

Ankara Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Yayınları: 963

Ders Kitabı : 282



GIDA İŞLEME MÜHENDİSLİĞİ - II

Yazan

Doç. Dr. Ömer Lütfü GÜRSES

A.Ü. Ziraat Fakültesi Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Ankara

1986

Ankara Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Yayınları: 963
Ders Kitabı : 282

GIDA İŞLEME MÜHENDİSLİĞİ - II

Yazan
Doç. Dr. Ömer Lütfü GÜRSES
A.Ü. Ziraat Fakültesi Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Ankara
1986

ÖNSÖZ

Fakültemizin Tarım Ürünleri Teknolojisi Bölümünün Gıda Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı öğrencilerine okutmakta olduğum Gıda İşleme Mühendisliği - II dersine ait bir kitabın yazılmasına gerek olduğu ve yararlı olacağı hususu uzun yıllardır bizzat öğrencilerim tarafından da ifade edilmekteydi. Hazırlanan kitap özellikle gıda ile ilgili olarak kaleme alınmıştır ve örnek olarak seçilen problemler de gıda ile ilgilidir ve gıda işleme mühendisliği konusunda dilimizde yazılmış olan ilk kitap olacaktır. Kitapta en yeni SI birimleri (Jul, Watt, Newton, Pascal gibi) kullanılmıştır ve ilgili çizelgeler verilmiştir.

Eser esas olarak öğrenciler için hazırlanmış olmakla beraber gıda endüstrisinde çalışan teknik elemanlar için de yararlı bir başvuru kaynağı olabilecektir.

Kitabın tüm öğrencilerime ve ilgilenenlere yararlı olmasını dilerim.

Ankara, 1986

Doç. Dr. Ömer Lütfü GÜRSES

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Sayfa
1. KURUTMA	9
1.1 Suyun Üç Hali	10
1.2 Buharlaşma İçin Isı Gereksinimleri	11
1.3 Kurutmada Isı İletimi	13
1.4 Kurutucu Yeterlilikleri	15
1.5 Suyun Uzaklaştırılması	15
1.6 Nem	16
1.6.1 Psikrometrik Grafikler	17
1.6.2 Nemin Ölçümü ..	18
1.6.3 Denge Nem Oram	19
1.6.4 Sıcaklık Derecesi	21
1.6.5 Su Buharının Uzaklaştırılması	21
1.7 Kurutma Hızları	22
1.7.1 Havalı Kurutma	22
1.7.2 Sabit Kuruma Hızlarının Hesaplanması	24
1.7.3 Kondüksiyonla Kurutma	26
1.7.4 Dondurarak Kurutma	27
1.7.5 Kurutucular	27
2. BUHARLAŞTIRMA	34
2.1 Buharlaştırıcı	35
2.2 Vakumda Buharlaştırma	36
2.3 Buharlaştırıcılarda Isı İletimi	36
2.4 Yoğunlaştırıcılar	37
2.5 Çok Etkili Buharlaştırma	38
2.6 Çok Etkili Buharlaştırıcıların Beslenmesi	39
2.7 Çok Kademeli 9 Avantajları	40
2.8 Kaynama Noktasının Yükselmesi	42
2.9 Buharın Tekrar Sıkıştırılması	42

2.10 Isıya Duyarlı Hammaddelerin	Buharlaştırılması.....	43
2.11 Buharlaştırıcı Tipleri	.....	44
3. AYIRMA İŞLEMLERİ	.....	47
3.1 Konsentrasyonlar	.....	49
3.2 Gaz-Sıvı Dengesi	.....	51
3.3 Katı-Sıvı Dengesi	.....	51
3.4 Denge-Konsentrasyon Bağlıları	.....	52
3.5 İşlem Koşulları	.....	53
3.6 Temas Denge İşlemlerinde Ayrılmanın Hesaplanması	.....	54
4. GAZ ABSORBSİYONU	.....	57
4.1 Gaz Absorbsiyonu Hızı	.....	57
4.2 Kademe Dengesi İle Gaz Absorbsiyonu	.....	58
4.3 Gaz Absorbsiyonu Aletleri	.....	60
5. EKSTRAKSİYON VE YIKAMA	.....	61
5.1 Ekstraksiyon Hızı	.....	62
5.2 Temas-Dengesi İle Ekstraksiyon	.....	63
5.3 Yıkama	.....	65
5.4 Ekstraksiyon ve Yıkama Aletleri	.....	66
6. KRİSTALİZASYON	.....	68
6.1 Çözünürlük	.....	68
6.2 Kristalizasyon Isısı	.....	70
6.3 Kristal Gelişim Hızı	.....	71
6.4 Kristalizasyon Aletleri	.....	73
7. DAMITMA	.....	74
7.1 Buharlı Damıtma	.....	77
7.2 Vakumlu Damıtma	.....	78
7.3 Basit Damıtma	.....	78
7.4 Damıtma Aleti	.....	79
8. MEKANİK AYIRMA İŞLEMLERİ	.....	81
8.1 Bir Akışkan İçerisinde Hareket Eden Parçacıkların Düşme Hızı	.....	81
8.2 Sedimentasyon	.....	83
8.2.1 Sıvı İçerisinde Sedimentasyon	.....	84
8.2.2 Gaz İçerisinde Sedimentasyon	.....	85
8.2.3 Kombine Kuvvetlerle Mekanik Ayırma	.....	86
8.3 Santrfüj İle Ayırma	.....	88
8.3.1 Ayırma Hızı	.....	89

