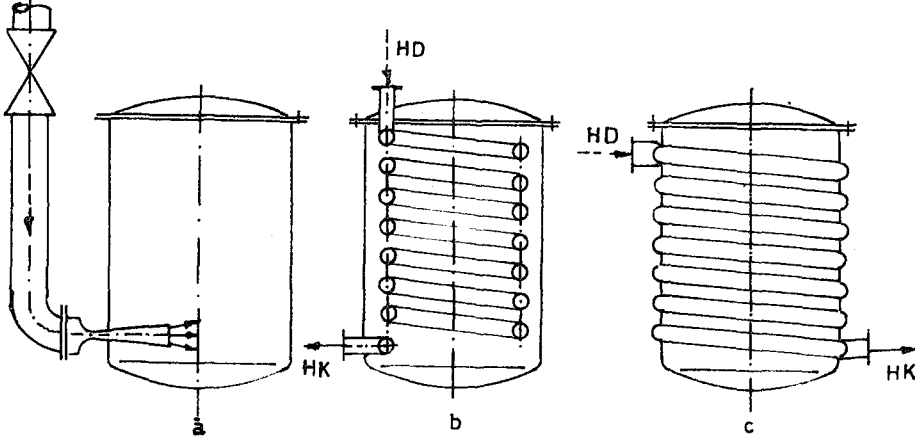
Şekil 2.8 çözürme zamanına bağlı olarak doyma derecesini göstermektedir. Şekilde 1 eğrisi karşı akımlı, 2 paralel (eşit) akımlı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 2.8 Doyma derecesi (3)

### 2.2.5 Kapların Isıtılması

Kaptaki sıcaklığın arttırılmasıyla daha homojen bir karışım elde edilir ve daha kısa bir zamanda karışım gerçekleştirilir. Bunun için kaplar ısıtılır. Isıtmak amacıyla su buharı kap içine vasıtasız olarak püskürtül-



Şekil 2.9 Kapların su buharı ile ısıtılması (5)

HD: Isıtma Buharı, HK: Yoğuşan ısıtma buharı

lebilir (Şekil 2.9a). Bu durumda yoğuşum suyu kap içindeki ile karışır. Bu genellikle istemez. Buhar ya kabın içine (Şekil 2.9b) veya kabın dışına kaynaklanan (Şekil 2.9c) boru demetleri içinde sevk edilir(5). Şekil 2.9b,c' deki yapılar kolay temizlenebilir olmasından dolayı özellikle karıştırma kaplarında kullanılır.

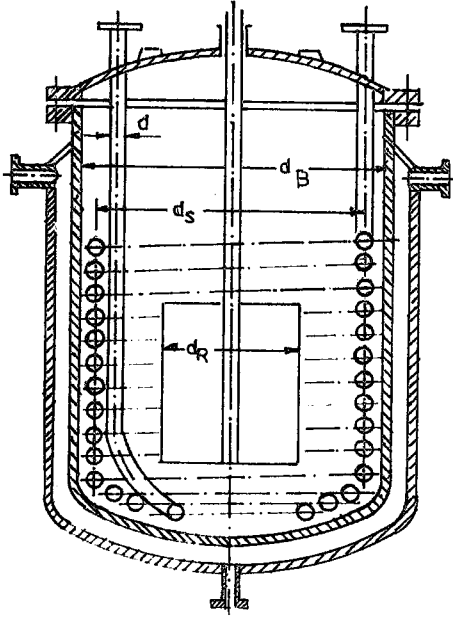
Kaplarda ısıtma yapıldığı gibi soğutma da yapılabilir. Birçok araştırmanın gösterdiği gibi, yaklaşık olarak Şekil 2.10'daki karıştırma kabı duvarlarında sıcak ve soğuk arasındaki ısı transferinde kap içindeki akışkan ile ısıtma veya soğutma borularındaki boyutsuz eşitlik :

$$Nu = kRe^d Pr^e \left( \frac{\gamma_{fl}}{\gamma_w} \right)^n \quad (2.22) \quad (6)$$

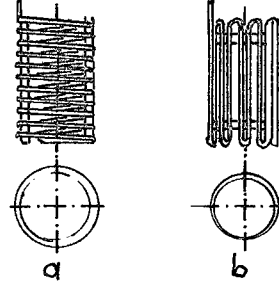
olarak çıkarılır. Reynold sayısı üssü  $d \approx 2/3$ , Prandtl sayısı üssü  $e \approx 1/3$ , viskozite oranları üssü  $n \approx 0,14$  borulardaki akışın türbülansına bağlıdır.  $k$  yapıya bağlı olarak değişen ısı geçiş katsayısıdır.

Karıştırma kaplarında ısı taşınımı genellikle boru demetleriyle yapılır (Şekil 2.11). Helezon şeklindeki boru demetleri ancak aksenal hareket veren karıştırıcıların ve akım kırıcıların bulunmasıyla düzenlenebilir.

Kap duvarlarına kaynaklanan borulardan kap duvarlarına yakın yerlere



Şekil 2.10 Karıştırma kabı (6)



Şekil 2.11 Boru demetleri (6)

a)Helezon b)Dikey

ısı geçmektedir. Isı geçen kısma sınır tabakası denir. Karıştırıcının oluşturduğu türbülansla sınır tabakasındaki karışım sürekli değişmektedir. Böylece kap içindeki karışıma ısı geçişi homojen bir şekilde oluşmaktadır(7).

### 2.2.6 Karıştırmadaki Kayma Gerilmesi

Karıştırıcı dış yüzeyindeki kayma gerilmesi, hız dağılımından meydana gelir. Hesaplama, Navier - Stoks hareket eşitliğinden çıkarılmağa çalışılır. Bu durum için :

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d(W_{\theta})}{dr} \right] = 0 \quad (2.23) \quad (8)$$

fomülü kabul edilir. Sınır şartları :

$$r = r_1 \text{ için } U = r_1 W \text{ ve } r = r_2 \text{ için } U = 0$$

alınıp iki kez integre edilerek çevresel hız için aşağıdaki eşitlik çıkarılır:

$$U = \frac{W r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left( \frac{r_2^2}{r} - r \right) \quad (2.24) \quad (8)$$

Bu eşitlikten  $Wr_1$  hızı çekilerek ve formül değiştirilerek :

$$\frac{U}{Wr_1} = \frac{D^*}{D^{*2}-1} (r_2/r - r/r_2) \quad (2.25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $D^* = r_2/r_1 = D/d_r$  çaplar veya yarıçaplar oranıdır. Şekil 2.12 yarıçaplara bağlı olarak hız dağılımını göstermektedir.

$r_2/r_1 = 1$  özel hali laminer hız dağılımındaki akışı belirler. Yarıçaplar oranının artmasıyla karıştırıcının naklettiği akışkan miktarı azalır. Buradan kesin bir sonuç çıkarmak için ortalama hız oluşturulur. Bu eşitlik:

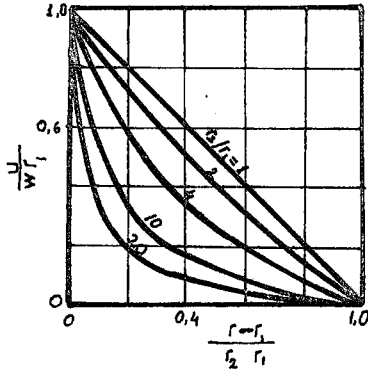
$$\bar{U} = \frac{1}{r_2 - r_1} \int_{r_1}^{r_2} U dr \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilir. (2.24) eşitliğindeki U yerine konulup integre edilirse:

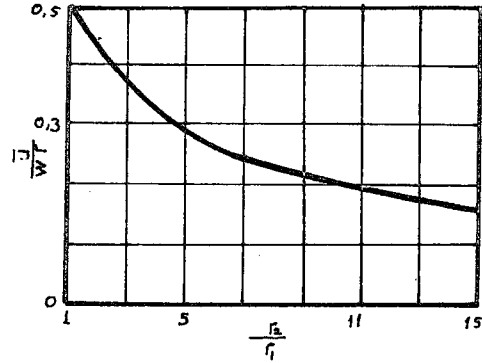
$$\frac{\bar{U}}{Wr_1} = \frac{\ln D^* - (1/2)(1 - 1/D^{*2})}{(1 - 1/D^{*2})(D^* - 1)} \quad (2.28)$$

eşitliği çıkarılabilir.

Bu hız dağılımı Şekil 2.13'de verilmiştir.  $r_2/r_1 = 1$  için  $\bar{U}/Wr_1 = 0,5$  ve  $r_2/r_1 = \infty$  için  $\bar{U}/Wr_1 = 0$ 'dır.



Şekil 2.12 Karıştırırmada hız dağılımı



Şekil 2.13 Ortalama hız oranları



Buradaki hız dağılımı kayma gerilmesinin hesaplanmasında kullanılır.

Kayma gerilmesi :

$$\tau = -\eta \frac{d(U/r)}{dr} \quad (2.28)$$

şeklinde çıkarılır. (2.24) eşitliğinden değişme miktarı için :

$$\frac{d(U/r)}{dr} = -2W \frac{r_2^2/r^3}{D^{*2} - 1} \quad (2.29)$$

ve buradan çıkarılan lokal kayma gerilmesi :

$$\tau = 2W \eta \frac{(r_2/r)^2}{D^{*2} - 1} \quad (2.30)$$

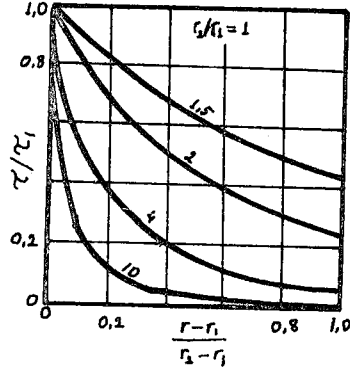
$r = r_1$  durumunda :

$$\tau = \tau_1 = 2W \eta D^{*2} / (D^{*2} - 1) \quad (2.31)$$

Buradan artan çap oranları ile kayma gerilmesinin azaldığı görülebilir.  $D^* = 1$  için  $\tau_1 = \infty$  ve  $D^* = \infty$  için  $\tau_1 = 2W \eta$  olur. Dönme hareketiyle ortaya çıkan kayma gerilmesinin, artan yarıçap oranları ile kullanılan akışkan miktarının azalacağını ortaya çıkarır.

Lokal kayma gerilmesi kayma gerilmesine bölünerek,  $\tau/\tau_1 = \frac{(r_2/r)^2}{D^{*2}}$  Şekil 2. 14'de yarıçaplara bağlı olarak verilmiştir .

Şekil 2.14'den, karıştırma kabının cidarında oluşan kayma gerilmesinin yarıçap oranlarının artması ile azalacağı görülebilir.  $r = r_2$  için  $\tau_2 = 2W \eta / (D^{*2} - 1)$ ,  $D^* = 1$  için  $\tau_2 = \infty$  ve  $D^* = \infty$  için  $\tau_2 = 0$  olacaktır.



Şekil 2.14 Lokal kayma gerilmesi

### 2.2.7 Karıştırma olayındaki Benzerlikler ve Tanım Sayıları

Benzerlikler ve tanım sayıları, karıştırıcı, karıştırma kabı ve karıştırılacak maddelerin temel büyüklüklerine bağlıdır. Bu benzerlikler ve tanım sayıları :

1 - Güç sayısı 
$$N^* = \frac{N}{n^3 d_r^5 \rho} \quad (2.32)$$

2 - Reynold sayısı 
$$Re = (n d_r^2 \rho) / \eta \quad (2.33)$$

3 - Froyd sayısı 
$$Fr = (n^2 d_r) / g \quad (2.34)$$

4 - Viskozite oranı 
$$\eta_A / \eta_B$$

5 - Yoğunluk oranı 
$$\rho_A / \rho_B$$

6 - Weber sayısı 
$$We = (n^2 d_r^3 \rho) / \sigma \quad (2.35) \quad (2)$$

7 - Yoğunluk sayısı 
$$\rho^* = (\rho - \rho_G) / \rho \quad (2.36)$$

8 - Hacimsel akış sayısı 
$$V^* = \dot{V} / (n d_r^3) \quad (2.37) \quad (2)$$

9 - Karıştırma sayısı 
$$nt = (Vn) / q = \pi D^2 L n / (4g) \quad (2.38) \quad (4)$$

$$10 - \text{Maksimum yaprak sayısı } z_{y\max} = (\pi d_r)/c_y \quad (2.39)$$

$$11 - \text{Yaprak sayısı oranı } z_y^* = z_y/z_{y\max} \quad (2.40)$$

Akışkanların gazlaşmasında gazın Reynold sayısı için değişik eşitlikler bulunmuştur :

$$12 - Re_G = (nd_r^2 \rho_G \gamma) / \eta_{G^*}, \quad Re_G = (10V \rho_G) / (\pi d_r \eta_G) \quad \text{veya}$$

$$Re_G = (U \delta \rho) / \eta \quad (2.41)$$

Son eşitlikteki dikey yönde karakteristik bir büyüklüktür. Şekil 2.15'de karıştırmadaki gazın akış modeli basitleştirilmiş olarak verilmiştir. Gazın akış hızı, akışkan yüzeyi F'e göre hesaplanır :

$$U = \dot{V}/F \quad (2.42)$$

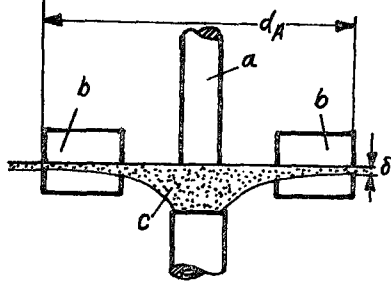
Şekil 2.15'e göre yüzey :

$$F = \pi d_r \delta \quad (2.43)$$

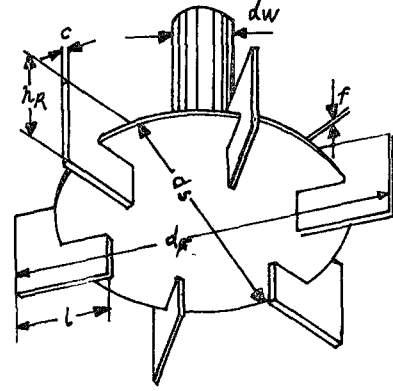
olarak çıkarılır.

Bunlardan başka aşağıdaki geometrik oranlar da kullanılır. (2.32) eşitliğinde tanımlanan güç sayısı bu oranların bir fonksiyonudur :

$$\begin{array}{llll} 13 - d_r/D, & 14 - h_r/D, & 15 - d_w/D, & 16 - h/D, \\ 17 - e/D, & 18 - s/D, & 19 - d_s/d_r, & 20 - l/d_r, \\ 21 - D^* = D/d_r, & 22 - k/d_r, & 23 - d_D/d_r, & 24 - f/d_r, \end{array}$$



Şekil 2.15 Gazın Re sayısının açıklanması



Şekil 2.16 Bir Türbin karıştırıcı

a)Mil, b)Karıştırıcı yaprak. c)Hava sahası δ)Çıkıştaki havanın tabaka yüksekliği

- |                  |                  |                |                  |
|------------------|------------------|----------------|------------------|
| 25 - $c/d_r$ ,   | 26 - $H/d_r$     | 27 - $e/d_r$   | 28 - $e_p/d_r$ , |
| 29 - $h_r/d_r$ , | 30 - $d_w/d_r$ , | 31 - $s/d_r$ , | 32 - $x/d_r$ ,   |
| 33 - $d_p/d_r$ . |                  |                |                  |

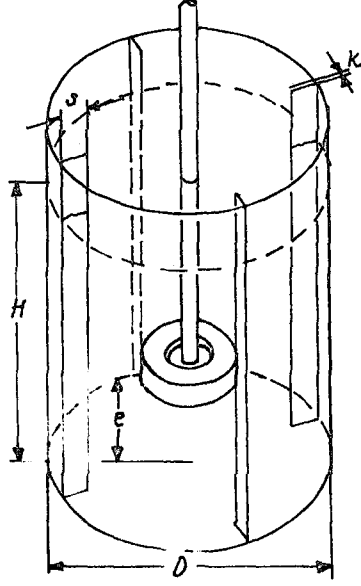
Şekil 2.16'da bir türbin karıştırıcının geometrik ölçüleri verilmiştir. Şekil 2.17'de ise bir karıştırıcı kabın geometrik ölçüleri verilmiştir.

(2.32) eşitliğindeki güç sayısı aşağıdaki büyüklüklerin bir fonksiyonudur:

$$N^* = f(Re, Fr, \gamma_A/\gamma_B, \rho_A/\rho_B, d_r/D, h_r/D, d_w/d_D, e/D, H/D, s/D) \quad (2.44)$$

Bu tanım sayılarının hesaba katılması deney masraflarını çok büyütür. Deney masraflarının düşürülmesi için bulunan tanımlı sayıların hesaba katılıp katılmayacağına karar verilmesi gerekir.

Karıştırmada girdap oluşması halinde Froyd sayısı ihmal edilir. Çoğu



Şekil 2.17 Bir karıştırıcı kabı

zaman  $h/d_r = 1$  ve  $d_r/D = 1/3$  alınır.  $h_r/D$  sayısı karıştırıcı şekline bağlıdır, genellikle  $1/15$  ile  $1/25$  değerleri arasındadır.  $e/D$  sayısı için karıştırıcı tipine göre belirli değerler bulunur.

Sürekli akışlarda  $\eta_A/\eta_B$  viskozite oranı ve  $\rho_A/\rho_B$  yoğunluk oranı ihmal edilebilir.