	<u>Sayfa</u>
8.3.2 Sıvı Ayırma	90
8.3.3 Santrifüj Aletleri	92
8.4 Filtrasyon	94
8.4.1 Sabit Hızlı Filtrasyon	96
8.4.2 Sabit Basıncılı Filtrasyon	96
8.4.3 Filtre Keki Sıkışabilirliği	98
8.4.4 Filtrasyon Aletleri	98
8.5 Eleme	101
9. ÖĞÜTME VE PARÇALAMA İŞLEMLERİ	102
9.1 Öğütme ve Kesme	102
9.2 Öğütmede Enerji Tüketimi	103
9.3 Öğütme İle Oluşan Yeni Yüzey	105
9.4 Ezme, Kırma ve Öğütme Aletleri	106
9.5 Emülsiyon Hazırlama	109
9.5.1 Emülsiyonların Hazırlanması	110
9.5.2 Emülsiyonların Kırılması	111
10. KARIŞTIRMA	112
10.1 Örnek Analizleri	112
10.2 Katı Parçacıkların Karıştırılması	114
10.3 Karışma Düzeyi	115
10.4 Sıvıların Karıştırılması	116
10.5 Karıştırma Aletleri	117
11. İŞLEM MÜHENDİSLİĞİNİN GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ BAZI UYGULAMALARI	120
11.1 Et Endüstrisi	120
11.2 Süt Endüstrisi	122
11.3 Hububat Ürünleri Endüstrisi	124
12. EKLER	126
13. YARARLANILAN KAYNAKLAR	132

1. KURUTMA

Gıdaların kurutulması, içerdikleri suyun yavaş bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Birçok durumlarda kurutma gıdada bulunan suyun buharlaştırılması suretiyle yapılır. Bunu yapabilmek için gizli buharlaşma ısı sağlanmalıdır. Buna göre kurutma işlemi içerisinde iki işlem-kontrol faktörü girer.

a) Gerekli gizli buharlaşma ısını sağlamak üzere ısının iletimi,

b) Gıda maddesinde suyun veya su buharının hareketi ve sonra gıdadan uzaklaşmasının sağlanması ve böylece suyun gıda maddesinden ayrılması.

Kurutma gıda maddelerini dayanıklı hale getirmek için uygulanan en eski yöntemlerdendir. Çok eski zamanlarda dahi insanlar et ve balığı güneşte kurutmuşlardır. Gıdaların kurutma suretiyle dayanıklı hale getirilmesi yöntemi halen önemli bir gıda muhafaza yöntemidir. Kurutulmuş gıdalar bozulmadan uzun süre depolanabilirler. Bunun nedenleri şunlardır::

— Gıdaların bozulmasına ve çürümesine neden olan mikroorganizmalar su bulunmadığında gelişemez ve çoğalamazlar,

— Gıdaların kimyasal bileşiminde arzu edilmeyen değişimler neden olabilecek enzimlerin bir çoğu su bulunmadığında faaliyet gösteremezler.

Kurutma işlemi için esas neden gıdayı dayanıklı hale koymaktır. Fakat kurutma işlemi diğer işleme şekilleri ile bağıntılı da olabilir. Buna örnek olarak ekmek pişirme gösterilebilir. Ekmek pişirmede ısının uygulanması ile gazların hacmi artar (genleşir); protein ve nişastanın yapısı değişir ve somun kurutulur. Nem kaybı arzu edilmediği zamanlarda da görülebilir. Örneğin; peynirin olgunlaştırılması sırasında ve etin donmuş halde depolanması sırasında olduğu gibi.

Kurutma işlemleri 3 grupta toplanabilir:

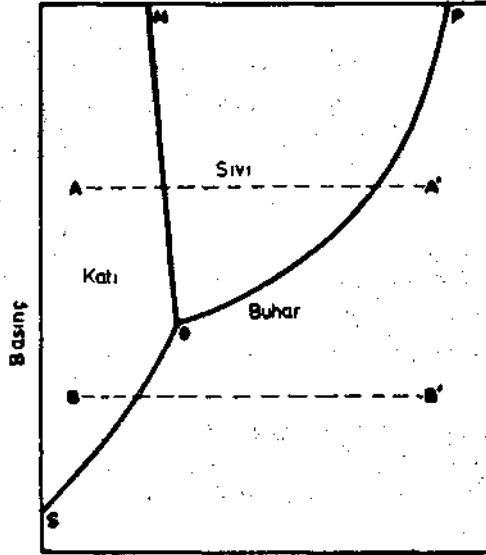
1. Atmosfer basıncı altında hava ile veya kontak kurutma. Bunda gıdaya ısı, ısıtılmış havadan veya ısıtılmış bir yüzeyden iletilir. Su buharı hava ile dışarı çıkarılır.

2. Vakumda kurutma: Suyun buharlaşması alçak basınçta, yüksek basınçtakine oranla daha kolaylıkla olur. Vakumda kurutmada bundan yararlanılır. Vakumda kurutmada ısı iletimi genellikle kondüksiyonla olur, bazan radyasyonla olur.

3. Dondurarak kurutma: Dondurarak kurutmada dondurulmuş gıdadan su süblime edilerek buharlaştırılıp uzaklaştırılır. Bu şartlarad daha iyi yapıya sahip bir ürün elde edilebilir. Süblimasyonun olabilmesi için, uygun sıcaklık derecesi ve basınç sağlanmalıdır.

1.1. Suyun Üç Hali

Bilindiği üzere katıksız su katı, sıvı ve buhar olmak üzere 3 halde olabilir. Herhangi bir anda suyun hangi halde olduğu sıcaklık derecesi ve basınç koşullarına bağlıdır. Bu durumu aşağıdaki faz diyagramı ile göstermek mümkündür.



Bazı belirli (özel) şartlarda iki hal birlikte görülebilir. Bu şartlar yalnızca diyagramdaki çizgiler boyunca bulunur. Bir durumda 3 halin tümü birlikte görülebilir. Bu şart 3'lü nokta denilen şartta ortaya çıkar. Bu nokta diyagramda (0) ile gösterilmiş olan noktadır. Su için bu durum 0.0098 °C ve 4.8 mm civa basıncında görülür.