Karıştırıcılarda güç sayısı yaklaşık olarak aşağıdaki gibi verilebilir :

$$N^* = f(Re).$$

## BÖLÜM 3

### KARIŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Karıştırma yöntemleri; karıştırma olayının cerayanına göre sürekli veya kesikli, komponentlerin karışırılmasına göre hızlı püskürtmeli, yavaş püskürtmeli, pnömatik ve mekanik karıştırma diye ayrılır.

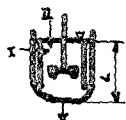

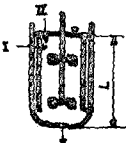
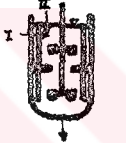
#### 3.1 Sürekli ve Kesikli Karıştırma

Sürekli karıştırma, özellikle endüstri proseslerinin otamasyonunda kullanılır (4). Karıştırma cihazları, homojen bir yapı oluşturacak şekilde deneylerle belirlenerek tesis edilir. Karışım maddesinde sürekli bir homojenlik sağlanır.

Kesikli karıştırmanın kullanma sahası da çok geniştir. Az miktarda yapılacak karışımlar için kullanılır. Tesis edilen bir düzen ile değişik karışımlar yapılabilir.

Büyük kaplarda sürekli karışım gerektiğinde proses hareketlerinin büyük bekleme zamanlarında olması istenir.

Türbülanslı akım sahasında olan serbest püskürtmedeki karışım çok hızlı cerayan eder. Bu sistemlerde  $L/D=1,5$  ( $M=0,95$ ) civarında olan çok küçük karışım uzunlukları bulunur (4). Püskürtmeli karışımla homojenlik belirli bir Reynold sayısının üzerinde elde edilir. Türbülanslı akım sahasında homojenliği sağlamak için Şekil 3.1'deki 1 ve 2 karıştırıcı tipleri kullanılır. Bu sistemde  $Re=600$  için karışım sayıları  $nt=100$  olarak bulunur (4). Dış yüzeydeki gazlanma ne kadar kuvvetli olursa, o derece büyük devir sayısına gerektirir.

No	Sistem	d/D	d/D	d/D	d/D	d/D	D(m)
1		0,05	0,05		1	0,4	0,4
2							
3		0,052	0,052				0,2
4		0,029	0,029		1,5	0,4	0,4

Şekil 3.1 Karıştırma ve püskürme sistemli kaplar

Sürekli karıştırma işlemleri hızlı püskürtmeli veya yavaş püskürtmeli yapılabilir.

### 3.1.1 Hızlı Püskürtmeli Karıştırma

Bu yöntem, gazlar ve düşük viskoziteli akışkanlar için kullanılır. Karıştırılacak komponentler, iki veya daha fazla ağızdan karıştırıcı içine püskürtülür.

Karışım, genellikle türbülanslı akım sahasında oluşturulur. Laminer akım sahasında küçük Reynold sayılarında homojen karışım elde edebilmek için türbülanslı akım sahasından daha büyük karıştırıcı uzunluğuna gerek vardır (4).

### 3.1.2 Yavaş Püskürtmeli Karıştırma

Akımın Reynold sayısı küçükse ve daha küçük bekleme zamanı isteniyorsa

yavaş püskürtmeli karıştırma tercih edilir. Bu yöntemle hızlı püskürtmeli karıştırıcılardan daha kısa bekleme zamanı elde edilir.

### 3.2 Pnömatik Karıştırma

Buhar, hava veya çözülmüş gaz kabarcıklarının akışkan içine püskürtülmesi olayına pnömatik karıştırma denir.

Kap tabanına yakın yere yerleştirilmiş ve delikler açılmış borular, memeler veya enjeksiyonlar ile sevkedilen gazlar, akışkan içinde bir karıştırma tesiri oluştururlar.

Gerekli gaz basıncı  $\Delta P$  (borudaki kayıpları ve gaz çıkışında akışkanın statik basıncını yenecek kadar), gaz yoğunluğu  $\rho_G$ , akışkanın yoğunluğu  $\rho$ , kap içindeki akışkan yüksekliği  $h$ , boru içindeki gazın akış hızı  $U_G$  ve direnç sayıları  $\sum \lambda_i$  olarak alınıp toplanırsa yaklaşık olarak aşağıdaki gibi çıkarılabilir:

$$\Delta P = \rho_G \frac{U_G^2}{2} (1 + \sum \lambda_i) + \rho gh \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

Durgun haldeki bir akışkan içine püskürtülen bir gaz kabarcığının hızı, püskürtme çapı  $d_G$  alınarak aşağıdaki gibi çıkarılmıştır:

$$U_G = \sqrt{\frac{4d_G(\rho - \rho_G)g}{3 \rho}} \quad \dots \dots \dots (3.2)(3)$$

Buradaki direnç sayısı, Reynold sayısı, Weber sayısı ve Frouyd sayısına bağlıdır. Bu bağıllık püskürtme biçimine göre çizelge 3.1'de verilmiştir.

Püskürtme çapı  $d_G$ , gaz çıkış ağzının çapı  $d_A$  alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:



$$d_G = k \sqrt[3]{\frac{6 d_A \sigma}{(\rho - \rho_G)g}} \dots\dots\dots(3.3)(3)$$

Çizelge 3.1 Direnç sayıları (3)

Tanım sayılarının tesir sahası	Püskürtme biçimi	
$Re < 2$	Küresel	$24 / Re$
$Re > 2$ ; $We < 3,64$	Sirkülasyon akımlı	$18,7 / Re^{0,682}$
$We = 3,64$ ; $Fr < 0,525$	Elipsoid olarak	$0,366 We / Fr$
$Fr \geq 0,525$	Mantar şeklinde	$2,61$

(3.3) eşitliğindeki k faktörü 0,91-0,94 civarındadır.

### 3.3 Mekanik Karıştırma

Kap içinde, iki veya daha fazla komponentin bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılmasına mekanik karıştırma denir.

Mekanik karıştırma ile, akışkanlarda, çözeltilerde, ayrışma veya süspansiyonlarda maddesel ve ısıl homojenlik sağlanır. Karıştırma kabı içine yerleştirilen akım kırıcılar, karıştırıcı ile dönen türbülanslı akımı oluşturur.

Oluşan çevrintiler, komponentleri karıştırırlar. Aynı zamanda dönen akım, kap içindeki bütün akışkan miktarını harekete geçirir.

Karışım olayları genellikle kesikli cereyan eder.

## BÖLÜM 4

### KARIŞTIRMA KABINDAKİ AKIM OLAYLARI

Karıştırma kaplarındaki akımlar, kap ve karıştırıcı geometrisine, karıştırıcı devir sayısına ve akışkanın özelliklerine göre şekil alarak değişik sahalarda oluşurlar.

#### 4.1 Karıştırma Kaplarındaki Akım Tipleri

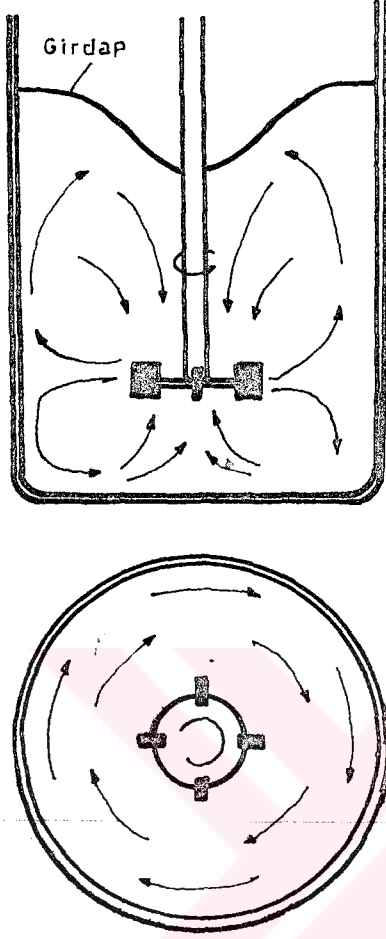
Kabın içindeki sıvının herhangi bir noktasındaki hızının üç bileşeni vardır. İlk bileşen yarıçap yönünde olup, karıştırıcının miline dikey bir yönde hareket etmektedir. İkinci bileşen mil eksenine paralel olarak hareket etmektedir. Üçüncü bileşen teğet olup, mil etrafında dönen akıma teğet olacak şekilde hareket etmektedir. Mil eksenine dikey ve paralel olan bileşenler karıştırmayı oluştururlar. Mil, dikey olarak kabın merkezine yerleştirildiğinde, teğetsel bileşen karıştırmayı engeller. Teğetsel bileşen Şekil 4.1'deki gibi sıvı yüzeyinde bir girdap meydana getirir.

#### 4.2 Akım Sahalarının İncelemesi

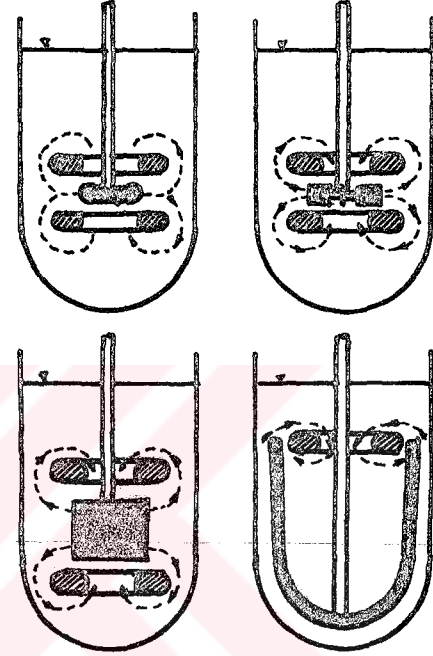
Karıştırma, üç boyutlu akım sahasında meydana gelir. Akım sahası, sistem geometrisine ve akışkanın özelliklerine bağlıdır. Şekil 4.2, deneme sistemlerinde çekilen filmlere göre akım sahaslarını göstermektedir. Akımın dönme çemberleri, taralı alanlarla gösterilmiştir. Dönme çemberleri, ilk üç karıştırıcıda, karıştırıcının üst ve alt taraflarında ortaya çıkmıştır. Çapalı karıştırıcıda sadece üst kısımda oluşmuştur.

##### 4.2.1 Girdap Oluşumu

Akışkanın üzerine kesme kuvveti ve karıştırmayla oluşan merkezkaç kuvveti



Şekil 4.1 Karıştırma kabında oluşan sirkülasyon ve girdap



Şekil 4.2 Karıştırıcılarda iyi karışmayan bölgeler (8)

etki eder. Bu iki kuvvetin etkisiyle dikey karıştırıcı mili yakınlarında akışkan dış yüzeyinde bir alçalma meydana gelir. Bu alçalmaya girdap denir. Eğer girdap derinliği karıştırıcıya erişir ve akışkan içindeki gazlar ayrılmaya başlarsa, girdap derinliği dikey mil üzerine etki eden yatay kuvvetlerin değerinin artmasına neden olur. Girdap derinliği  $h_g$ , kritik değerden  $h_{kr}$  küçük olmalıdır. Kritik girdap derinliği karıştırma kabı çapına bağlıdır:

$$h_{kr} = 0,33D \dots\dots\dots (4.1) (3)$$

Buradan karıştırıcının kritik devir sayısı çıkarılabilir:

$$n_{kr} = c_g \sqrt{D} \dots\dots\dots (4.2) \quad (3)$$

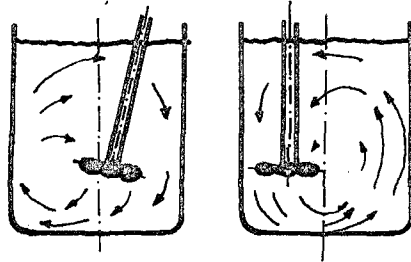
Bu eşitlikteki  $c_g$  girdap sayısıdır.  $c_g$  sayısı karıştırıcı tipine ve yapısına bağlıdır:

Çizelge 4.1 Girdap sayısı  $c_g$  (  $m^{0,5} s^{-1}$  )

Karıştırıcı tipi	İç donanımsız	Termometre borulu
Yapraklı karıştırıcı	1,7	1,9
Pervaneli karıştırıcı	5,0	5,6
Türbin karıştırıcı	2,7	3,3

#### 4.2.2 Girdaba Engel Olma

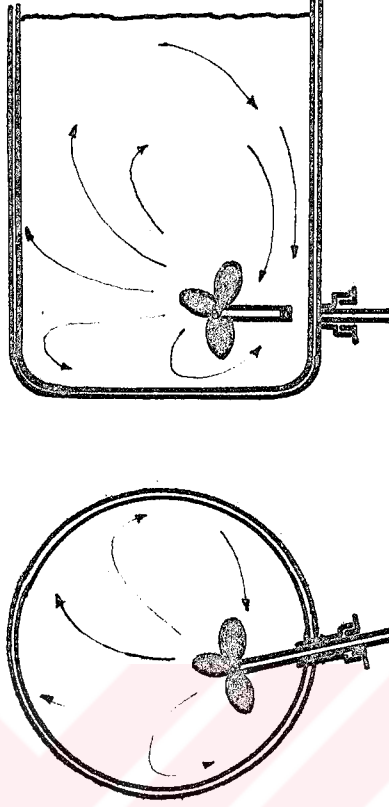
Girdaba engel olmak için üç metod kullanılır. Küçük kaplarda Şekil 4.3'deki gibi karıştırıcı, kap merkezinin dışında bir yere yerleştirilerek girdabın oluşması önlenir.



Şekil 4.3 Karıştırıcının eksantrik yerleştirilmesi

Büyük kaplarda karıştırıcı kabın yan tarafına yerleştirilir (Şekil 4.4) Mil yatay durumda, fakat yarıçapla bir açı yapacak şekildedir.

Üçüncü metod ise kap kenarlarına akım kırıcı denilen engeller yerleştirmektir (Şekil 4.5). Çok geniş kaplar hariç, girdaba engel olmak için



Şekil 4.4 Karıştırıcının yandan yerleştirilmesi

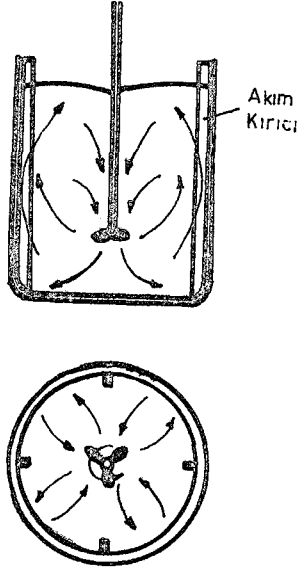
4 akım kırıcı yeterlidir. Türbinler için kullanılacak engellerin genişliği kap çapının 1/12'sinden geniş olmamalıdır, pervaneler için bu değer kap çapının 1/18'inden fazla olmamalıdır.

#### 4.2.3 Girdap Derinliğinin Hesabı

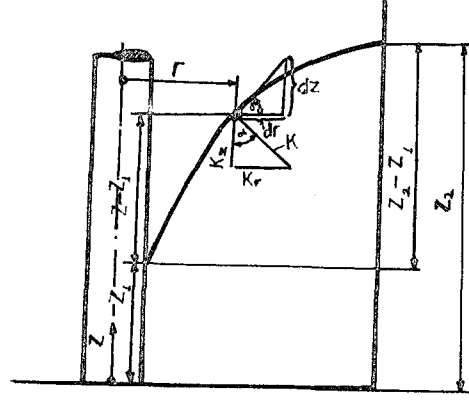
Durgun halde  $h$  yüksekliğinde olan akışkan karıştırma sırasında girdap oluşması nedeniyle  $Z_1$  yüksekliğine kadar düşebilmektedir. Devir sayısının artmasıyla  $(h-Z_1)$  farkı da artar.

Şekil 4.6'da akışkan dış yüzeyi ve bu yüzeyin bir noktasına etki eden kuvvetler görülmektedir.

Şekildeki  $K$  kuvveti, dikey yönde oluşan yerçekimi kuvveti,  $K_z = mg$  ve



Şekil 4.5 Akım kırıcılı kap



Şekil 4.6 Akışkan dış yüzeyi

radyaş yönde oluşan savurma kuvveti  $K_r = mU^2/r$ 'in vektörel olarak toplamıdır. Dış yüzeyin eğriliği:

$$\tan \alpha = \frac{d_z}{d_r} = \frac{K_r}{K_z} \dots \dots \dots (4.3)$$

Buradan dış yüzey formu nun hesaplanmasında kurulan ilgi :

$$(U^2/r)d_r = g d_z \dots \dots \dots (4.4)$$

(2.22) eşitliğinden :

$$(U^2/r) = W^2 r \frac{(r_2/r)^2 - 1}{D^{*2} - 1} \dots \dots \dots (4.5)$$

ifadesi çıkarılır. (4.4) eşitliği  $r = r_1$  için  $z = z_1$  sınır şartları altında integre edilirse, çıkan netice :

$$\Delta Z_{max}^* = \frac{z - z_1}{W^2 r_1^2 / 2g} = \frac{D^{*2}}{(D^{*2} - 1)^2} \left[ D^{*2} - 1 / D^{*2} - 4 \ln D^* + (r/r_2)^2 - (r_2/r)^2 + 4 \ln(r_2/r) \right] \dots \dots \dots (4.6)$$

Bu eşitlikte  $r = r_1$  için  $z - z_1 = 0$  ve  $r = r_2$  için  $z - z_1 = z_2 - z_1$  olacaktır.  $h_g = z_2 - z_1$  girdap derinliğidir. Bu şartlarda  $Z_{\max}$ 'ı tekrar yazacak olursak :

$$\Delta Z_{\max}^* = \frac{z_2 - z_1}{W r_1^2 / 2g} = \frac{D^{*2}}{(D^{*2} - 1)^2} \left[ D^{*2} - 1 / D^{*2} - 4 \ln D^* \right] \dots \dots \dots (4.7) (8)$$

$D^* = 1$  için  $\Delta Z_{\max}^* = 0$  olur ve akışkanda girdap meydana gelmez.  $D^* = \infty$  olduğunda  $\Delta Z_{\max}^* = 1$  olur ve büyük girdap derinliği meydana gelir. Şekil 4.7 yarıçap oranlarına bağlı olarak maksimum girdap derinliğini ve  $h - z_1$  büyüklüğünü gösteriyor.

Dönen akışkan hacmi V Şekil 4.8'deki gibi  $V_a$  ve  $V_b$  bölümlerinden meydana gelmiştir. Buradan çıkarılan sonuç:

$$(r_2^2 - r_1^2)\pi h = (r_2^2 - r_1^2)\pi z_1 + V_b \dots \dots \dots (4.8) (8)$$

(4.8) eşitliğinden kullanılan büyüklük çıkarılır :

$$h - z_1 = \frac{V_b}{(r_2^2 - r_1^2)\pi} \dots \dots \dots (4.9)$$

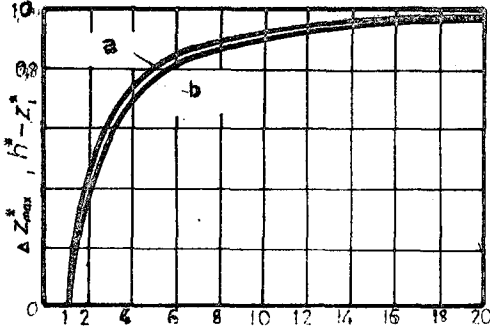
$V_b$  hacmi :

$$V_b = \int_0^{2\pi} \left[ \int_{r_1}^{r_2} \left( \int_0^{z-z_1} dz \right) r dr \right] d\alpha \dots \dots \dots (4.10) (8)$$

formülüyle hesaplanır.  $\alpha$  dönüş açısı,  $z - z_1$  integrasyon sınırı için (4.6) eşitliği yerine konularak :

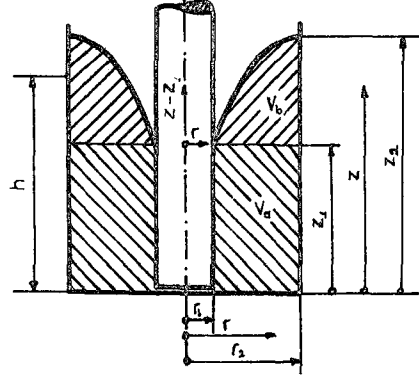
$$V_b = (r_2^2 - r_1^2)\pi \frac{W r_1^2}{2g} \left[ 1 + (3/2) \frac{3D^{*2} - 1}{(D^{*2} - 1)^2} - \frac{6D^{*4} \ln D^*}{(D^{*2} - 1)^3} \right] \dots \dots (4.11)$$

çıkarılır. (4.9) eşitliğinden :



Şekil 4.7 Max. girdap derinliği

a)  $z_{max}^*$ , b)  $h-z_1^*$



Şekil 4.8 Akışkan hacminin kısmi bölümleri

$$h^* - z^* = \frac{h - z_1}{W^2 r_1^2 / (2g)} = 1 + (3/2) \frac{3D^{*2} - 1}{(D^{*2} - 1)^3} - \frac{6D^{*4} \ln D^*}{(D^{*2} - 1)^3} \dots (4.12)$$

çıkarılır. (4.6) ve (4.12) eşitlikleri bütün formlardaki girdap şekli hesaplanabilir. Şekil 4.9'da gösterilen girdapla  $z^*/z_2^*$  oranları çıkarılır.  $r = r_2$  noktasında  $z_2^*$  ve  $z^*$  parametreleri hesaplanır.  $W^2 r_1/g$ ,  $r_2/r_1$  ve  $h/2r_1$  parametreleri değişmektedir.  $W^2 r_1/g$  değerinin artmasıyla girdap derinliği artar ve karıştırıcı tarafından akışkana nakledilen güç azalır.  $W^2 r_1/g = 13,82$  veya 21,9 için girdaplar kap tabanına erişir. Bu durumda teorik olarak güç nakledilemez. Sürtürmeden dolayı akışkanın dönüşü çok hızlı azalacağı ve girdaplar tekrar oluşmayacağı için pratikte sadece güç nakli azalır.

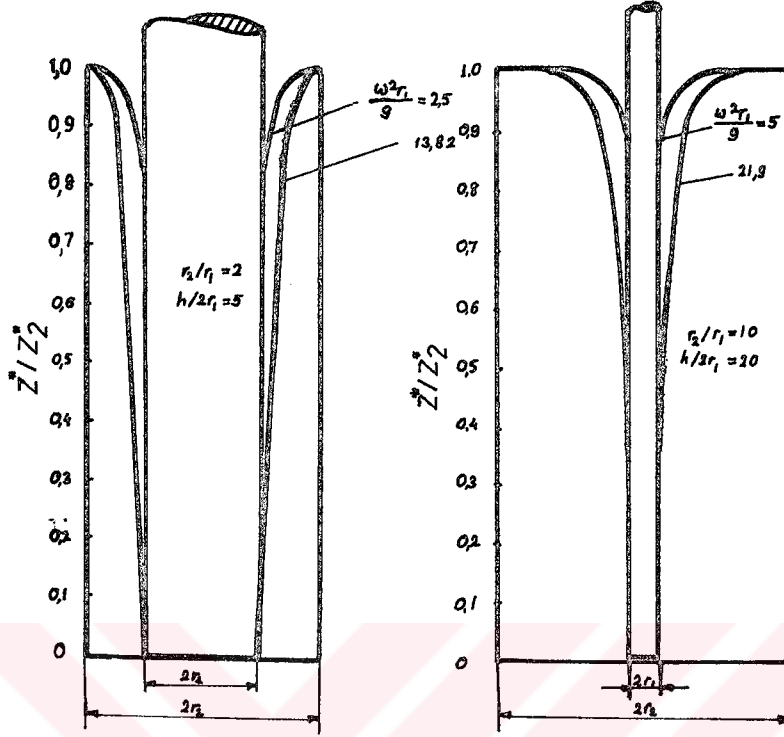
#### 4.3 Gazlanmayan Karıştırıcının Etrafındaki Akış

Denemelerde, çok sık kullanılan 4 veya 6 yapraklı türbin karıştırıcılar alınmıştır. Belirli bir yaprak sayısında, bir yaprağın etrafındaki akışa komşu yaprakların tesiri olur. Bu tesir dikkate alınmadığı durumda akışın esas şekli bir yapraklı karıştırıcıdaki gibidir.

##### 4.3.1 Bir Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış

Karıştırıcı dönmesiyle, karıştırıcı seviyesinde dik ve teğet olarak



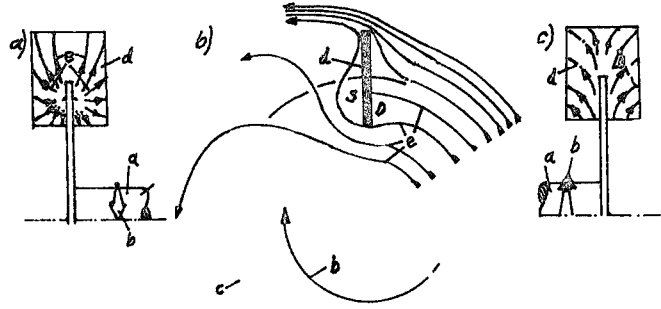


Şekil 4.9  $z/z^*$  değerleri

bir akış doğmasına neden olur. Kap duvarlarında radyal akış aksenal yöne çevrilir. Teğetsel hareket yönündekiler, akım kırıcılarda toplanırlar. Sonunda tekrar karıştırıcıya doğru akan akışkan, küçük bir teğetsel kuvvet oluşturur.

Türbülanslı sahada, karıştırıcı levha ile karıştırıcı yaprağın sınır tabakalarındaki akımların görüntüsü açılan bir yün ipliği gibidir. Bu biçim, bir stroboskop (devir ölçeği) ile izlenebilir ve magnezyum ışığı ile fotoğrafı tesbit edilebilir. Şekil 4.10a-b-c, 4.11, 4.12'de akışların oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.

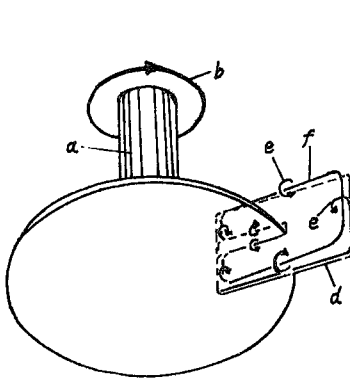
Şekil 4.10a-b-c'de incelemeler, akış hattında yapılmıştır. Şekil 4.10b, karıştırıcının yaprağı düzeyindeki akışı göstermektedir. Şekil 4.10c yaprağın basınç yüzeyindeki, Şekil 4.10c emiş yüzeyindeki akışları ifade



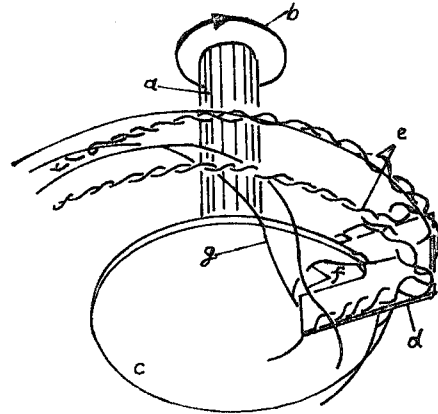
Şekil 4.10 Bir yapraklı türbin karıştırıcıdaki akış (2)

ederler. Bitişik bölgenin arkasında bulunan akışkan yaprağın kenarından akar. Şekil 4.10a'da yaprak kenarları üzerindeki akış çizgisi basma bölgesine doğru yaklaşır. Levhanın altında ve üstünde bulunan iki yığılma noktasından yayılır. Akış çizgileri merkezkaç hızın etkisi altında kolayca eğrilirler.

Şekil 4.10c'de alt ve üst kenardaki akım çizgileri dış kenardaki gibi yaprağın emme tarafına doğru akar. Karıştırıcının dış kenarına çok küçük bir basınç etki eder. Bu akışkan zerreleri üzerine, basınç kuvvetleri dışında ilave bir tesir oluşturur.



Şekil 4.11 Çevrinti sistemi oluşumu



Şekil 4.12 Tek yapraklı türbin karıştırıcıdaki akım

Şekil 4.11'de yaprağın arkasındaki akım çıkışından dolayı oluşan çevrinti sistemi gösterilmiştir. Çevrinti sirkülasyonu, yaprağın çevresel hızına uygun olarak artar.

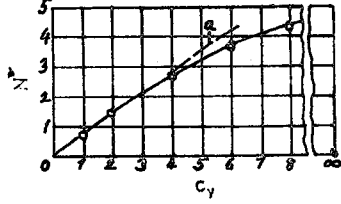
Şekil 4.12, bir yapraklı türbin karıştırıcıdaki akışı şematik olarak göstermektedir.

#### 4.3.2 Çok yapraklı Bir Karıştırıcı Etrafındaki Akış

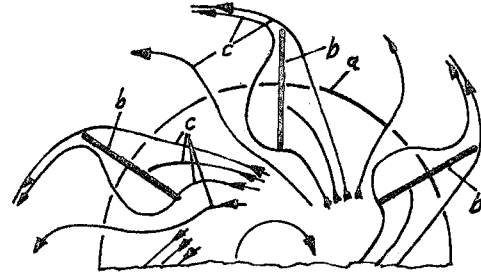
Yaprak sayısının artması, akışkan sevkinin artmasını sağlar. Eğer yaprak sayısı çok artmazsa, karıştırıcıdan akışkana taşınan güç de artar. Şekil 4.13 güç sayısını, yaprak sayısına bağlı olarak gösteriyor. Güç sayısının artışı 3 yapraktan sonra yaklaşık olarak azalmaktadır. Şekil 4.13  $Re = 10^5$ ,  $D = 2,53$  alınarak çizilmiştir.

Şekil 4.14, 6 yapraklı bir türbin karıştırıcının ortalama seviyesindeki akımı göstermektedir. Yaprak sayısı arttıkça, karıştırıcının ortalama seviyesindeki akışkan akımı daha çok radyal yönde dönmektedir. Akım, yaprakların üst ve alt kenarlarında teğetsel olarak akmaktadır. Eğer çok yaprak bulunursa, akım çizgileri ince kanallar halinde devam edeceğinden karıştırıcının ortalarında radyal bir akış oluşur. Bu karıştırıcın gücünü düşürür.

Teorik olarak sonsuz büyüklükteki yaprak sayısında karıştırıcı kapalı bir halka şeklinde olur. Bu durumda akışkan karıştırıcının arasından akamaz. Yaprakların enine kenarlarından akış olamayacağı için kenar çevrintisi oluşmayacaktır. Şekil 4.13'de yaprak sayısı sonsuz düşünülerek güç sayısı belirlenmiştir. Bu, çok küçüktür. Değerinin, bir yapraklı karıştırıcının %10'u, sekiz yapraklı karıştırıcının % 2'si kadar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.13 Yaprak sayısına bağlı güç sayısı



Şekil 4.14 Karıştırıcının ortalama seviyesindeki akım

#### 4.4 Gazlanan Karıştırıcının Etrafındaki Akış

Gazlaştırmayla akışkana sevkedilen güçte düşme olduğu birçok araştırmayla tesbit edilmiştir. Akım olayları, gazlaştırılmayan karıştırıcıdaki gibi bir stroboskop veya magnezyum ışığı ile belirlenebilir. Esas olayların tanımları bir yapraklı karıştırıcıyla ifade edilir.

##### 4.4.1 Bir Yapraklı Karıştırıcı Etrafındaki Akış

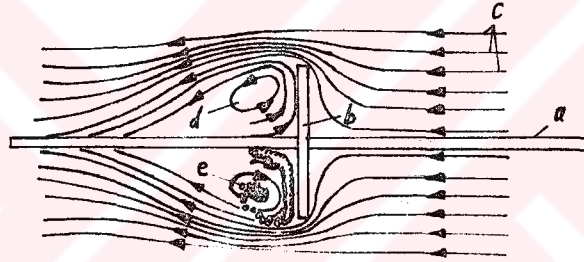
Gazlanan karıştırıcıda iki karakteristik akım şekli vardır. İlk şekilde kenar çevrintisinin göbeği, karıştırıcı yaprağın altındaki komşu bölgeden daha çok dolacaktır. Her iki akış da gaz debisine, devir sayısına sistemin geometrik ve madde ile ilgili özelliklerine bağlıdır.

##### 4.4.1.1 Çevrinti Göbeğinin Doldurulması

Merkezcil bir borudan, küçük bir gaz debisi karıştırıcıya doldurulur. Yukarıya doğru olan basınç kuvveti ve kaptaki akımla boru ağzında gaz kabarcıkları oluşur. Burada, büyük bir gaz yastığı meydana gelir. Bir yapraklı karıştırıcının oluşturduğu akım, simetrik olmadığından, dalgalı bir hareket nakledilecek ve damla halinde şekli değişecektir.

Gaz, karıştırıcı ortalarında oluşacağı için, yaprağın arka yüzüne rast gelecek ve basma tarafı emme yapacaktır. Komşu bölgedeki akım ile yapraklar üzerinde sürtünen akışkan arasında büyük bir hız oluşur. Gaz üzerine kesme kuvveti tesir eder ve küçük kabarcıklar halinde dağılır.

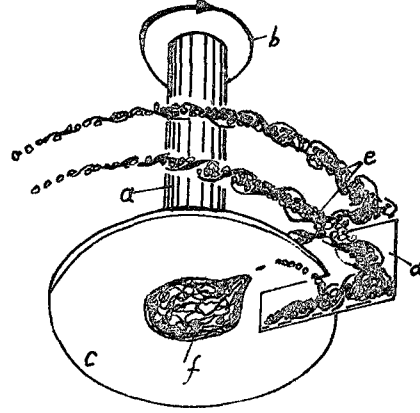
Şekil 4.15 karıştırıcı yaprağın dikey kesitindeki olayları gösteriyor. Gaz levhanın alt kısmında bulunduğu için, alt kenar çevrintisinin olaylarını etkileyecektir. Şekil 4.15'de: a) Karıştırıcı levha, b) Karıştırıcı yaprak, c) Akım çizgileri, d) Levhanın emme tarafındaki çevrinti, e) Gaz kabarcıklarıdır.



Şekil 4.15 Gazlanan karıştırıcı etrafındaki akış

Şekil 4.16'da stroboskop ile izlenebilen, bir yapraklı karıştırıcının dolan çevrinti göbeği perspektif olarak verilmiştir. Karıştırıcı levhanın altındaki gaz, yastıklar tarafından düz olarak kesilmiştir. Levhanın altında ve yaprağın arka yüzeyi boyunca uzanan çevrinti göbeğindeki gaz kabarcıkları teşhis edilebilir. Çevrinti içindeki akışkan akımının sembolize ettiği çevrinti göbeği çevresinde, iki akım çizgisi dolmaktadır. Şekilde: a) Mil, b) Dönme yönü, c) Karıştırıcı levha, d) karıştırıcı yaprak, e) Ortası gaz kabarcıkları ile dolan çevrinti, f) Gaz yastığıdır.