Eğer suya herhangi bir halde ve sabit basınçta ısı uygulanırsa sıcaklık derecesi yükselir ve şart diyagram enince yatay olarak hareket eder ve halde değişikliğin meydana geleceği sınırları geçer. Örneğin; diyagramdaki (A) şartından başlarsak ısı eklenmesi buzu ısıtır. Sonra eritir, sonra suyu ısıtır ve en sonunda suyu (A') noktasına buharlaştırır. (B) şartından başlarsak (ki bu nokta 3 lü noktanın altındadır) ısı eklendiği zaman, buz ısınır ve sonra herhangi bir sıvı halden geçmeden buharlaşır.

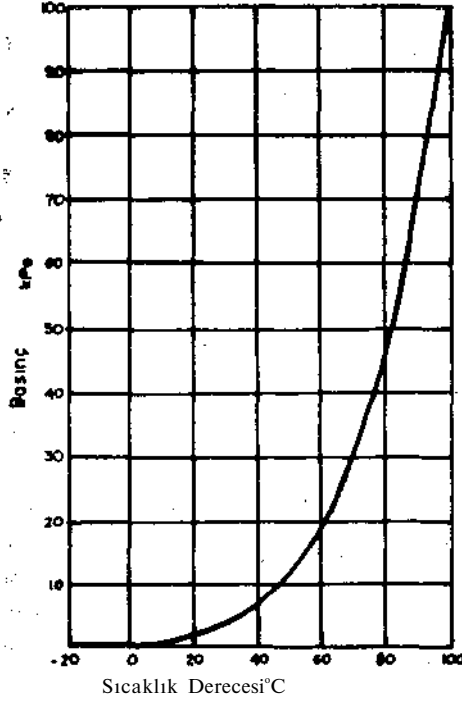
Sıvı ve buhar denge halinde olmak üzere ancak OP çizgisi boyunca olan şartlarda birlikte görülebilir. Bu çizgiye buhar basınç çizgisi denir. Buhar basıncı, moleküllerin sıvıdan gaz olarak kaçmaya olan eğiliminin ölçüsüdür. Su için buhar basıncı-sıcaklık derecesi eğrisi aşağıda gösterilmiştir. Bu eğri bir önceki eğride OP ile gösterilen kısmın genişletilmiştir. Suyun buhar basıncı su yüzeyi üzerindeki toplam basınca eşit olduğu zaman kaynama görülür. Atmosfer basıncında kaynama 100 °C dır. Atmosfer basıncı üzerinde veya altındaki basınçlarda su, 100 °C altında veya üstünde ve eğrisinin gösterdiği sıcaklık derecelerinde kaynar.

1.2. Buharlaşma İçin Isı Gereksinimleri

Herhangi bir sıcaklık derecesinde suyu buharlaştırmak için sağlanması, verilmesi gereken enerji miktarı bu sıcaklık derecesine bağlıdır. Bir kg suyun buharlaşması için gerekli enerji miktarına "gizli buharlaşma ısısı" denir (eğer sıvıdan buharlaşma yapılıyorsa). Eğer katıdan buharlaşma yapılıyorsa "gizli süblimasyon ısısı" denir.

Problem: % 80 su içeren bir gıda maddesi 100 °C de % 10 su miktarına dek kurutulacaktır. Eğer gıda maddesinin başlangıçtaki sıcaklık derecesi 21 °C ise atmosferik basınçta kurutmada materyalin birim ağırlığı için gerekli olan ısı enerjisi miktarını hesaplayınız? 100 °C de ve standart atmosfer basıncında suyun gizli ısısı 2257 kJ /kg dır. Gıdanın özgül ısısı kapasitesi 3.8 kJ/kg C° dır.

1 kg suyun uzaklaştırılması için gerekli olan ısı gereksinimini de bulunuz?



Şekil 2 Buhar Basıncı/Sıcaklık Derecesi Eğrisi (Su İçin)

Kurutmada kullanılan havaya veya ısıtma yüzeyine ısı sağlanması için genellikle buhar kullanılır. Buhar yoğunlaştığında, buharlaşma gizli ısını geri verir ve kurutmada kurutulmuş materyal gizli buharlaşma ısını almalı ve kendi sıvısını buhar haline geçirmelidir, buna göre 1 kg buhar yoğunlaştığında 1 kg buhar meydana getirecektir, diye düşünülebilir. Bu düşünce tam doğru değildir. Çünkü buhar ve gıda genellikle farklı basınçlar altında bulunacaktır. Gıda genellikle daha düşük basınç altında bulunacaktır. Buharlaşma gizli ısıları aşağıdaki çizelge'de görüldüğü üzere daha düşük basınçlarda biraz daha yüksektir.

Problem: % 80 su içeren bir gıda maddesi vakumda kurutma uygulanarak 60 °C de ve bu dereceye karşın olan 20 kPa mutlak atmosfer basıncında (veya 81.4 kPa vakum) % 10 su miktarına dek kurutulacaktır. Eğer gıda maddesinin başlangıçtaki sıcaklık derecesi 21 °C ise belirtilen bu vakumda kurutmada materyalin birim ağırlığı için gerekli olan ısı enerjisi miktarını hesaplayınız? 20 kPa basınçta suyun gizli ısı 2358 kJ/kg dır ve gıdanın özgül ısı kapasitesi 3.8 kJ/kg °C dir.

SUYUN GİZLİ ISISI VE SATÜRASYON SICAKLIK DERECELERİ

Absolü Basınç	Buharlaştırma Gizli Isısı	Satürasyon Sıcaklık Derecesi
kPa	U/kg	C°
1	2485	7
2	2460	18
5	2424	33
10	2393	46
20	2358	60
50	2305	81
100	2258	99.6
101.35 (1 atm.)	2257	100
110	2244	102
120	2238	105
200	2202	120
500	2109	152

1 kg suyun uzaklaştırılması için gerekli olan ısı gereksinimini de bulunuz?

Dondurarak-kurutmada süblimasyon gizli ısı sağlanmalıdır yani verilmelidir. Basıncın, süblimasyon gizli ısı üzerinde çok az etkisi vardır. Süblimasyon gizli ısı 2838 kJ/kg olarak alınabilir.