Yaprakların altındaki kenar çevrintisi, dikey olarak karıştırıcının dönme yönü içinde döner. Yaprak kenarları arkasında oluşan gaz, komşu



Şekil 4.16 Çevrinti göbeğinin gazla dolması

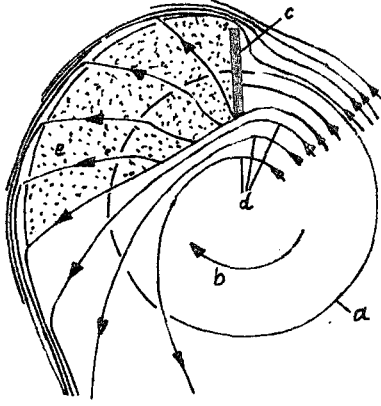
bölgedeki akışkan üzerine etki eden sürtünme kuvvetini azaltır. Bundan dolayı kenar çevrintisinin dönme hızı azalır.

#### 4.4.1.2 Komşu Bölgenin Doldurulması

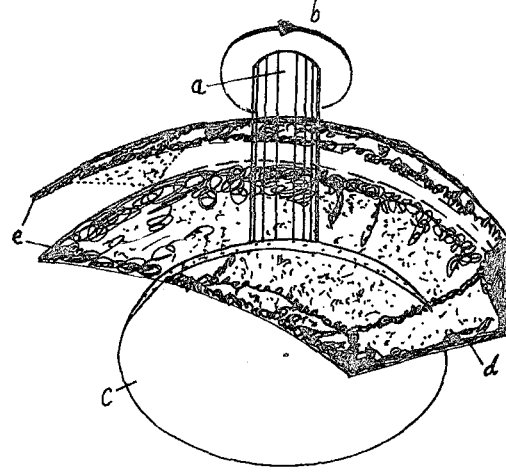
Çevrinti göbeği tarafından emilmeyen gaz, komşu bölgede yaprak üzerinde sürtünen akışkanın sürtünme kuvvetini azaltır. Böylece kenar çevrintisine az enerji sevk edilir. Gaz, karıştırıcı yaprağın bütün komşu bölgesini doldurur.

Şekil 4.17, gazın komşu bölgeye doluşunda karıştırıcı levha seviyesindeki şekli gösteriyor. Noktalı yüzey, gazla dolan tarafı ifade etmektedir. Şekilde : a) Karıştırıcı levha, b) Dönme yönü, c) Karıştırıcı yaprak, d) Akım çizgileri, e) Gaz ile dolan bölgedir.

Şekil 4.18 ise gaz ile dolan komşu bölgenin perspektif görünüşünü göstermektedir. Burada e süprülen gazı belirtir. Gaz, yaprağın arkasındaki sürüklenen iki şekil arasında bulunur. Sürüklenme zayıf bir akışkan filmi



Şekil 4.17 Komşu bölgenin gazla dolması



Şekil 4.18 Bir yapraklı karıştırıcı etrafındaki akış

oluşturur. Bu, merkezkaç hızlanmadan dolayı bitişik bölgedeki gazı sürüp geçer.

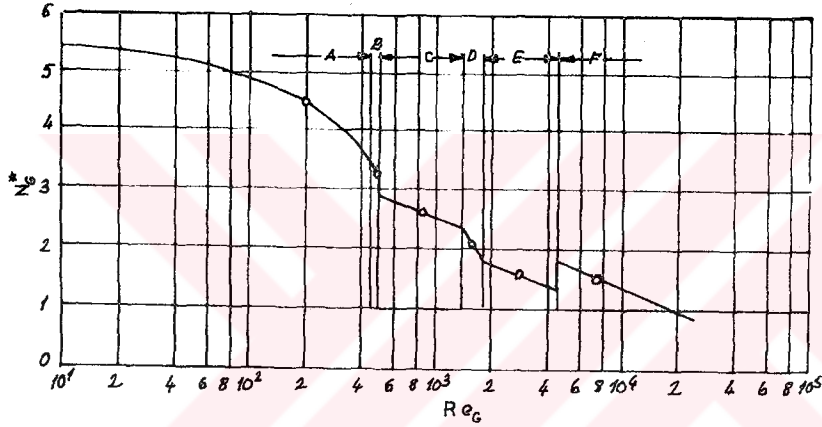
Gaz debisinin artması, sürüklenme ile çok hızlı gaz taşınımını sağlar. Genişlemesi ve şekli, karıştırıcı devir sayısı ve akışkanın viskozitesine bağlıdır. Yüksek viskoziteli akışkanlarda (yaklaşık  $\rho = 0,4 \text{ kg/ms}$ ) süprüntü çok küçük gaz debilerinde meydana gelir. Bu, küçük devir sayılarında, karıştırıcı çevresinde çok büyür ve uzar. Bir müddet sonra bütün kısımlar çözünür ve karıştırma kabında şemsiye şeklinde kabarcıklar çıkar.

#### 4.4.2 Çok Yapraklı Bir Karıştırıcı Etrafındaki Akış

Gazın bir kısmı, yaprağın altındaki gaz yastıklarında birleşir. Gazlanmanın başlangıcında herhangi bir yaprağın yanında az bir miktar gaz akar. Bu, yaprağın kenar çevretilisini doldurur. Karıştırıcı üzerine yaprağın etkisi oluşan akışı yavaşlatır. Diğer yapraklardan daha az akışkan taşır. Böylece karıştırıcı çevresindeki akış kolay kolay simetrik olmaz. Gaz yastığından ayrılan kısım uzaklaşarak, diğer yaprağın kenar çevretilisine gi-

rer. Yaprakların değişik gazlaması bu karıştırıcıların karakteristik özelliğidir.

Şekil 4.19,  $Re = 7,61 \cdot 10^4$ 'de gazın Reynold sayısına bağlı olarak 6 yapraklı bir türbin karıştırıcının güç sayısını göstermektedir. Bu şekilde: A-Çevrinti göbeğinin dolması, B -C'ye geçiş, C -Ayrı ayrı süprüntüler, D -E'ye geçiş, E -Yaprakların arkasındaki süprüntüler, F -Taşmadır.



Şekil 4.19 Gazın güç sayısı (2)

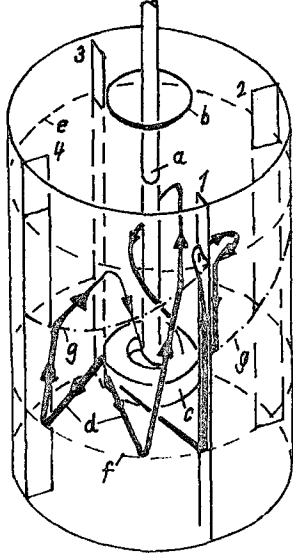
#### 4.5 Kap İçinde Gazlamayan Akışkanın Akımı

Aşağıdaki Şekil 4.20'de kaptaki gazlamayan akışkanın akımı verilmiştir. Şekilde : 1,2,3,4 akım kırıcılar, a -Mil, b- Dörme yönü, c- Karıştırıcı, d- Akım çizgileri, e- Akışkan dış yüzeyi, f- Karıştırıcı seviyesi, g- Akışkanın kap duvarlarından dönüşüdür. Burada karıştırıcı seviyesinin üst yarısındaki bir akım çizgisinin kaptaki uzanan kısmı gösterilmiştir.

Akımlar, kap duvarında keskin çizgiler meydana getirirler. Akımlar, akım kırıcılarla Şekil 4.21'de görüldüğü gibi akışkan dış yüzeyinde birbirinden ayrılırlar.

Akım kırıcılar, karıştırma kabındaki karışım derecesinin daha iyi





Şekil 4.20 Kaptaki gazsız akışkanın akımı



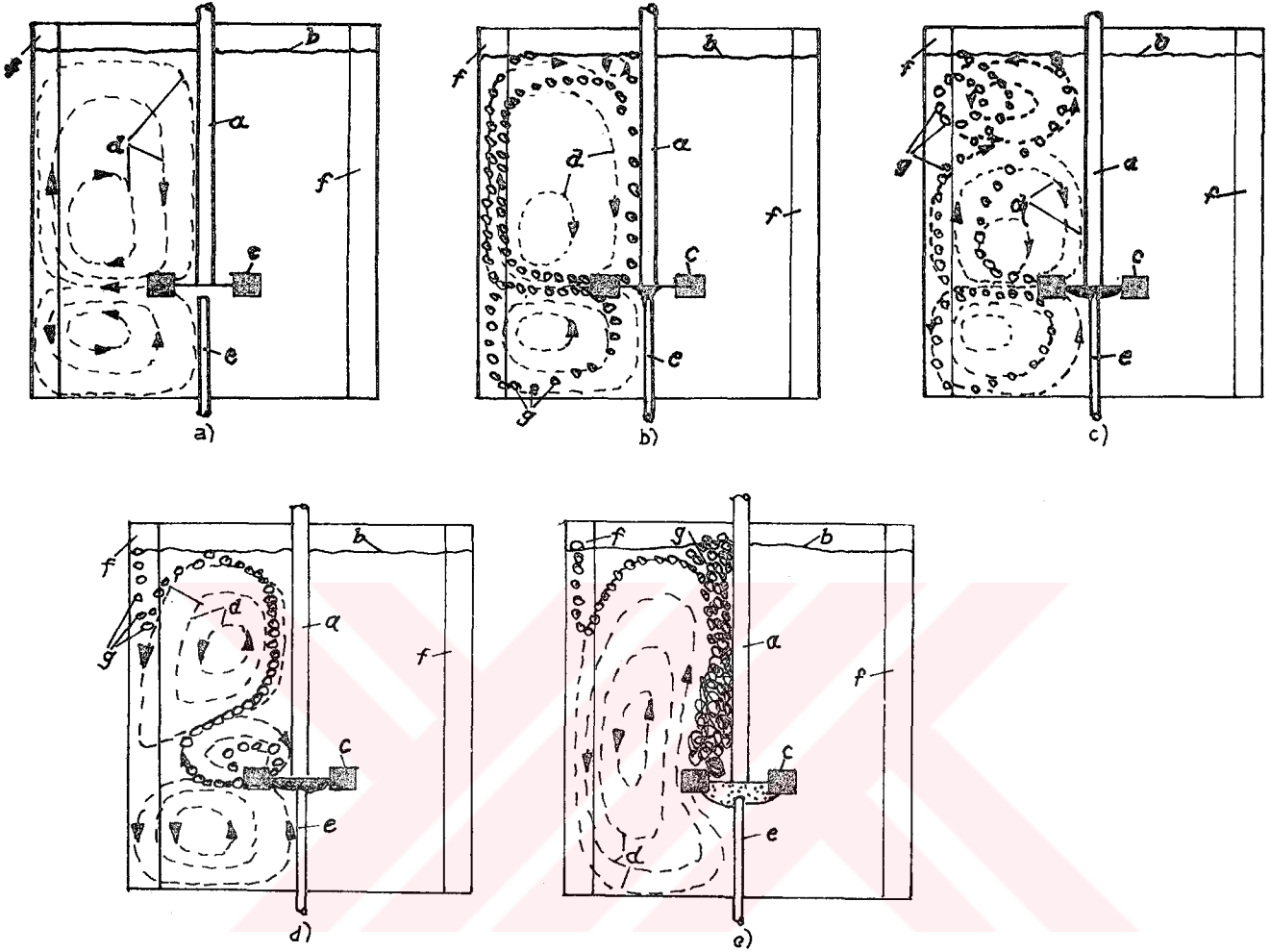
Şekil 4.21 Akışkan dış yüzeyindeki akımlar

olmasında önemli rol oynarlar. Karıştırıcı tarafından fırlatılan akışkan akım kırıcı önünde ikiye ayrılır. Bir kısmı akışkan dış yüzeyine, diğer kısmı tabana doğru hareket eder.

#### 4.6 Kap İçinde Gazlanan Akışkanın Akımı

Karıştırma kabına sevkedilen gaz, karıştırıcı tarafından küçük kabarcıklara ayrılır. Şekil 4.22a,b,c,d,e'de kaptaki akış şematik olarak gösterilmiştir. Şekillerde, bir akım kırıcı önünde düşey bir kesit belirtilmiştir. Şekillerde : a)Mil, b)Akışkan dış yüzeyi, c)Karıştırıcı, d)Akım çizgileri, e)Gaz borusu, f)Akım kırıcısı, g)Gaz kabarcıklarıdır. Akışkan hareketi kabın alt ve üst kısımlarında 3 akım çizgisi ile ifade edilmiştir.

Akışkan akımı, akım kırıcılar önünde dış yüzeye erişemez. İçeriye doğru kıvrılır. Karıştırıcı, bu sırada gücünün bir kısmını verir. Buna göre akışkanın hareketi daha yavaş olur. Karıştırıcı üzerinde dönen akışkan, sirkülasyon yönlü bölgeyi genişletir. Kabarcıklar, kap içinde S şeklinde bir hat çizerler. Bunlar üstteki sirkülasyon akımını hızlandırır.



Şekil 4.22 a, b, c, d, e Gazlanan kaptaki akış

- a- Gazın akım kırıcı önündeki akışı etkisiz hale getirmesi,
- b- Çok küçük gaz debisinde gaz kabarcıklarının hareketi,
- c- Akış hareketine gazlanmanın etkisi,
- d- Karıştırıcının oluşturduğu akışkan fıskırmasının üst ve alt akışın birleşmesini engellemesi,
- e- Karıştırma kabındaki akışa artan gaz debisi tarafından şekil verilmesi.

Buna göre kabarcıklar kap duvarının alt kısımlarından üst kısımlara doğru çekilir.

Gaz debisinin artmasıyla, karıştırıcının, kabın üst kısmındaki akışa etkisi azalır. Kabın alt kısmında kabarcıklar bulunmaz. Alt kısımdaki

akımlar çok zayıftır. Bu durumda karıştırıcı daha az akışkan taşır.

#### 4.6.1 Taşma ve Taşmada Model Tasarımı

Gaza ve karıştırıcıya verilen güçlere göre akışkan kap içinde yükselir. Taşma noktasına doğru yaklaşır. Gazdan dolayı, karıştırıcı tarafından sevkedilen güç artarsa, taşma noktasına erişilir.

Kabarcığın çıkışında azalan kaldırma kuvveti A akış direncine denktir. Her bir kabarcık akışkan üzerine aynı etkiyi yaptığından, basitleştirilmiş kabuller altında gaz tarafından akışkana taşınan kuvvet :

$$A = \frac{V}{g} \cdot g \cdot \Delta p \quad (4.13)$$

şeklinde yazılabilir. Akışkan içine (H - e) yüksekliğinde,  $T_A$  zamanda gaz çıkar. Gaz tarafından akışkana taşınan güç :

$$N_G = A(H - e)/T_A \quad (4.14)$$

olarak çıkarılır.

Kaba alınan gaz debisi  $\dot{V}_g$ , akışkanla temas halinde dış yüzeye  $T_A$  zamanda çıkar. Kap içine sevkedilen gaz hacmi :

$$V_g = \dot{V}_g T_A \quad (4.15)$$

olarak çıkarılır. Buradan gazın gücü :

$$N_G = g \Delta p (H - e) \dot{V}_g \quad (4.16)$$

Gazlanan karıştırıcı için taşmadaki ifade :

$$N = c_2 n^3 d_r^5 \quad (4.17)$$

olarak çıkarılır. Deneysel sonuçlara göre  $c_2 = 10$  bulunmuştur.

Denemeler sonunda fışkırma yüksekliği H için :

$$H = k_f U n^{a'} b' m' \quad (4.18)$$

formülü çıkarılmıştır. Burada  $k_f$  bir sabit, U kap kesitine bağlı olarak ortalama akışkan hızı,  $a', b', m'$  ler üslerdir. Üslerden ya  $m'$  veya  $b'$  sıfırdır. Buna göre üsler için aşağıdaki değerler verilerek devir sayısı veya güç seçilir :

$$0,45 \leq a' \leq 0,67 \quad ; \quad 0,85 \leq b' \leq 1,08 \quad ; \quad m' = 0$$

$$0,57 \leq a' \leq 0,68 \quad ; \quad 0,27 \leq m' \leq 0,31 \quad ; \quad b' = 0.$$

## BÖLÜM 5

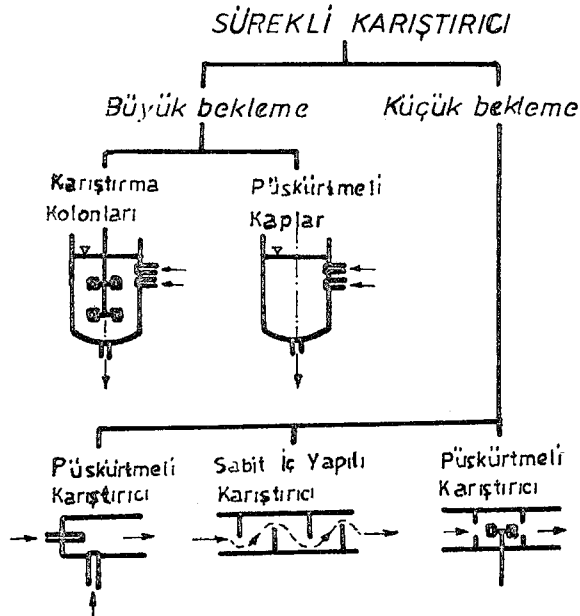
### KARIŞTIRICI TIPLERİ

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

#### 5.1 Sürekli Karıştırıcılar

Sürekli çalışan karıştırıcılar, ortalama bekleme zamanına ve enerji şekline göre farklıdırlar. Bekleme zamanları proses şartlarına göre tesbit edilir. Taşınan enerjinin çeşidi Reynold sayısına ve akışkanın viskozitesine bağlıdır.