Problem: Önceki iki problemdeki gıda maddesi 0 C° de dondurularak kurutulacak sa, 0 C° de donmuş haldeki gıda maddesinden başlandığında hammaddenin 1 kg'ı için ne kadar ısı enerjisi gereklidir?

1.3. Kurutmada Isı İletimi

Kurutmanın hızı ısı enerjisinin gizli ısıları sağlamak üzere suya veya buza iletilme hızlarına bağlıdır. Isı iletimindeki üç mekanizma da (kondüksiyon, radyasyon ve konveksiyon) kurutmada vardır. Bu mekanizmalardan hangisinin daha etken olduğu veya daha büyük oranda olduğu kurutma işleminin cinsine göre değişir ve çeşitli işlemlere göre farklıdır. Çoğunlukla bu mekanizmalardan biri daha hakim durumdadır ve tüm işlemi bu mekanizma etkiler.

Örnek olarak; havada kurutmada ısı iletim hızı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$q = h_s A (t_a - t_s)$$

q = ısı iletim hızı, kJ/kg san.

h_s = yüzey ısı iletim katsayısı, J/m² . san. C°

A = ısı geçişinin olduğu alan, m²

t_a = havanın sıcaklık derecesi, C°

t_s = kurumakta olan yüzeyin sıcaklık derecesi, C°

Diğer bir örnek olarak; silindir kurutucuda nemli materyal ısıtılmış bir silindir yüzeyinde yayılıdır. Bunda ısı iletimi silindirden gıda maddesine kondüksiyonla olur. Buna göre eşitlik,

$$q = UA (t_i - t_s)$$

U = genel ısı iletim katsayısı, J/m². san. C°

t_i = iç sıcaklık derecesi (genellikle buhar), C°

t_s = yüzey sıcaklık derecesi (suyun kaynama noktası veya biraz üzeri), C°

A = silindir üzerindeki kurutma yüzeyi alanı, m²

(U) nun değeri silindir materyalinin ve gıda maddesi tabakasının iletkenliğinden bulunabilir. (U) nun değeri çok iyi koşullarda 1800 J/m². san. C° ye kadar yüksek ve iyi olmayan koşullarda 60 J/m². san. C° ye kadar düşük bulunmuştur.

Fazla miktarda ısının radyasyonla iletiildiği durumlarda gıdanın yüzey sıcaklık derecesinin hava sıcaklık derecesinden daha yüksek olabileceği hatırlanmalıdır. Kombine radyasyon ve buharlaşmadan ötürü soğumanın etkisi çok kompleks olmasına rağmen yüzey sıcaklık derecesi radyant ısı iletimi için geliştirilmiş bağıntılar kullanılmak suretiyle yaklaşık olarak hesaplanabilir. Standart eşitlikler kullanılmak suretiyle konveksiyon katsayıları da yaklaşık hesaplanabilir.

Dondurarak kurutmada enerji süblimasyonun olduğu yüzeye iletilmelidir. Ancak; enerji öyle bir hızla sağlanmalıdır ki, kuruyan yüzeyin sıcaklık derecesi donma noktasının üzerine yükselmesin. Dondurarak kurutmanın birçok uygulamalarında ısı iletimi başlıca kondüksiyon yoluyla olur. Hızlandırılmış veya yükseltilmiş dondurarak kurutma adı verilen işlemden kondüksiyona yardımcı olunur. Bu yardımcı olma, ısıtılmış yüzeylerde (plakalarda) gıdanın alt ve üst kısmında bulunan metal levhaların kullanılmasıyla iyi bir termal temas sağlanması ile yapılır.

Kurutma ilerledikçe ısı iletim durumunun özellikleri değişir. Yüzey tabakaları kuru materyal işgal etmeye başlar ve kondüksiyonun bu yüzey tabakaları arasından olması gerekir. Isı ancak bu suretle kurutma bölgesine iletilebilir.

1.4. Kurutucu Yeterlilikleri

Bir kurutucunun çalışma yeterliliği şöyle tanımlanır: kurutulma ile uzaklaştırılan suyun buharlaşma gizli ısısını sağlamak üzere verilmesi gerekli teorik ısının, kurutmada kullanılan gerçek ısıya oranıdır. Bu yeterliliğin bilinmesi şu amaçlar için faydalıdır:

1. Bir kurutucunun performansının saptanacağı zaman,

2. Belli bir kurutma işlemi için kullanılacak çeşitli grup kurutucular var ise: bunların birbirleri ile karşılaştırılmasında,

Genel yeterlilik ısıtma kısmındaki kayıplar yönünden de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle kurutucu için ısı sağlamak üzere yakılan yakıtın vereceği toplam ısıya bağlıdır.

Problem: Bir kurutucu 100 kg patates mamulünün su miktarını % 80 den % 10 a düşürmektedir. Patates mamulünün kurutucuya giriş sıcaklık derecesi 24 C° dir. Eğer 49.800 m³ kuru havanın sıcaklık derecesini 80 C° ye çıkarmak için 70 kPa manometre basınçta 250 kg buhar kullanılıyorsa ve eğer hava kurutucudan geçerken 71 C° ye soğuyorsa kurutucunun yeterliliğini

a) havadan sağlanan ısı,*

b) buhardan sağlanan ısı yönünden hesaplayınız?

Patatesin özgül ısısı 3.43 kJ /kg C° dir. Patatesin kurutucudan, çıkış havası sıcaklık derecesinde olmak üzere çıktığını varsayınız.

71 C° satürasyon sıcaklık derecesine karşın olan gizli buharlaşma ısısı 2331 kJ/kg dır. Havanın özgül ısısı 1.0 kJ/kgC° ve 75 C° deki yoğunluğu 1.06 kg/m³ tür. 70 kPa manometrik basınçtaki buharın gizli ısısı 2216 kJ/kg dır.