Bu karıştırıcılar genellikle küçük Reynold sayılarında karıştırmaya göre tesis edildiğinden türbülanslı akım dışındaki homojenleştirmeye uygundurlar. Şekil 5.1 bu karıştırıcı tipinin prensip şemasını gösteriyor. Küçük bekleme zamanları için püskürtmeli karıştırıcılar ve sabit iç donanımlı borular, büyük bekleme zamanları için sürekli çalışan karıştırma makinaları, karıştırıcı kolonlar ve püskürtme sistemli kaplar tesis edilmiştir.



Şekil 5.1 Sürekli çalışan karıştırıcı

### 5.1.1 Hızlı Püskürtmeli Karıştırıcılar

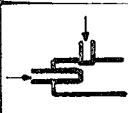
Bu karıştırıcılar, basit şekilleri, az yer kaplamaları, kapların ve karıştırma düzenlerinin hareketinde vakit kazandırması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca sızdırmazlık problemi de olmaz.

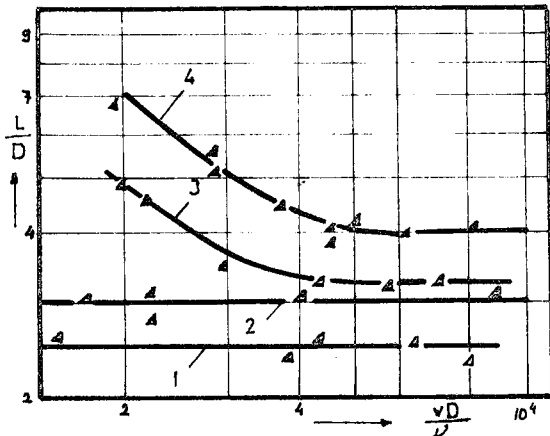
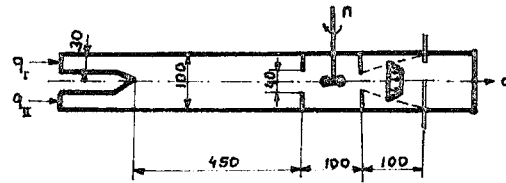
$Re = 6000$ 'de karıştırıcı uzunluğu minimum seviyededir.  $(L/D)$  Karışım uzunluğu olarak verilir. Şekil 5.2'de bir püskürtmeli karıştırıcıda  $(L/D)$ 'e  $(M=0,95)$  Reynold sayısının etkisi belirtilmiştir.

### 5.1.2 Yavaş Püskürtmeli Karıştırıcılar

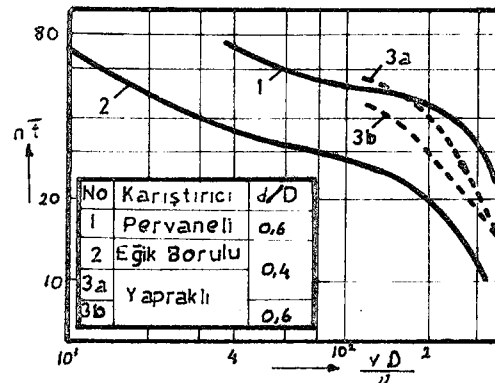
Bu karıştırıcılarda, hücreler halinde düzenlenmiş karıştırıcıların çok kuvvetli enerji taşınmasıyla hızlı püskürtmeli karıştırıcılardan daha kısa bekleme zamanına erişilir.

Şekil 5.3, bu karıştırıcıların yapısını ve değişik karıştırıcı şekilleri için karışım sayılarını göstermektedir. Karışım sayısı türbülansın artmasıyla Reynold sayısına bağlı olarak düşmekte ve bir asimtot ile sifıra yaklaşmaktadır. Bu durumda karışım hücrelerinde hissedilir ölçüde bir karışım sağlanmaktadır.

Sistem	No	$d/D$	$d/D$	$R/R_T$
	1	0,175	0,175	0,65
	2		0,25	
	3	0,25	0,175	
	4		0,25	



Şekil 5.2 Karıştırıcı uzunluğu



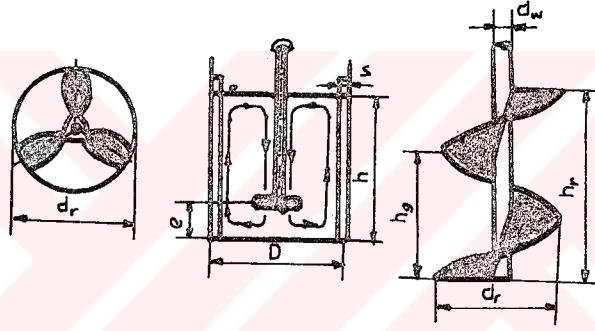
Şekil 5.3 Karışım sayıları

## 5.2 Akım Şekillerine Göre Karıştırıcılar

Karıştırıcılar, üç boyutlu akım oluştururlar. Karıştırıcının zorladığı akım yönüne göre aksiyal, radyal veya teğet karıştırıcılar diye sınıflandırılır.

### 5.2.1 Aksiyal Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılar, akımı aksiyal yönde zorlarlar. Düşük viskoziteli akışkanların karıştırılmasında kullanılırlar. Pervaneli ve helozon karıştırıcılar en çok kullanılan tiplerindendir(Şekil 5.4)

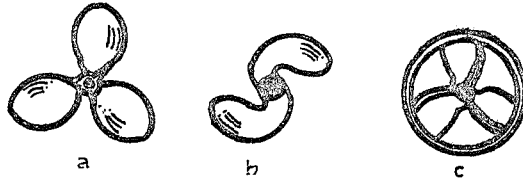


Şekil 5.4 Pervaneli ve helozon karıştırıcılar(8)

Helozon karıştırıcıda  $h_g$  vida diş açıklığı, helozon çapına eşit  $h_g = d_w$  ve  $d_r = D/3$  alınır.  $D$  kap çapıdır.

Şekil 5.4'de bir daire içine çizilmiş pervane yüzeyi yaklaşık olarak daire yüzeyinin %30-50'si kadardır (8). Tabandaki açıklık  $e$  yaklaşık pervane çapı kadar alınır. Akım yönü pervanelerin dönüş yönüne göre tesbit edilir. Küçük pervaneler  $1750 d/d$ 'ya , büyük pervaneler de  $800 d/d$ 'ya kadar bir hızla çalışabilirler (9). Hızlı dörmekten dolayı kap içinde girdap meydana gelir. Girdap, akım kırıcı kullanılarak önlenir. Kalınlıkları  $D/10$  kadar olan akım kırıcılarından kaplara 4 tane yerleştirilir. Akım kırıcılar, kabın tabanından akış yüzeyinin üzerine kadar uzanır. Sıvı durgun halde iken doldurma yüksekliği  $h$  ölçüsü, yaklaşık kap çapı kadardır.

Dönen pervane sıvı içinde bir helis meydana getirir. Pervane ile kayma olmasaydı, pervanenin tam bir devri, pervane bıçaklarının eğimine bağlı olarak, sıvıyı uzunlamasına belirli bir uzaklığa götürürdü. Şekil 5.5'de çeşitli pervane dizaynları gösterilmiştir. Genellikle standart üç bıçaklılar kullanılır. Bunlar kaba merkezci olarak tesbit edilir.



Şekil 5.5 Karıştırıcı pervaneler (9)

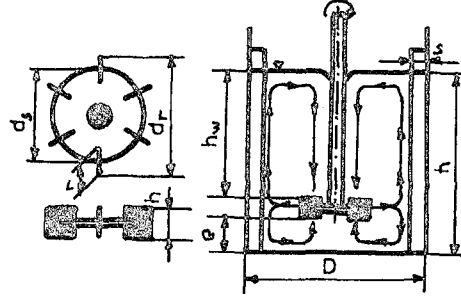
a) Standart üç bıçaklı b) Yaban otu c) Muhafazalı.

Helozon karıştırıcı, karıştırma kabına hem merkezci hem de eksantrik olarak tesbit edilebilir. Eksantrik düzende daha homojen yapıda bir karışım sağlanır. Genelde çap  $d_r = D/3$  uygundur. Viskozitesi yaklaşık olarak  $10^3$  kg/ms kadar olan akışkanların karıştırılmasında pervaneli karıştırıcılar,  $10^5$  kg/ms'e kadar olan akışkanlarda helozon karıştırıcılar kullanılır (8).

### 5.2.2 Radyal Karıştırıcılar

Bu karıştırıcılar, akımı radyal yönde iletirler. Türbin karıştırıcı, en çok kullanılan radyal karıştırıcıdır (Şekil 5.6). Bu karıştırıcıda çapı  $d_s$  olan yuvarlak bir levha, uzunluğu  $l$ , yüksekliği  $h_r$  olan dört köşe yapraklar bulunur. Karıştırıcının çapı yaprak dış kenarından alınan  $d_r$  ölçüsüdür. Ölçülendirme ve yerleştirme için pervaneli karıştırıcılardaki aynı deneme değerleri alınır:  $d_r/D = 1/3$ ,  $e/d_r = 1$ ,  $h/D = 1$ ,  $s/D = 1/10$ ,  $l/d_r = 1/5$  ve  $h_r/d_r = 1/8 - 1/4$ 'e kadardır (8). Girdaba engel olmak için genelde 4 akım kırıcı gözönüne alınır. Türbin karıştırıcılar viskozitesi  $10^4$  kg/ms'ye kadar olan akışkanların karıştırılmasında kullanılır.

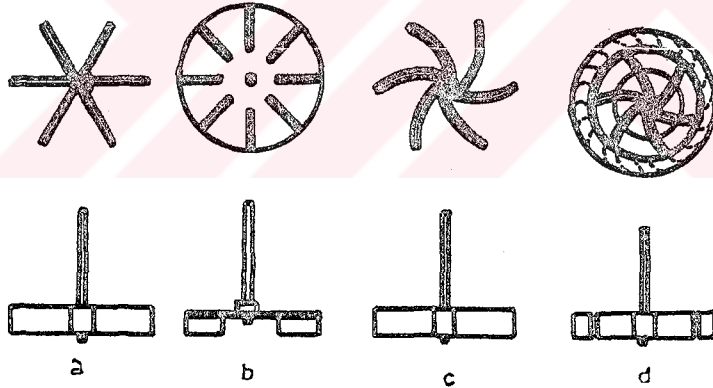




Şekil 5.6 Türbin karıştırıcı

Radyal karıştırıcılar Şekil 5.6'dan değişik şekillerde de olabilirler. Şekil 5.7, değişik tiplerdeki türbin karıştırıcıları göstermektedir.

Bu karıştırıcılarda akışkan, karıştırıcıyı radyal yönde terk eder. Akışkan kap duvarları üstünde iki kısmı akıma ayrılır. Bu harekette dönmeler üst üste bindiği için bir çok karışmış üç boyutlu akımlar radyal karıştırıcıyı zorlar.

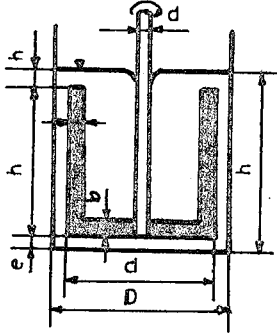


Şekil - 5.7 Türbin karıştırıcılar

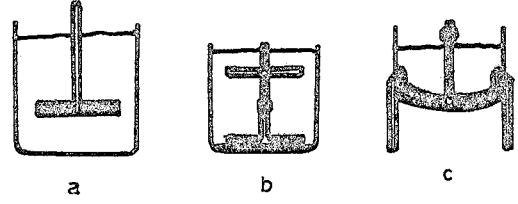
a) Açık düzgün bıçaklı, b) Kanatlı disk, c) Dikey kıvrık bıçaklı, d) Diffüzör yüzüklü

### 5.2.3 Teğet Karıştırıcılar

Kap içinde akımı teğet yönde ileten karıştırıcılardır. Çapalı karıştırıcılar, en çok kullanılan teğet karıştırıcılardır (Şekil 5.8). Bu karıştırıcıda Karıştırma miline paralel kollar bulunur. Karıştırıcı çapı  $d_r$ ,  $D/1,1$  ile  $D/2$  arasında olabilir. Kolların genişliği  $b$ , yaklaşık olarak  $D/10$  kadardır.  $h=D$  ve  $h_r = d_r$  alınabilir. Tabandaki açıklık  $e$  çok küçük tutulur. Bu yaklaşık



Şekil 5.8 Çapalı karıştırıcı



Şekil 5.9 Çarklı karıştırıcılar

a) Düz, b) Atışlı, c) Çapalı çarklı

D/10 kadar olabilir. Çapalı karıştırıcılar dinamik viskozitesi  $10^3$  kg/ms<sup>3</sup>'ye kadar olan akışkanların karıştırılmasında kullanılır.

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

Teğet Karıştırıcı olarak yaprak karıştırıcı (Şekil 2.3) ve çarklı karıştırıcılar da kullanılır (Şekil 5.9). Bunlar dikey bir mil üzerinde dönen düz çarktan oluşmuşlardır. 2 ve 4 bıçaklı çarklar çok yaygındır. Bıçaklar, bazan eğik bazan da dikey olabilirler. Bunların meydana getirdikleri sıvı akımları önce kap duvarlarına doğru hareket etmekte, daha sonra aşağıya veya yukarıya doğru gitmektedirler. Endüstride kullanılan çarklar 20-150 d/d hızla çalışırlar. Bir çarkın toplam uzunluğu kap çapının % 50-80'i kadardır. Bir bıçağın genişliği ise uzunluğunun 1/6 ile 1/10'u kadardır (9).

### 5.3 Mil Sayılarına Göre Karıştırıcılar

Dönen mekanik karıştırıcılar, karıştırıcı devir sayısına göre yavaş ve hızlı hareket eden karıştırıcılar, karıştırıcı milleri sayısına göre tek milli ve çok milli olarak sınıflandırılırlar ( Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 Karıştırıcı tipleri (3)

Yavaş hareket eden karıştırıcılar		Hızlı hareket eden karıştırıcılar
Tek milli	Çok milli	Tek milli
Yaprak karıştırıcı	Planet karıştırıcı	Pervaneli karıştırıcı
Kirişli karıştırıcı	Fırdöndü karıştırıcı	Türbin karıştırıcı
Delik kirişli karışt.		Dişli karıştırıcı
Çapraz kirişli karışt.		İmpeller karıştırıcı
Çapalı karıştırıcı		
Helezon karıştırıcı		
Çarklı karıştırıcı		
İzgaralı karıştırıcı		

### 5.3.1 Tek Mili Karıştırıcılar

Klasik olarak yavaş hareket eden karıştırıcılar (yaklaşık 20 .. 100 d/d), yapraklı, kirişli, çapraz kirişli, delikli kirişli, çapalı, izgaralı ve helezon karıştırıcılardır. Yapraklı karıştırıcının çalışma sahası türbülanslı akım sahasıdır ve düşük viskoziteli akışkanlara uygundur.

Yaprak karıştırıcı :  $D/d_r = 1,5...3$  ;  $U = 0,5...3$  m/s ;  $Re_m = 50...10^4$  ; dinamik viskozite  $\eta = 2$  Pas'ye kadar; akışkan hacmi = 50 m<sup>3</sup>'e kadardır.(3)

Kirişli, delik kirişli, çapalı, izgaralı karıştırıcıların değişik şekilleri  $Re_m > 100$  akım sahasında, yani yüksek dinamik viskoziteli akışkanlar için uygundur.

Kirişli karıştırıcı :  $D/d_r = 1,2...3$  ; kiriş sayısı = 2...4 ;  $U = 1...4$  m/s  $Re_m < 10^2...10^4$  bölgesi ; dinamik viskozite 1 Pas'e kadar ; akışkan hacmi=50 m<sup>3</sup>'e kadardır.

Çapalı karıştırıcı :  $D/d_r = 1,2...3$  ; kol sayısı = 2...4 ;  $U = 0,5...3$  m/s ;

$Re_m < 10^2 \dots 10^4$  bölgesi ; dinamik viskozite : 2 çapa kollu 2 Pas'e kadar, 4 kollu 5 Pas'e kadar, akım kırılcılığı 10 Pas'e kadar ; akışkan hacmi =  $50 \text{ m}^3$ 'e kadardır.

Izgaralı karıştırıcı :  $D/d_r = 1 \dots 1,1$  ;  $U = 1,5 \dots 3 \text{ m/s}$  ;  $Re_m < 10^4 \dots 10^2$  bölgesi ; dinamik viskozite = 10 Pas ; akışkan hacmi =  $500 \text{ m}^3$ 'e kadardır.

Helezon karıştırıcı :  $D/d_r = 1 \dots 3$  ;  $U = 0,5 \dots 3 \text{ m/s}$  ;  $Re_m < 10^2 \dots 50$  bölgesi ; dinamik viskozite = 1000 Pas'e kadar ; akışkan hacmi =  $10 \text{ m}^3$ 'e kadardır.