Kurutucular için genel termal yeterliliklere örnekler;

Silindir kurutucular için % 35-80

Püskürtmeli (sprey) kurutucular için % 20-50

Radyant kurutucular için % 30-40 tır.

1.5. Suyun Uzaklaştırılması

Gıdadan suyu buharlaştırmak veya süblime etmek için yeterli enerji sağlandıktan sonra, bu nemin uzaklaştırılması için bir yol bulunmalıdır. Atmosferik kurutmada normal olarak hava akımı kullanılır. Dondurarak-kurutmada ve vakum sistemlerinde suyu bir sıvıya veya katıya

yoğunlaştırmak normal olarak uygun ve kolaydır ve bundan sonra vakum pompalarının yalnızca kondanse olmayan gazları uzaklaştırması gereği kalır.

1.6. Nem

Bir hava akımının nem uzaklaştırması kapasitesi bu hava akımının nem miktarına ve sıcaklık derecesine bağlıdır.

Nem; havanın su miktarının ölçüsüdür. Mutlak nem belirli bir hava kütleindeki su buharının kütesidir. Bu nedenle, mutlak nemin birimleri (kg nem/kg kuru hava) dır. Eğer istenen (su kütleli/belli basınçta birim hacimdeki hava) ise mutlak nem miktarları bunu hesaplamada kullanılabilir.

Eğer belirlenen şartlarda havanın nemi maksimum miktarda ise bu hava verilen bu sıcaklık derecesi ve basınçta su buharı ile doymuş demektir. Su buharı ile doymuş haldeki havaya daha fazla su ilave edilirse bu su az yoğun bir sis halinde sıvı su olarak görünmelidir. Doymuluk şartları altında havadaki su buharının kısmi basıncı, bu sıcaklık derecesindeki suyun satürasyon buhar basıncına eşittir.

Oransal nem; belirli bir hava numunesinin neminin aynı sıcaklık derecesi ve basınç şartlarında bu havanın doymuş haldeki nemine oranı diye tanımlanır. Oransal nem çoğunlukla % olarak ifade edilir. Oransal nem çok genel olarak dehidrasyonda havanın su absorbe etme kapasitesinin ölçüsü olarak kullanılır. Çünkü hava ancak kendini satüre edecek miktarda suyu kabul edebilir.

Havalı kurutmada, materyalin kuruma hızı bu havanın oransal nem miktarına bağlıdır. Oransal nem yüksek oldukça hava akımında daha fazla nem vardır ve havanın ilave su alma kapasitesi o kadar azdır.

Evaporasyon hızı şöyle tanımlanabilir:

(Havadaki suyun buhar basıncı-gıdanın yüzeyindeki su buharı basıncı)

Havanın oransal nemi az oldukça bu fark yani gıdanın yüzeyindeki su buharı basıncı ve havanın su buharı basıncı arasındaki fark daha fazladır ve böylece kurutma hızı daha fazla olacaktır.

Mutlak nem hava içindeki su buharının kısmi basıncına aşağıdaki eşitlikle bağlanabilir.

$$H = 18 P_w / [29 (P - P_w)]$$

Burada;

H = havanın mutlak nemi

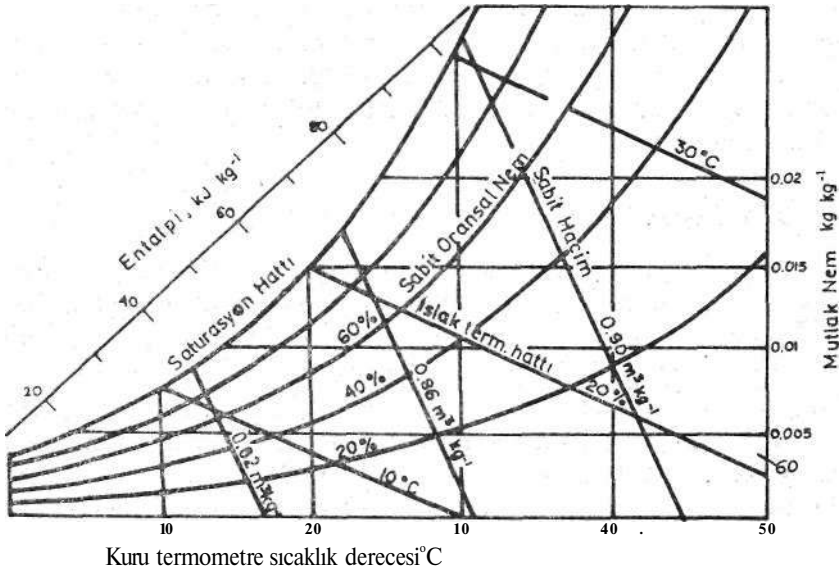
P_w = su buharının kısmi basıncı

P = toplam basınç

Genellikle P_w , P ye göre küçük olduğu için ve bundan başka $P = 1$ atm olduğundan, $H = 18 P_w/29$ dur.

1.6.1. Psikrometrik Grafikler

Suyun satürasyon buhar basıncı sıcaklık derecesine bağlıdır. Eğer sıcaklık derecesi artırılırsa, satürasyon buhar basıncı artar. Bunun sonucu olarak bir hava örneğinin sıcaklık derecesi artırılırsa ve hiç su eklenmez veya alınmazsa oransal nem azalmalıdır. Benzer olarak, eğer sıcaklık derecesi azalırsa, oransal nem artar. Eğer sıcaklık derecesi yeterli miktarda azaltılırsa hava doymun hale gelecektir ve sıcaklık derecesi daha fazla düşürülürse su kondanase olup ayrılacaktır. Herhangi bir bilinen mutlak nem ve basınçta, suyun yoğunlaşmış ayrıldığı sıcaklık derecesine çığ oluşum noktası denir.



Şekil 3 Psikrometrik Grafik (basitleştirilmiş)

Bu bağıntılar kolaylıkla psikrometrik grafik denilen diyagramda gösterilebilir.