Hızlı hareket eden karıştırıcılar, pervaneli, levhalı, türbinli ve impeller karıştırıcılardır. Belirli bir zamanda büyük akışkan kitlesini harekete geçirirler. Devir sayıları 200...2000 d/d olan bu karıştırıcılar  $Re_m > 10^4$  akım bölgesinde çalışırlar. Bir pervaneli karıştırıcının taşıdığı debi aşağıdaki gibi verilmiştir:

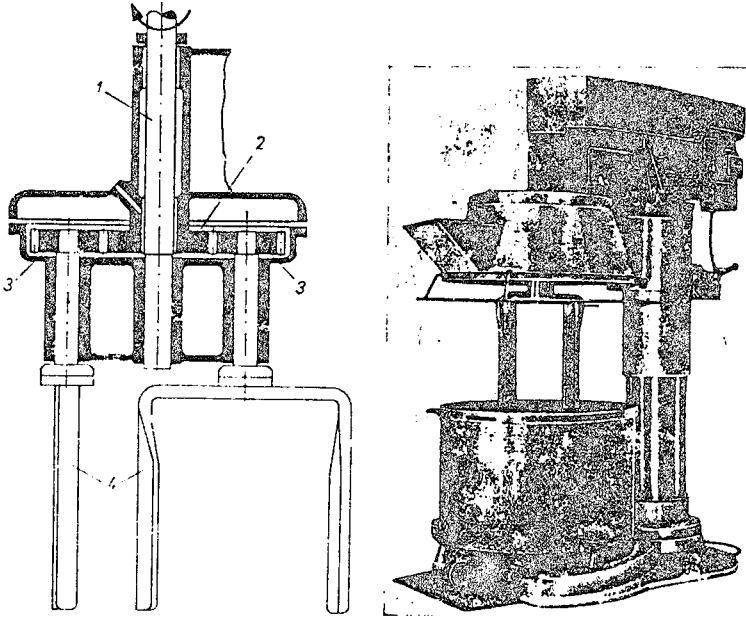
$$\dot{V} = knd^2h \dots \dots \dots (5.1) (3)$$

Boyutsuz faktör k su için 0,4'tür.

Pervaneli karıştırıcı :  $D/d_r = 3 \dots 6$  ; kanat sayısı = 2...4 ;  $U = 3 \dots 12 \text{ m/s}$  ;  $Re_m = 10^2 \dots 10^6$  bölgesi ; akışkanın aksiyal hızı = 1,5...3,5 m/s ; akışkanın sirkülasyon yüksekliği =  $(5 \dots 7)d_r$  ; dinamik viskozite = 50 Pas'e kadar ; akışkan hacmi =  $200 \text{ m}^3$ 'e kadardır.

Dişli karıştırıcı, frezede açılmış dişlerden oluşmuştur. Akışkanların gazlanması ve mekanik karıştırma için kullanılır.

Dişli karıştırıcı :  $D/d_r = 2,5 \dots 4$  ;  $U = 5 \dots 25 \text{ m/s}$  ;  $Re_m = 10^2 \dots 10^6$  bölgesi ; dinamik viskozite = 100 Pas'e kadar ; akışkan hacmi =  $50 \text{ m}^3$ 'e kadar ; güç 30 KW'a kadardır.



Şekil 5.10 Planet karıştırıcı (3)

- 1) Merkez mil 2) Merkez milin dişli çarkı, 3) Karıştırıcı milin dişli çarkı,  
4) Karıştırıcı kollar

İmpeller karıştırıcı, geriye doğru verilen üç kanattan oluşur. Kap tabanını üzerinde radyal akış meydana getirir. Bu karıştırıcılar, akışkanların karışımı ve süspansiyonu için kullanılır.

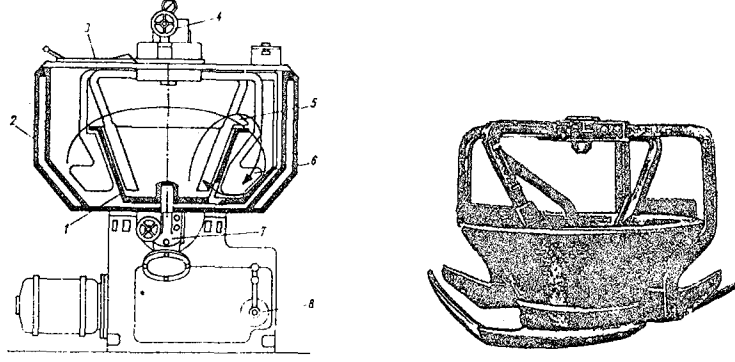
İmpeller karıştırıcı :  $D/d_r = 1,4...2$  ; kanat sayısı = 3 ;  $U = 3...12$  m/s ;  
 $Re_m = 10^3...10^6$  bölgesi ; dinamik viskozite = 5 Pas'e kadar ; akışkan hacmi =  $10m^3$ 'e kadardır.

Türbin karıştırıcı :  $D/d_r = 2,5...6$  ; kanat sayısı = 6...16 ;  $U = 3...15$  m/s ;  
 $Re_m = 10^2...10^6$  bölgesi ; dinamik viskozite = 50 Pas'e kadar ; akışkan hacmi  
 $V = 200 m^3$ 'e kadardır.

### 5.3.2 Çok Milli Karıştırıcılar

Planet ve firdöndü karıştırıcılar, yavaş hareket ederler ve çok milli karıştırıcılar sınıfına girerler.

Şekil 5.10, yoğurma aparatlı bir planet karıştırıcıyı göstermektedir. Ka-



Şekil 5.11 Firdöndü karıştırıcı

1-Taşıma kanatlı firdöndü, 2-Karıştırma kabı, 3-Doldurma ağızı, 4-Dönen kazıyıcı freni, 5-Kazıyıcı, 6-Savurma kanatları, 7-Akış valfi, 8-3girişli dişli düzeni

riştirici milerinin dişli çarkları sabit bir dişli çark üzerinde hareket ederler. Karıştırıcı kollar, merkez milin etrafında, dairesel hat üzerinde hareket ederler. Karıştırıcı miller bir sikloid çizerler.

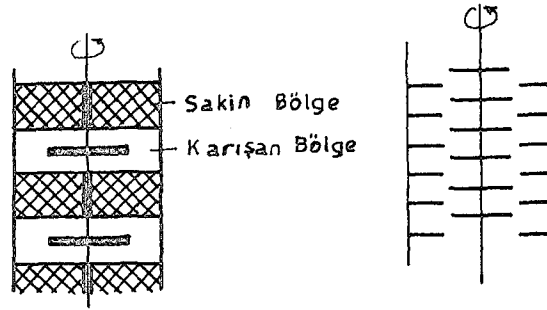
Planet karıştırıcı : Kap içi  $0,1...1 \text{ m}^3$  ; merkez mil  $35...20 \text{ d/d}$  ; karıştırıcı mili  $50...30 \text{ d/d}$  ; güç =  $2,5...10 \text{ KW}$ .

Firdöndü karıştırıcı (Şekil 5.11), çok kuvvetli parçalama ve karıştırma tesirine sahiptir.

Firdöndü karıştırıcı : Faydalanılan hacim  $0,1...2,5 \text{ m}^3$  ; karıştırıcı devir sayısı  $500...30 \text{ d/d}$  ; karıştırma zamanı : Toz halindeki katı madde  $5...10 \text{ d}$  , pasta  $10...30$  dakika, ham kauçuğun çözülmesi  $1...3$  saat ; güç =  $6...45 \text{ KW}$ .

#### 5.4 Karıştırma Kolonları

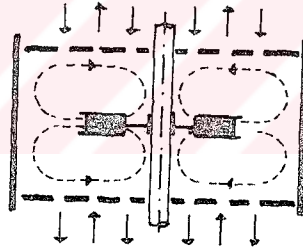
Karıştırma kolonlarında mekanik olarak çalışan kısımlar, bazı karışım bölgelerinde madde değişim hızını arttırmaktadır. Genellikle karışım bölgeleri arasında, ayrı, sakin bir bölge oluşur. Bunlar, kolon eksenine yönünde iyi bir karışım oluşmasını engellerler. Bütün karıştırma kolonlarında, karıştırma kısımları, ortak bir işletme mili üzerine yerleştirilmiştir. Sakin bölgeleri



Şekil 5.12 Scheibel Karıştırma kolonları (7)

engellemek için kolon duvarlarına sabit levhalar yerleştirilir (Şekil 5.12).

Şekil 5.13'deki Kühni karıştırma kolonlarında her karışım bölgesi delikli saçlarla ayrılmıştır. Bunlarda, türbin karıştırıcı kullanımıyla çok yüksek bir değişim yüzeyi ve karışım bölgelerinde sirkülasyonlu akım elde edilir.

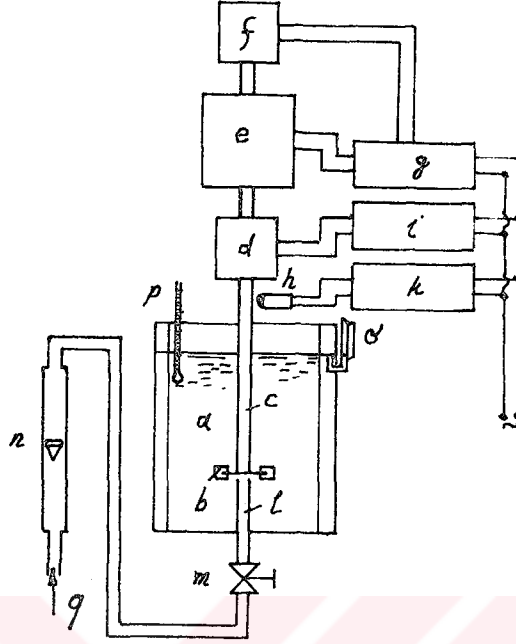


Şekil 5.13 Kühni karıştırma kolonları (7)

#### 5.4 Deneme Sistemleri ve Deneme Biçimleri

Deneme sistemleri yapısı Şekil 5.14'de şematik olarak gösterilmiştir. Tavlanmış karıştırma kabı (a) içine karıştırıcı (b) yerleştirilmiştir. Karıştırıcı mili (c) bir döndürme momenti aktarma organına (d) bağlanmıştır. İşletmeye göre devir sayısı, devir üretici (f) ve regülatör (g) üzerinden 50 d/d'dan 1500 d/d'ya kadar : 0,5'lik bir hassaslıkla ayarlanabilen paralelbağlı motor (e) kullanılır. Her dönüş için gerekli zaman, yansımali ışık cihazı (h) ile kaydedilir. Döndürme momenti göstergesi (i) ve döndür-





Şekil 5.14 Deneme sisteminin şeması

me zamanı göstergesi (k) dijitaldir.

Gaz karıştırıcıya l borusu vasıtasıyla alttan sevkedilir. Gazı sevketme hattına (m) ventili ile gaz akışının ayarlanabildiği akış sayacı (n) yerleştirilmiştir. Termometre (p) akışkanın sıcaklığı göstermektedir. Madde büyüklüklerinin belirlenmesinde akışkanın yoğunluğu için aracetre, viskozitesi için viskozitemetre, dış yüzeyindeki gerilimi ölçmek için gerilim ölçer kullanılır.

Plastik karıştırma kaplarında akışı izlemek mümkündür. Karıştırıcı ve kaptaki olaylar stroboskop ve magnezyum ışığı ile izlenebilir. Karıştırıcı mili karışımında sallantı oluşturduğundan kap yüksekliği muhafaza için sınırlandırılır.

Kap çapı  $D = 0,288$  m alınır. Levha genişliği  $f$ , yaprak genişliği  $c_y$ , mil çapı  $d_w$ , akım kırıcıların genişliği  $k$  için kararlaştırılan ölçüler yoldur. Sadece aşağıdaki oranlar verilmiştir :



$$f/d_r = c_y/d_r = 2,08 \cdot 10^{-2}, \quad d_w/d_r = 1,67 \cdot 10^{-1} \quad \text{ve} \quad k/d_r = 6,25 \cdot 10^{-2}$$

Püskürtme çapı  $d_D$  ve karıştırıcı levhanın püskürtme deliğinden açıklığı  $e_D$  için aşağıdaki oranlar çıkarılmıştır:

$$d_D/d_r = e_D/d_r = 1,25 \cdot 10^{-1}$$

Deneme akışkanı olarak Newtonsal akış hareketi gösteren su, glikoz ve gliserinin sulu çözeltileri kullanılır. Gazlanmada  $20^\circ\text{C}$  sıcaklığında hava kullanılır. Karışımın yoğunluğu, viskozitesi, dış yüzey gerilimi her deneme öncesi ve sonrası ölçülür.

Deneme sıraları sabit devir sayısı ve artan gaz debisiyle başlatılır. Dış yüzey gazlanmasındaki başlangıç noktasında, döndürme momenti ve gaz debisiyle oluşan püskürtme yüksekliği sıfır alınır.

Çizelge 5.2 Kullanılan akışkanların madde büyüklükleri

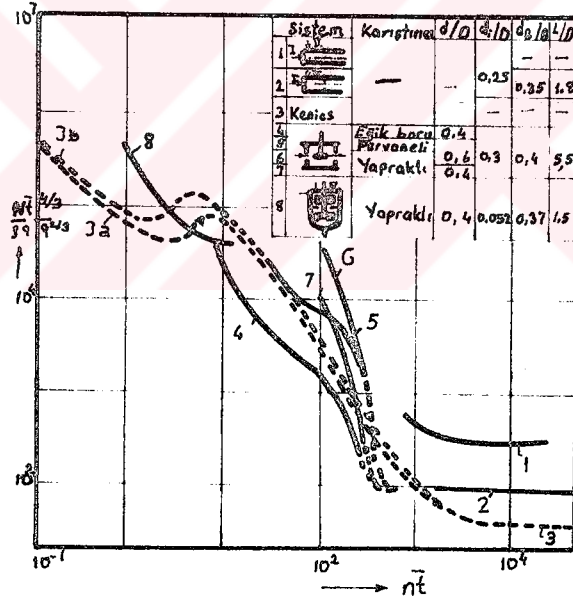
Akışkan	Viskozite (kg/ms)	Yoğunluk kg/m <sup>3</sup>	Dış yüzey gazlanması kg/cm <sup>2</sup>
Su	$1,0026 \cdot 10^{-3}$	$0,9982 \cdot 10^3$	$7,26 \cdot 10^{-2}$
Glikoz - su	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$1,184 \cdot 10^3$	$7,30 \cdot 10^{-2}$
Gliserin-su	$6,45 \cdot 10^{-2}$	$1,222 \cdot 10^3$	$6,31 \cdot 10^{-2}$
Gliserin-su	$4,39 \cdot 10^{-1}$	$1,246 \cdot 10^3$	$5,26 \cdot 10^{-2}$

### 5.6 Karıştırıcıların Karşılaştırılması ve Seçimi

Sürekli çalışan karıştırıcıların seçiminde madde değerleri, hacimsel debi ve ortalama bekleme zamanları esas alınır. Değişik karıştırıcıların karşılaştırılması enerjik olarak yapılabilir. Karşılaştırmada esas alınacak eşitlik aşağıdaki gibi çıkarılmıştır :

$$\frac{N(\bar{t})^{4/3}}{q^{2/3}} = f(q^{2/3}/(\bar{t}^{1/3} \nu)) \quad (5.2) \quad (4)$$

Bu bağıntıya göre değişik karıştırıcıların karşılaştırılması Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.15 Karıştırıcıların enerjik olarak karşılaştırılması (4)

Kısa boyda olması gereken siperli püskürtmeli karıştırıcılar (eğri 2) türbülanslı akım sahası için oldukça elverişlidir. Genellikle büyük uzunlukta olan kenics yapılı boruların (eğri 3) güç ihtiyacı çok düşüktür.

Geçiş sahasında püskürtmeli karıştırıcıların karıştırma uzunlukları büyük olacağından karıştırıcılı cihazlar tercih edilir(eğri 4..8).

## BÖLÜM 6

### KARIŞTIRMA OLAYINDAKİ GÜÇ İHTİYACI

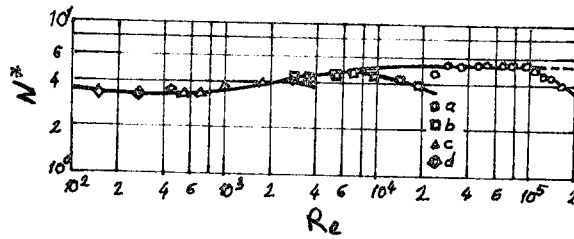
Güç ihtiyacı, akışkanın gazlanmasına veya gazlanmamasına, kullanılan karıştırıcının tipine, kaptaki akım şekline, karıştırma kabı özelliklerine ve akışkanın özelliklerine göre değişmektedir.

#### 6.1 Akışkanın Gazlanıp Gazlanmamasına Göre Güç İhtiyacı

Karışımdan istenen özelliklere göre bazı akışkanlar gazlandırılır. Bazılarında ise gazlanma yapılmadan karıştırma gerçekleştirilir. Bu durumlarda güç ihtiyaçları birbirinden farklı olmaktadır.

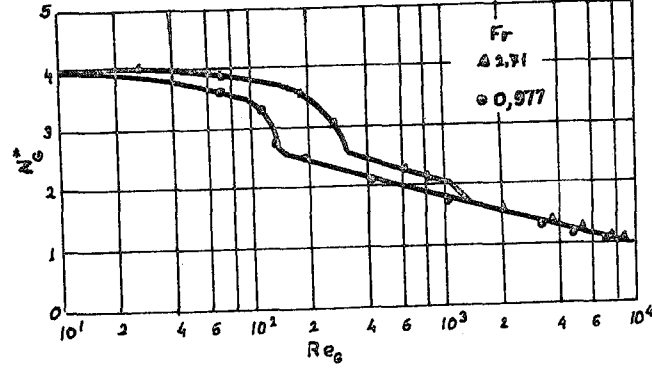
##### 6.1.1 Gazlanmamış Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı

Bu tür karıştırmada, ölçülen değerlerden hesaplanan güç sayısı Reynolds sayısına bağlı olarak Şekil 6.1'de verilmiştir.  $Re^2/We = \rho d \sigma / \gamma^2$  ifadesi parametredir. Şekilde a-  $Re^2/We = 6,91 \cdot 10^6$ 'da damıtılan su, b-  $Re^2/We = 7,35 \cdot 10^4$ 'de gliserin su karışımı, c-  $Re^2/We = 1,78 \cdot 10^3$ 'de gliserin su karışımıdır.