Bir çok psikrometrik grafikler geliştirilmiştir. Verilen bu grafikte satürasyon sıcaklık dereceleri veya çığ oluşum noktaları, bunlara karşın olan mutlak nemler gösterilmiştir. Aynı zamanda değişik oransal nemlere karşın olmak üzere sıcaklık dereceleri ve mutlak nemler işaretlenmiştir. Bunların grafikte gösterildiği yol yukarıdaki grafikte görülebilir.

Şu husus hatırdta tutulmalıdır ki; herhangi bir psikrometrik grafik spesifik bir basınç içindir ve yalnızca bu basınç için kesindir. Normal gıda kurutma işlemleri gerçekte dar bir basınç aralığında yer alır ve birçok amaç için yukarıda verilen grafik duyarlıdır ve basınç değişimleri ihmal edilebilir. Ancak tabii ki bu durum vakumda kurutma için mevcut değildir.

Eğer bir havalı kurutucu için çıkış ve girişin oransal nemleri verilmiş se bunlara karşın olan mutlak nemler grafikten okunabilir ve buna göre de 1 kg hava tarafından tutulan su miktarı hesaplanabilir.

Problem: Bir odada ıslak termometre sıcaklık derecesi $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ölçülmüştür. Kuru termometre sıcaklık derecesi $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Bu ölçümlere göre odada oransal nem, entalpi ve oda havasının özgül hacim değerleri nelerdir.

Problem: Bir kurutucuda bulunan $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki hava bir yüzey üzerinden geçmekte ve bu sırada biraz soğumaktadır. Yüzey üzerindeki ilk su damlacıkları yüzey $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye soğuduğunda (adyabatik soğuma noktası) görülmektedir. Bu noktada kurutucudan çıkan havanın oransal nemi nedir.

1.6.2 Nemin Ölçümü

Psikrometrik grafikte "adyabatik soğuma eğrisi" denilen bir takım eğriler vardır. Bu eğriler; belirli bir oransal nemde bulunan hava ile denge halinde bulunan serbest su yüzeyi tarafından alınan sıcaklık derecesini verir ve grafikte buna karşın olan hava sıcaklığını verir. Eğer, serbest sıvı yüzeyinin üzerinden doymamış hava geçerse bir kısım sıvı buharlaşır ve yüzey sıcaklık derecesi azalır. Bundan sonra hava akımından yüzeye ısı aktarılır ve buharlaşma hızı ile ısı iletim hızı arasında bir denge oluşur. Yüzeyin denge sıcaklık derecesine ıslak termometre sıcaklık derecesi denir ve bu; hava sıcaklık derecesi ve nem miktarına bağlıdır. Pratik amaçlar için buna çok yakın sıcaklık derecesi hava akımı içinde tutulan ve haznesi ıslak fitil ile sarılmış termometre tarafından verilir.

Kuru termometre (fitalsiz) ise bava sıcaklığını kaydeder. Bu termometreye kuru hazneli termometre denir. Kuru ve yaş termometre sıcaklık dereceleri biliniyorsa grafikten oransal nem okunabilir.

Nemi ölçmek için diğer yöntemlerde kullanılabilir. Nem ölçen aletlere "higrometre" veya "psikrometre" denir. Bazı genel tipler şunlardır:

1. *Çiğ Oluşum Noktası Ölçücüler*: Bunlar satürasyon veya çiğ oluşum noktası sıcaklık derecesini ölçer. Bunun için yoğunlaşma (kondensasyon) görülünceye dek bir hava örneği soğutulur. Bundan sonra psikometrik grafik nemi vermek üzere kullanılır. Örneğin; bir hava örneği 20 C° de alınır, bir aynada 14 C° ye soğutulduğunda'kondensasyonun ilk işaretleri görülürse; grafik havanın % 69 oransal nem içerdiğini gösterir.

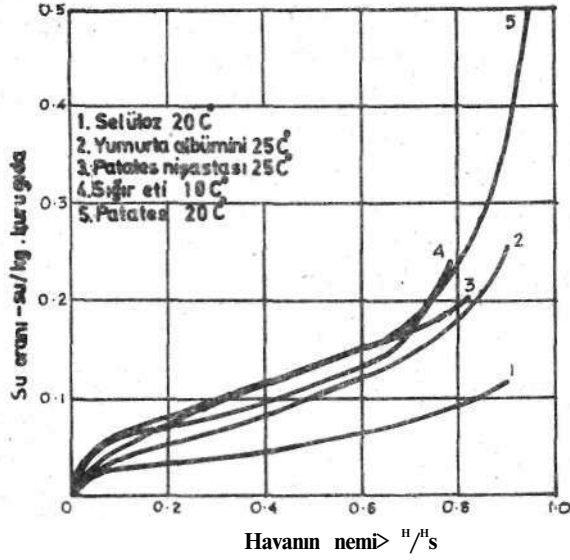
2. *Saçlı Higrometre*: İnsan saçı teli oransal neme bağlı olmak üzere uzar veya kısalır. Kesin şekilde olmak üzere saç telinin boyunu ölçen aletler yapılmıştır ve buna göre de bu aletler nem miktarlarına göre bölümlendirilip ayarlanmıştır.

3. *Elektriksel Direnç Higrometreler* : Bazı materyaller etraftaki havanın oransal nemine göre yüzey elektrik rezistansında farklılık gösterirler. Bu materyale örnekler alüminyum oksit, fenol-formaldehit polimerleri ve stiren polimerleridir. Bölümlendirme yoluyla direnç, nem olarak okunabilir.

4. *Lityum Klorür Higrometreleri*: Bunlarda lityum klorür çözeltisi vardır. Çözeltinin sıcaklık derecesi sabit tutulur. Şöyle ki; çözeltinin kısmi basıncı havadaki su buharının kısmi basıncına eşittir. Havanın nemini tayin etmek için lityum klorüre ait olan. buhar basıncı -sıcaklık derecesi bağıntıları kullanılabilir.