Şekil 6.1 Türbinli karıştırıcının güç ifadesi (2)

Oluşan türbülansın tamamında güç sayısı Reynolds sayısına bağlı değildir. Bu, 5,4 civarında sabit bir değer olarak kalmaktadır. Güç sayısı 4,8'den 6,8'e kadar sürmektedir.



Şekil 6.2 Güç sayısının gazın Reynold sayısına bağlılığı

### 6.1.2 Gazlanan Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı

Şekil 6.2 gazın Reynold sayısına bağlı olarak, ölçülen değerlerden hesaplanan, akışkanın gazlanmasında türbin karıştırıcı güç sayısını göstermektedir. Ölçümler,  $1 \cdot 10^1 < Re_G < 1,25 \cdot 10^4$  arasındaki sahada yapılmıştır. Froyd sayısı ve  $Re^2/We$  değerleri parametredir. Şekilde Reynold sayısının artmasıyla güç sayısının azaldığı görülmektedir. Güç sayısı, Froyd sayısının düşmesiyle de azalır.

### 6.2 Karıştırıcı Tiplerine Göre Güç İhtiyacı

Karıştırıcı gücü, aksiyal, radyal, teğet karıştırıcı olmasına göre değişir. Bu değişim grafiklerle gösterilebilir.

#### 6.2.1 Aksiyal Karıştırıcılarda Güç İhtiyacı

Pervaneli ve helezon karıştırıcıların güç ihtiyacının hesaplanmasında kullanılan güç sayısı, Şekil 6.3'de Reynold sayısına bağlı olarak verilmiştir.

Güç fonksiyonundaki Froude sayısı üssü  $y$  için tecrübelerle aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır :

$$y = \frac{c_1 - \log Re}{c_2} \quad (6.1)$$

Bu eşitlikteki  $c_1$  ve  $c_2$  sabitleri çap oranlarına bağlıdır.

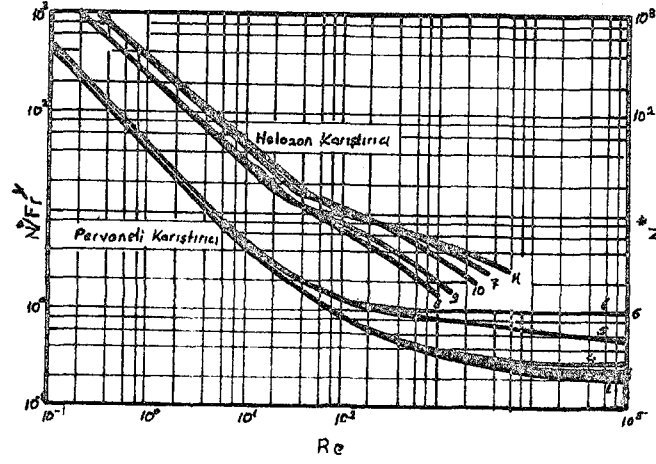
Çizelge 6.1  $c_1$  ve  $c_2$  sabitleri

Çap oranı $d_r/D$	$c_1$	$c_2$
0,476	2,6	18,0
0,370	2,3	18,0
0,333	2,1	18,0
0,303	1,7	18,0
0,222	0	18,0

Çap oranlarının düşmesi ile  $c_1$  çok küçülür. Araştırmaların çoğunda  $y$ 'nin negatif bir değer aldığı belirlenmiştir. Bu, Froude sayısının artmasıyla, akışkan içindeki girdapların nüfuzunun azalacağını ortaya çıkarır.

Reynold sayısının artmasıyla, güç eğrilerinde bir düşme olduğu, daha fazla artmasıyla sabit kaldığı Şekil 6.3'den görülebilir. Güç sayısı laminer sahada yaklaşık olarak  $Re^{-1}$ 'e denktir. Laminer sahada, karıştırıcı gücünü sadece akım kırıcılar yükseltir. Türbülanslı sahada, akım kırıcılar, gücü daha fazla arttırır (Şekil 6.3 eğri 6).

Helezon karıştırıcılarda güç sayısı, laminer sahada, pervaneli karıştırıcıların 5 katıdır. Artan Reynold sayıları ile helezon ve pervaneli karıştırıcıların eğrilerinde birbirlerine yaklaşma olur.



Şekil 6.3 Güç sayısı ve güç fonksiyonu

Çizelge 6.2, Şekil 6.3'deki pervaneli karıştırıcıların güç eğrilerine göre düzenlenmiştir.

Çizelge 6.2 Güç eğrilerine göre düzenleme

Eğri	Pervane çapı $d_r$ (mm)	Kap çapı D (mm)	Oran $d_r/D$	Vida diş açıklığı $h_g$ (mm)	Oran $h_g/d_r$	Akım kırıcılar
1	508	1372	0,372	433	1,05	0
2	152	457	0,33	152	1,00	0
3	102	330	0,309	102	1,00	0
4	305	1372	0,222	300	0,98	0
5	102	330	0,309	204	2,00	0
6	102	330	0,309	204	2,00	4

Çizelge 6.3 ise helezon karıştırıcıların güç eğrilerine göre düzenlenmiştir.

Çizelge 6.3 Güç eğrilerine göre düzenleme

Eğri	Vida çapı $d_r$ (mm)	Kap çapı $D$ (mm)	Vida yüks. $h_r$ (mm)	Vida dış acıklığı $h_g$ (mm)	Akım kırıcı -	Saç kal. s(mm)	Duvar ara. $s'$
7	76,2	241	330	45,7	0	-	-
8	76,2	241	330	45,7	4	24,1	0
9	76,2	241	330	45,7	4	24,1	24,1
10	76,2	241	330	45,7	4	24,1	48,2
11	76,2	241	330	45,7	0	-	-

#### 6.2.2 Radyal Karıştırıcılardaki Güç İhtiyacı

Şekil 6.4'de değişik radyal karıştırıcılara ait güç eğrileri verilmiştir. Kaplarda kalınlıkları  $s = D/10$  olan akım kırıcı kullanılmaktadır. (1) eğrisi çok kullanılan türbin karıştırıcıları göstermektedir. Burada  $Re = 10^5$  olduğunda güç sayısı  $N^* = 5,0$  olmaktadır. Bu değer sayısı arttıkça sabit kalmaktadır.

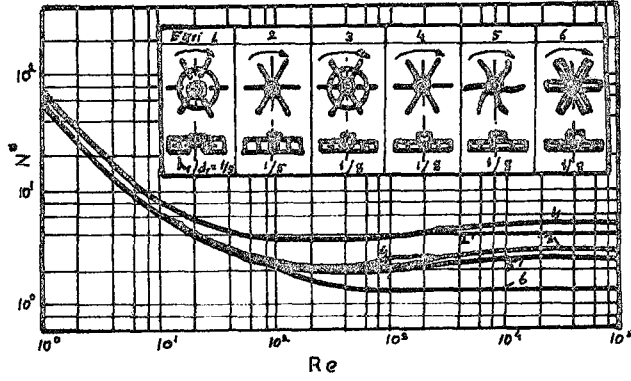
Türbin yaprakları (5) eğrisinde olduğu gibi kıvrımlı yapılabilsen güç ihtiyacı azalır. Akım kırıcıların etkisi geçiş sahasında başlar.

#### 6.2.3 Teğet Karıştırıcılardaki Güç İhtiyacı

Çapalı karıştırıcılar için yapılan araştırmalar sonucunda, genişletilmiş güç sayısı aşağıdaki gibi çıkarılmıştır :

$$N_A^* = \frac{N}{n d_r^3} \left( 1/2 + 4 \cdot \frac{h_r - b/z}{d_r - b} \right) f(D/d_r) \quad (6.2)$$

$f(D/d_r)$  fonksiyonu için :

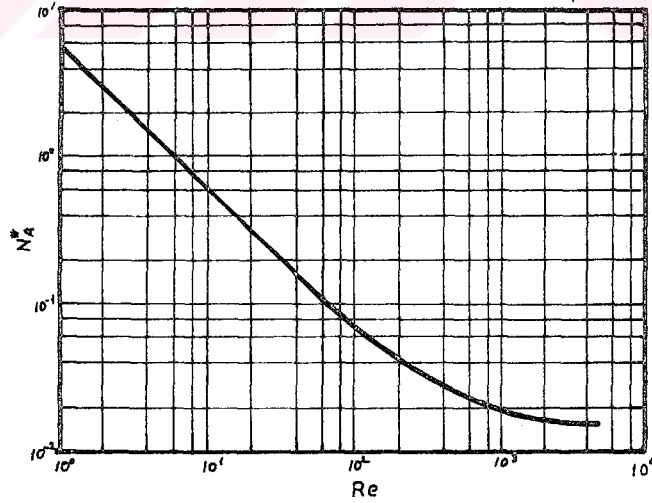


Şekil 6.4 Radyal karıştırıcıların güç ihtiyacı

$$D/d_r \leq 1,3 \text{ ise } f(D/d_r) = (0,156/(D/d_r - 1))^{1/2}$$

$$D/d_r \geq 1,3 \text{ ise } f(D/d_r) = 0,72 \text{ alınır.}$$

Şekil 6.5  $N_A^*$  'ı Reynold sayısının fonksiyonu olarak göstermektedir.



Şekil 6.5 Çapalı karıştırıcıların güç ihtiyacı



### 6.3 Akım Şekillerine Göre Karıştırıcının Güç İhtiyacı

Karıştırma sırasında oluşan laminer akım veya türbülanslı akımdaki karıştırıcının güç ihtiyacı değişmektedir.

#### 6.3.1 Laminer Akımdaki Güç İhtiyacı

Bir karıştırıcının dış yüzeyindeki kayma gerilmesi ve girdap derinliği  $z_1$  karıştırıcı gücünün hesaplanmasında kullanılır. Laminer akımda çıkarılan ve  $z_1$  ile akışkan formuna göre de güç ihtiyacı tesbit edilebilir.  $h$  ve  $z_1$ 'in eşitliklerinden çıkarılan sonuç :

$$N^* = 4\pi^3 \frac{h/d_r}{Re} \frac{D^{*2}}{D^{*2} - 1} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{2} \frac{Fr}{h/d_r} (h^* - z_1^*) \right] \quad (6.3)$$

Eşitlik hem Reynold sayısına hem de Froude sayısına bağlıdır.  $Fr = n^2 d_r / g$  olarak alınırsa :

$Fr = Re^2 / Ga$  eşitliğinden çıkarılan  $Ga = g d_r^3 \rho^2 / \eta^2$  Galile sayısı hesaplanır. Bunlardan faydalanılarak güç sayısı şöyle çıkarılabilir :

$$N^* = 4\pi^3 \frac{h/d_r}{Re} \frac{D^{*2}}{D^{*2} - 1} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{2} \frac{Re^2}{Ga \cdot h/d_r} (h^* - z_1^*) \right] \quad (6.4)$$

Güç sayısı 4 tanım sayısının ( $Re$ ,  $Ga$ ,  $h/d_r$  ve  $D^*$ ) bir fonksiyonudur.  $h^* - z_1^*$  sadece  $D^*$ 'a bağlıdır.

(6.3) eşitliğinin köşeli parentez içindeki ifade girdap durumunu belirler.  $D^* = 1$  için  $h^* - z_1^* = 0$  (Girdap olmaması hali).

$D^* = \infty$  için  $h^* - z_1^* = 1$  (Girdap olması hali).

$D^* = 1$  için  $N^* = \infty$  olur.

$$D^* = \infty \text{ için } N^* = 4 \pi^3 \frac{h/d_r}{Re} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{2} \frac{Re^2}{Ga \cdot h/d_r} \right]$$

olacaktır.

Çap veya yarıçap oranlarının artmasıyla girdap derinliği arttığı halde güç sayısında azalma olur.  $Re = \infty$  için ( $N = 0$ )  $N^* = 0$  ;  $h/d_r = 0$  için  $N^* = 0$  ( $N = 0$  için  $d_r = 0$ );  $Ga = \infty$  ve  $D^* = \infty$  için :

$$N^* = 4 \pi^3 \frac{h/d_r}{Re} \quad (6.5)$$

olur. Buna göre güç :

$$N = n^3 d_r^5 \rho 4 \pi^2 \frac{h/d_r}{Re} \quad (6.6)$$

$Re/(h/d_r) = 4 \pi^2$  olarak yerine konulursa :

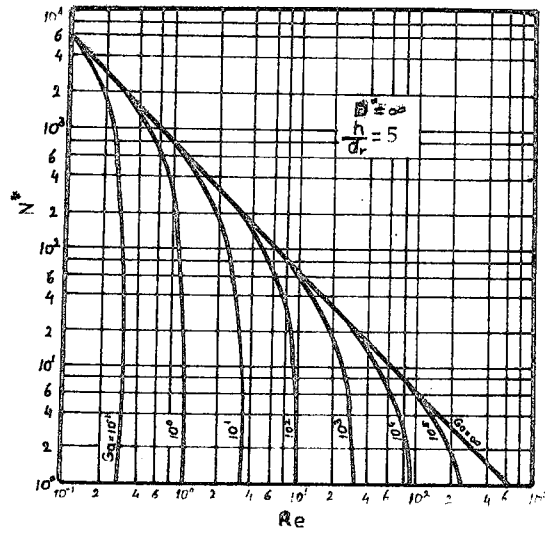
$$N = n^3 d_r^5 \rho \text{ olur.}$$

Reynold sayısının sınır değerinde girdaplar kap tabanına erişeceğinden  $N = N = 0$  olacaktır. Bu durumda (6.4) eşitliğinin köşeli parantez içindeki ifade sıfıra eşitlenerek Reynold sayısının sınır değeri çıkarılabilir :

$$Re_o = \frac{2}{\pi^2} \frac{Ga \cdot h/d_r}{h^* - z_1^*} \quad (6.7)$$

Eğer laboratuvar araştırmalarının sonuçları teknik işletmelerin hesaplamasında kullanılacaksa bu sınır değerleri çok önemlidir. Reynold sayısının değerinin sınır değerinden küçük olması istenir.

Şekil 6.6  $D^* = \infty$  ve  $h/d_r = 5$  durumunda güç sayısını Reynold sayısı ve Galile sayısına bağlı olarak göstermektedir.



Şekil 6.6 Re ve Ga sayılarına bağlı olarak güç sayısı

### 6.3.2 Türbülanslı Akımdaki Güç İhtiyacı

Türbülanslı akımda, güç sayısının kesin hesabında hız dağılımına gerek vardır. Bu dağılım henüz tesbit edilememiştir.

Aşağıdaki eşitlikler denemelerle ortaya çıkarılmıştır :

$$N_c^* = 0,054/Re_c^{1/3}$$

Buradaki  $N_c^*$  ve  $Re_c$  şu şekilde tarif edilmiştir :

$$N_c^* = \frac{2}{\pi n \rho r^2} \frac{D^{*2}}{(D^{*2} - 1)}$$
$$Re_c = \frac{\pi n d_r^2 \rho}{4} (D^{*2} - 1)$$

Tarif edilen bu sayılar karıştırma kaplarında kullanılan  $N^*$  ve Re sayılarına aşağıdaki gibi bağlıdır :

$$l_c$$

$$N_c^* = N^* (1/D^{*2}) \cdot (d_r/h) \cdot (2/\pi^4)$$

$$Re_c = Re (\pi/4) \cdot (D^{*2} - 1)$$

Yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak türbülanslı akımdaki güç sayısı şöyle çıkarılabilir :

$$N^* = 2,85 \frac{h/d_r}{Re^{1/3}} \frac{D^{*2}}{(D^{*2} - 1)^{1/3}} \quad (6.8)$$

Paratikte bu değerler, girdap oluşumunda geçersizdir. Sadece  $Re = \infty$  da ve  $10^3 \leq Re \leq 10^5$  tesir sahasında sınırlanmıştır.

#### 6.4 Kap Hacmine Bağlı Olarak Güç İhtiyacı

Kap hacmine bağlı olarak güç ihtiyacı  $N/V$  oranıyla çıkarılabilir. Teknikte  $N/V$ 'nin kap hacminin değişmesiyle nasıl değiştiği incelenmiştir.

Silindir karıştırıcılarda yapılan denemelerle gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Akışkan formu düzgün kabul edilerek, Newtonsal akışkanlar için aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır :

$$N = 4 \pi^3 \frac{h/d_r}{Re} \frac{D^{*2}}{D^{*2} - 1} \quad (6.9)$$

Buradan :

$$N = 4 \pi^3 n^3 d_r^4 h \rho Re^{-1} \frac{D^{*2}}{D^{*2} - 1} \quad (6.10)$$

bulunur. Karıştırma kaplarının hacmi :

$$V = h d_r^2 \frac{\pi}{4} (D^{*2} - 1) \quad (6.11)$$

(6.10) ve (6.11) eşitliklerinden aşağıdaki ifade çıkarılabilir :

$$\frac{N}{V} = 16\pi^2 \frac{\eta^3 Re^2}{\rho^2 D^4} \frac{D^6}{(D^{*2} - 1)^2} \quad (6.12)$$

Bu eşitlik laminer akımda girdap ihmal edilerek bulunan eşitliktir. Re yerine konularak çıkarılan güç ifadesi :

$$\frac{N}{V} = 16\pi^2 n^2 \eta \frac{D^{*2}}{(D^{*2} - 1)^2} \quad (6.13)$$

Bu eşitlik hacme bağlı güç ihtiyacının kap çapına bağlı olduğunu gösteriyor.

Türbin karıştırıcılarda Newtonsal olan veya olmayan akışkanların karıştırılmasında hacme bağlı güç eşitliği :

$$\frac{N}{V} = 4\pi \left( \frac{4\pi}{m} \right)^m \frac{k^3 Re^2 m}{n^{3(1-m)} \rho^2 D^4} \frac{D^6}{(D^{*2} - 1)(D^{*2-m} - 1)} \quad (6.14)$$

olarak çıkarılmıştır.