1.6.3. Denge Nem Oranı

Gıdanın üzerindeki denge buhar basıncı yalnızca sıcaklık derecesi ile değil gıdanın su miktarı ile de saptanabilir. Şu yollaki gıda içindeki su, suda eriyen yapı taşlarının varlığı ile gıda içinde bağlıdır. Bilinen buhar basıncı altında gıda çevresi ile denge halinde olmak üzere nem düzeyi alır ve buna denge nem düzeyi denir. Bu nedenle denge buhar basıncı neme karşın olmak üzere grafik çizilebilir. Veya havadaki oransal nemi denge halinde olmak üzere gıdanın nem düzeyine karşın grafiğe işlemek mümkündür. Elde olunan eğriler farklı gıda maddelerine göre değişiktir. Aşağıda örnek grafikler görülmektedir.



Şekil 4 Denge Nem Oranları. Burada $H = \text{nem}$ $H_s = \text{doğun halde nem}$

Buna göre; şekilde gösterdiği üzere, % 30 bağıl nemli bir atmosferde 20 C° sıcaklıkta patates için denge nem düzeyi 0.1 kg su/kg kuru patatestir, ($30/100 = H/H_s = 0.3$ ten, 0.3 karşılığı 5 nolu grafik patates grafiği 0.1 su miktarı yani 0.1 kg su/kg kuru patatestir). Hava sıcaklığı 20 C° ve oransal nemi % 30 olan bir havalı kurutucu kullanarak patatesleri % 10 dan daha aşağıya kurutmak mümkün olmayacaktır. Eğrinin görüldüğü üzere belirli bir oransal nem düzeyi üzerinde (patateslerde yaklaşık % 80 oransal nem) denge nem düzeyi oransal nemde artma ile hızla artar. Değişik gıdalara göre farklar vardır. Bu farklar hem eğrilerin şeklinde görülür hem de herhangi bir oransal nem ve sıcaklık derecesinde, mevcut su miktarında görülür (oransal nem 0 ile % 65 arasında olduğunda). Eğrinin sigmoid özelliği (S- şekli) en fazla göze çarpar ve düşük nemlerde nem düzeyi kuru maddeleri protein, nişasta ve diğer yüksek moleküllü polimer içeren gıdalarda en fazladır. Suda eriyen kuru madde miktarı fazla olan gıdalarda düşüktür. Yağlar, kristal tuzlar ve kristal şekerler genelde ihmal edilebilir miktarda su absorbe ederler. Amorf formdaki şekerler kristal forma göre daha fazla su absorbe ederler.

Şekilde protein ve selüloz için tipik eğriler verilmiştir ve nişasta ile karşılaştırma yapılabilir.

1.6.4. Sıcaklık Derecesi

Havanın sıcaklık derecesi nemin uzaklaştırılmasında büyük etkiye sahiptir. Bu iki nedendir;

1. Suyun doyunluk (satürasyon) buhar basıncını tayin eder,
2. Nemi buharlaştırmak için ısıyı ileten sıcaklık derecesi) itici kuvvetini sağlar.

Isı iletim hızları, ısı iletimi konusunda belirtilen eşitlikler, ile tahmin edilebilir. Şu hususu belirtelim ki standart eşitliklerle tahmin edildiği üzere hava akış hızı sıcaklık derecesi arttıkça kurutma hızı artar.

Bundan başka, hava akış hızı arttıkça kurumakta olan katı madde üstündeki kısımdan buharın uzaklaştırılması daha kolay olur.

Sıcaklık derecesi istendiği kadar yükseltilemez, çünkü;

1. Yüksek sıcaklık derecelerinde gıda ürününün zarara uğrama olasılığı vardır.
2. Belirli bir basınçta buhar mevcut olabilir.

1.6.5. Su Buharının Uzaklaştırılması

Atmosferde havalı kurutmada su buharı yüklü havanın uzaklaştırılmasında herhangi bir güçlük yoktur. Su buharı yüklü hava atmosfere verilir. Aspiratör, kurutucuya hava alım kısmına yeterli derecede uzak olduğu zaman herhangi bir problem çıkmaz. ,

Dondurarak kurutmada su buharının uzaklaştırılması bu kadar kolay değildir. Bunda havanın atmosfere verilebilmesi için bir pompadan geçmesi gerekir. Bu pompa (vakum pompası) nemli havanın basıncını atmosfer basıncına yükseltir. Vakum pompaları pahalıdır. Bu nedenle bu iş daha ucuza şöyle yürütülebilir: su kondanase edilir yani yoğunlaştırılır bundan sonra geri kalan kondanase durumda olmayan hava atmosfere pompalanır. Bu durumda yoğunlaştırılmış suyun buhar basıncı dondurulmuş gıdanın su buharı basıncından daha düşük olmalıdır. Bu, şu demektir:

- Kondenser donma noktasından aşağıda olmalıdır ve
- Kondenser sıcaklık derecesi az oldukça kurutucu içinde daha düşük basınç sağlanabilir.

Örneğin 0 C° de buzun buhar basıncı 0.4582 cm civadır. Kondenser yüzeyi -34.5 C° olduğunda, kondenser üzerindeki buz ile denge halinde

buhar basıncı 0.01778 cm civa olacaktır. Fakat -23.3 C° derece kondenser sıcaklığında buna karşın olan denge buhar basıncı 0.05588 cm civa olacaktır. Kondenser soğutma yüzeyi alanı suyu uzaklaştırmak için yeterli olmalıdır.

Bazı uygulamalarda nemli gazlar tamamen kondense edilmeden (yoğunlaştırılmadan) önce buhar ayırıcılardan bir veya iki aşamalı olmak üzere geçirilir. Bu işlemden sonra geriye kalan kondense olmayanlar diğer bazı aşamalardan geçirilir ve sonuçta atmosfere verilir. Bu suretle yoğunlaştırma soğutma suyu sıcaklık derecesinde işlem yapılabilir. Buhar ayırıcılar jet pompaları ile aynı yolda olmak üzere çalışırlar. Bu yolda çok düşük yoğunlaştırıcı sıcaklık derecelerine (dondurarak - kurutucuda yüksek vakuma karşıdır) gereksinim yoktur.