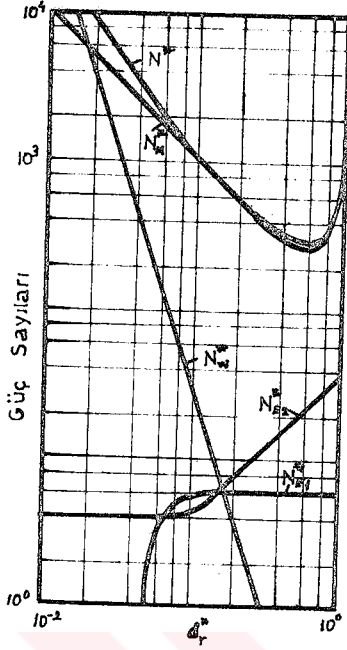
#### 6.4.1 Yüksekliği Büyük Olan Karıştırıcıların Güç İhtiyacı

Model karıştırıcının değişik yüzeyleri arasında, çevresel hızlarda oluşacak değişimin karşılıklı tesir oluşturmadığı, yüksekliği büyük karıştırıcılarda kabul edilebilir.

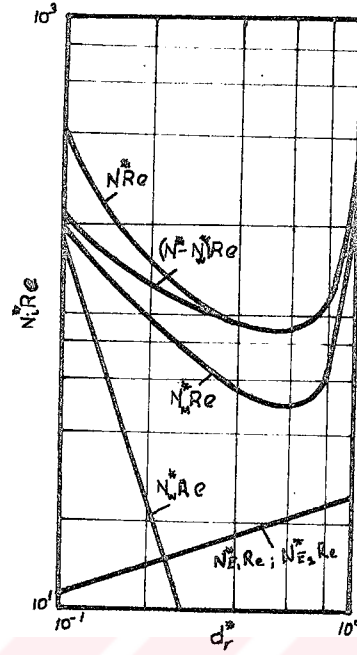
Levhali ve silindir karıştırıcılar üzerine denemeler yapılmıştır. Şekil 6. 7 , güç hesabında esas alınacak bir levhali karıştırıcıyı gösteriyor.

Bütün güç ihtiyacı için güç sayısı şöyle tarif edilir :





Şekil 6.8 Güç sayıları



Şekil 6.9 Güç sayıları

gösterilmiştir. Reynold sayısı ve  $h_r^*$ ,  $e^*$ ,  $d_w^*$ ,  $h_w^*$  geometrik oranları uygun olarak verilen değerlerde sabit kalırlar. Pratikte, güç sayıları için çap oranı  $d_r^* > 0,2$  olarak sınırlandırılır.

#### 6.4.2 Orta Yükseklikteki Karıştırıcıların Güç İhtiyacı

Bu karıştırıcılarda, kısmi yüzeyler, çevresel hızın değişimini karşılıklı olarak etkiler.

Şekil 6.9'da, orta yükseklikteki karıştırıcıların güç kısımları ve bütün güç için  $N_i^* Re$  çarpımı, çap oranı  $d_r^*$ 'a bağlı olarak verilmiştir. Laminer akım sahasında güç sayısı Reynold sayısı ile ters orantılı olduğu için  $N_i^* Re$  çarpımının Reynold sayısı ile ilgisi yoktur. Laminer akım sahasının üst sınırı  $Re = 10-40$  arası olduğu kabul edilebilir.

Karıştırıcının silindirik dış yüzeyinin güç sayısı ve karıştırıcı milinin güç sayısı için (6.4.1) bölümündeki bağıntılar verilebilir.

Orata yükseklikteki karıştırıcılarda, alt ve üst yüzeylerin güç sayıları aynıdır. Üst yüzey E1'in üstündeki hız dağılımı, akışkan serbest yüzeyi tarafından, alt yüzey E2'nin altındaki hız dağılımı, kap tabanı tarafından etkilenmediği ve Reynold sayısı ile ilgisi olmadığı neticesi çıkarılabilir.

### 6.5 Akışkanın Özelliğine Göre Güç İhtiyacı

Akışkanlar Newtonsal veya Newtonsal olmayan akışkanlar diye ayrılırlar. Bu akışkanların karıştırılmasındaki güç ihtiyacı birbirinden farklıdır.

#### 6.5.1 Newtonsal Akışkanların Karıştırılmasındaki Güç İhtiyacı

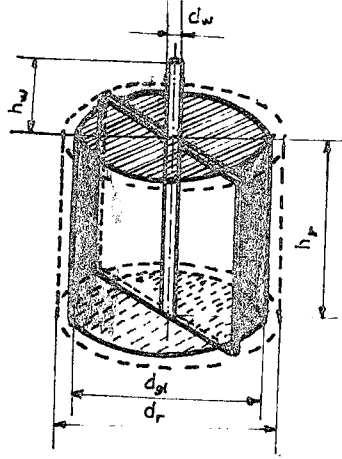
Önceki bölümlerde çıkarılan yarı teorik eşitlikler bu akışkanlarda kullanılır. Model karıştırıcıda bir eşdeğer çap tesbit edilir. Bu eşdeğer çap ( $d_{gl}$ ) ile gerçek karıştırıcının çapı ( $d_r$ ) arasında bir oran vardır. Hesaplar bu orana göre yapılır.

##### 6.5.1.1 Eşdeğer Karıştırıcı Çapı

Eşdeğer karıştırıcı çapı, Şekil 6.10'daki yaprak karıştırıcı örneğinde verilmiştir. Burada çapı  $d_r$  olan yaprak karıştırıcı ile çapı  $d_{gl}$  olan model karıştırıcı karşılaştırılmaktadır.

Çapı, gerçek karıştırıcıdan küçük olan bir silindir içindeki akışkanın dörmesinin yaklaşık olarak katı bir cisim gibi olduğunu deneysel araştırmalar göstermiştir. Bu katı, silindir şeklindeki cismin çapı  $d_{gl}$ 'dir. Silindir şeklindeki model karıştırıcı sayesinde, gerçek karıştırıcı yaklaşık olarak tesbit edilir. Verilen güçte, gerçek karıştırıcı ile model karıştırıcı arasındaki uygunluğa eşdeğer çapın değiştirilmesi





Şekil 6.10 Eşdeğer çap

ile erişilebilir.

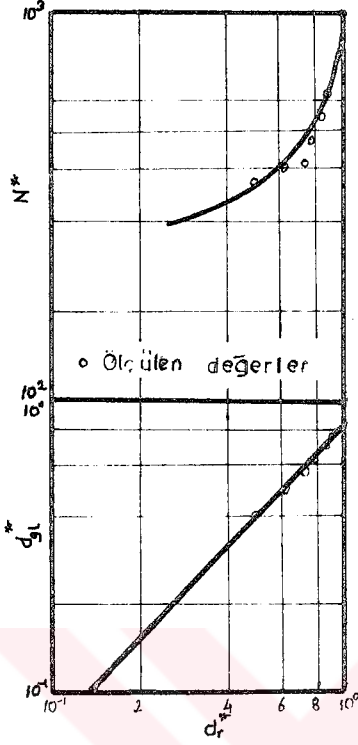
#### 6.5.1.2 Yapraklı ve Çapalı Karıştırıcıların Güç İhtiyacı

Gerçek çap, eşdeğer çapla bulunabilirse, güç ihtiyacı bu ifadelerin kullanımıyla hesaplanabilir.

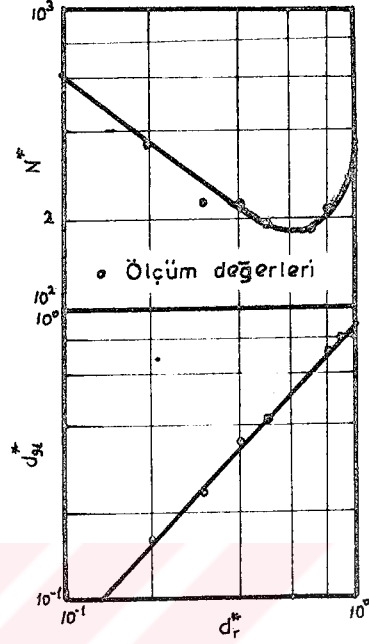
Yapraklı ve çapalı karıştırıcılar, yüksekliği büyük karıştırıcılardır. Güç ihtiyacı için daha önce çıkarılan  $N_M^*$ ,  $N_W^*$ ,  $N_{E1}^*$ ,  $N_{E2}^*$  ifadeleri kullanılır.  $Re(e/d_r)^2 \leq 1,352$  için geçerli güç sayısı :

$$N^* = \frac{4\pi^3}{Re} \left( \frac{d_{gl}^*}{d_r^*} \right)^3 \left\{ \frac{h_r^*}{d_{gl}^* (1-d_{gl}^{*2})} + \frac{h_w^*}{d_w^* (1-d_w^{*2})} \left( \frac{d_w^*}{d_{gl}^*} \right)^3 \right. \\ \left. + 0,04825 Re^{1/2} \frac{d_{gl}^*}{d_r^*} \left[ 1 - \left( \frac{d_w^*}{d_{gl}^*} \right)^4 \right] \right. \\ \left. + 0,03125 \frac{d_{gl}^*}{e^*} \left[ 1 + 0,16936 Re^2 \left( \frac{e^*}{d_r^*} \right)^4 \right] \right\} \quad (6.20)$$

$Re(e^*/d_r^*)^2 \geq 1,352$  için güç sayısı :



Şekil 6.11 Eşdeğer çap ve güç sayısı



Şekil 6.12 Eşdeğer çap ve güç sayısı

$$N = \frac{4\pi^3}{Re} \left( \frac{d_{gl}^*}{d_r^*} \right)^3 \left\{ \frac{h_r^*}{d_{gl}^* (1-d_{gl}^{*2})} + \frac{h_w^*}{d_w (1-d_w^{*2})} \left( \frac{d_w^*}{d_{gl}^*} \right)^3 + 0,04825 Re^{1/2} \frac{d_{gl}^*}{d_r^*} \left[ 1 - \left( \frac{d_w^*}{d_{gl}^*} \right)^4 \right] + 0,03326 Re^{1/2} \frac{d_{gl}^*}{d_r^*} \right\}$$

(6.21)

Şekil 6.11'de, yapraklı karıştırıcılar için güç sayısı ve eşdeğer çap oranı karıştırıcı çap oranına bağlı olarak çıkarılmıştır. Bu şekilde  $h_r^* = h_r/D = 0,9$ ;  $e^* = e/D = 0,05$  ve  $Re = 10$ 'dur.

Pratikte, çok iyi sonuçlar veren aşağıdaki ifade eğriden çıkarılmıştır :

$$d_{gl}^* = d_{gl}/D = 0,877d_r^{*1,07} \quad (6.22) \quad (8)$$

Şekil 6.12, çapalı karıştırıcılar için güç sayısı ve eşdeğer çap oranını karıştırıcı çap oranına bağlı olarak gösteriyor. Bu eğri  $Re = 2,0$  ve  $e^* = e/D = 0,1$  sabit değerlerine göre çıkarılmıştır. Bu eğriden pratikte çok kullanılan aşağıdaki ifade çıkarılmıştır :

$$d_{gl}^* = d_{gl}/D = 0,820d_r^{*1,07} \quad (6.23) \quad (8)$$

### 6.5.1.3 Türbin Karıştırıcılar İçin Güç İhtiyacı

Şekil 6. 13, türbin karıştırıcılar için şimdiye kadar mevcut teorik sonuçlarla çıkarılmıştır. Bu şekil,  $h_r^* = 0,1$ ;  $e^* = 0,4$ ;  $h^* = 1,0$  ve  $d_w^* = 0,063$  geometrik oranları için geçerlidir. Şekil,  $N^*Re$  ve eşdeğer çapı, karıştırıcı çapına bağlı olarak göstermektedir.

Şekil 6.13'deki eğrilerden şu pratik değer çıkarılabilir :

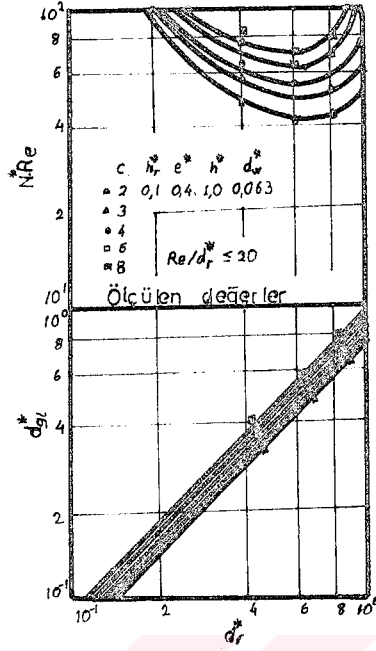
$$d_{gl}^* = d_{gl}/D = 0,71c^{0,125}d_r^* \quad (6.24) \quad (8)$$

Yapraklı , çapalı ve türbinli karıştırıcıların hesaplanan güç sayıları ile ölçülen güç sayıları arasında iyi bir uyum vardır.

### 6.5.2 Newtonsal Olmayan Akışkanların Karıştırılmasında Güç İhtiyacı

Newtonsal olmayan akışkanların yapraklı ve çapalı karıştırıcılarla karıştırılmasındaki güç ihtiyacı üzerine deneysel araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalara göre akışkana verilen güç iki kısımdan oluşmaktadır :

$$N^* = N_M^* + N_{E2}^* \quad (6.24)$$



Şekil 6.13 Güç sayısı ve eşdeğer çap

Silindirik dış yüzeyin güç sayısı için aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır :

$$N_M^* = 0,7 \pi^2 (4 \pi/m)^m \frac{h_r/d_r}{Re_m^{0,9}} \frac{D^{*2}}{(D^{*2/m} - 0,75)^m} \quad (6.25) \quad (8)$$

Akışkan indeksi  $m$ , sıfır ile  $\infty$  arasında teorik değerler alabilir. Newtonsal akışkanlarda  $m = 1$ 'dir. Alt yüzeyin güç sayısı için aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır :

$$N_{E2}^* = \frac{\pi^2}{8Re_m} (2 \pi/m)^m \frac{De^{*2}}{(De^{*2/m} - 1)^m} \quad (6.26) \quad (8)$$

Burada  $De^* = D/(D-2e)$ 'dir.

Yukarıdaki eşitlikler, yapraklı ve iki kollu çapalı karıştırıcılar için geçerlidir. Çapa kolları sayısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik çıkarılmıştır :

$$N^* = 0,7 \pi^2 (4 \pi/m)^m \frac{h_r/d_r}{Re_m^{0,95}} \frac{2 \sqrt{c/2}}{(D^{*2/m} - 0,75)^m} \quad (6.27) .$$

## BÖLÜM 7

## SONUÇLAR

Karıştırıcılar, sistemin ve karışımının özelliklerine göre seçilir. Sürekli karıştırmada, karıştırıcının boyutlarının uygunluğu ve enerjik açıdan ekonomik olan yavaş püskürtmeli karıştırıcılar tercih edilir.

Karıştırıcıdan karışıma güç nakliinin iyi olması için girdap oluşmaması gerekir. Eğer akım kırıcı kullanılırsa girdap meydana gelmez. Yapılan araştırmalar, 4 akım kırıcı kullanılmasının uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır. Akım kırıcılar, karışımında türbülans meydana gelmesini sağlarlar. Oluşan türbülansla karışımında homojenlik sağlanır.

Düşük viskoziteli akışkanların karıştırılmasında, pervaneli ve helezon karıştırıcılar; yüksek viskoziteli akışkanların karıştırılmasında, türbin karıştırıcıların kullanılması uygundur.

Karıştırma kaplarına ısı transferi yapılacaksa, ısı transferini en iyi şekilde sağlayan çapalı karıştırıcılar kullanılır.

Çok büyük kaplarda, bir karıştırıcıyla her bölgede homojenlik sağlanamaz. Bu durumda karıştırma kolonları veya çok karıştırıcılı sistemler kullanılır.

Çok yoğun ve viskoz maddelerin karıştırılması oldukça güçtür. Bu tür karışımlarda, çok güçlü enerji sevki sağlayan planet veya fırdöndü karıştırıcılar tercih edilir.

## KAYNAKLAR

- 1 - Banhero, J.T., Bodger, W.L., s.731 - 737, "Kimya Mühendisliğine Giriş" cilt 2, İTÜ yayınları, İstanbul 1979.
- 2 - Biesecker, B.O., s.1-32, "Begasen von Flüssigkeiten mit Rührern" , Bremen 1972.
- 3 - Vauck - Müller, s.307 - 328, "Grund Operationen Chemischer Verfahrens Technik".
- 4 - Henzler, H.J s.1 -8 "Eignung von kontinuierlich durchströmten Mischern zum Homogenisieren", Bremen 1972.
- 5 - Grassman, P., Widmer, F., s.273 - 284, 194 -197, 327 - 338, "Einführung in die thermische Verfahrenstechnik".
- 6 - Schlünder, E.U., VDI, s. Ma1 - Ma6 (1977), "Wärmeatlas Berechnungsblätter für den Wärmeübergang", Düsseldorf.
- 7 - Grassman, P. , s. 492 - 493, "Grundlagen der Chemischen Technik".
- 8 - Brauer, H., s. 869 - 940, "Grundlagen der Einphasen und Mehrphasenstromung".
- 9 - Smith, M., İTÜ yayınları sayı 131, s. 267 - 293, "Kimya Mühendisliği Unit Operasyonları" cilt 1, İstanbul 1979.