1.7. Kurutma Hızları

Materyalin kuruma hızı

- Materyalin cinsine göre ve
- Kullanılan kurutma işlemine göre değişir.

1.7.1 Havalı Kurutma

Havalı kurutmada suyun uzaklaştırılması şu faktörlere bağlıdır.

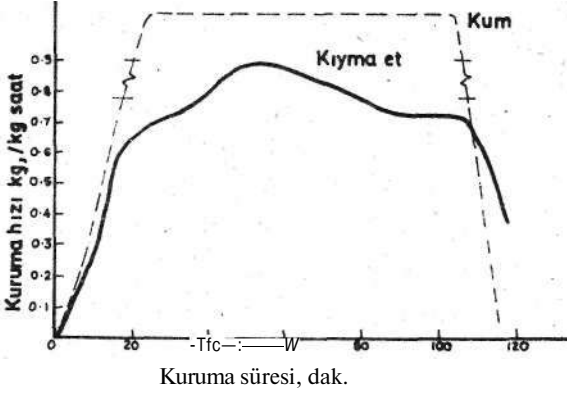
1. Havanın durumu
2. Gıdanın özellikleri
3. Kurutucunun yapısı

Nem; çeşitli bağlanma derecelerinde olmak üzere tutulabilir. Bu yüzeyde çok fazla miktarda su tabakası tutulması suretiyle olabilir. Veya nem diğer bileşiklerle kimyasal olarak bağlanabilir. Önceleri suyun gıda maddelerinde serbest veya bağlı olmak üzere iki şekilde bulunduğu kabul edilmekte idi. Bu düşünce şimdi çok basit olarak kabul edilmekte ve faydalı olmadığı belirtilmektedir. Su, çeşitli derecelerde olmak üzere değişen kuvvetlerle tutulmaktadır. Bunlar;

1. Yüzey suyunu tutan çok zayıf kuvvetler
2. Çok kuvvetli kimyasal bağlardır.

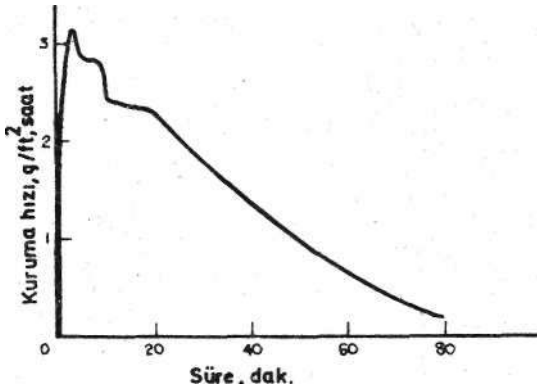
Şu husus açıktır ki kurutmada en gevşek olarak bağlı olan su en kolay şekilde uzaklaşacaktır. Buna göre kurutma hızının gıdada su miktarı azaldıkça azalacağı umulabilir. Geride kalan su, suyun miktarı azaldıkça gittikçe kuvvetle bağlanacaktır.

Bir çok durumlarda suyun bir kısmının gevşek olarak bağlı olduğu görülür. Kurutma işlemleri için bu gevşek olarak bağlı su kısmına yüzeydeki serbest su gözüyle bakılabilir. Buna göre kurutma hızlarını böyle bir materyal olan kum ve et gibi bir gıda maddesi ile karşılaştırabiliriz. Bu karşılaştırma aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5 Kurama Hızı Eğrileri

Kurumanın, su serbest yüzeyde imiş gibi olduğu bu duruma "sabit hızlı kuruma" adı verilir. Ancak gıda kumun tersine olmak üzere su içerir ve sabit hızlı kurumada bir süre sonra su daha yavaş olmak üzere dışarı çıkar. Balık için tüm bir kuruma eğrisi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bunda kurutma sıcaklık derecesi düşüktür. Bu nedenle kuruma süresi uzun olmuştur.



Şekil 6 Balık için Kurutma Eğrisi

Sabit kuruma hızından daha yavaş hıza geçiş değişik gıdalar için farklı nem düzeyinde görülür. Bir çok gıdalarda protein ve karbonhidrat miktarlarında farklılıklar olduğu halde sabit kuruma hızında değişme % 58 - 65 bağıl nemli hava ile denge haline geliminde görülür. Kuruma hızında değişikliğin meydana geldiği nem miktarına "kritik nem düzeyi" denir.

Diğer önemli bir noktada şudur: patates gibi bir çok gıda gerçek bir sabit kuruma hızı devresi göstermezler. Ancak bunlar, yavaş ve aşağıya doğru azalan bir kuruma devresinden sonra oldukça keskin bir düşüş arası gösterirler ve bunlarda sabit hız kavramı halen yaklaşık sonucu verir. Bazı durumlarda birden fazla sabit hız devresi görülebilir.

Sabit hız döneminin sonu yani kuruma hızı eğrisinin kırılma noktası şunu önemle belirtir:

—Su serbest yüzey olarak davranmayı durdurmuştur.

— Kuruma hızını buhar basıncı farklılıklarından başka faktörler kontrol etmektedir.

Bundan sonra kuruma hızı düşer ve buna kurumanın düşüş hızı dönemi denir. Düşüş hızı döneminde hızı kontrol edici faktörler karışıktır. Bu gıdadan yüzeye difüzyona dayanır, ayrıca su moleküllerinin enerji bağlama gücünün değişiminde bağlıdır. Gıdaların bu dönemde kurutulmasına dair çok az teorik bilgi vardır ve dizayn için (kurgu için) ancak deneysel kuruma eğrileri kullanılabilir.

1.7.2 Sabit Kuruma Hızlarının Hesaplanması

Sabit hız döneminde su, serbest su yüzeyine eşit olarak uzaklaştırılır. Bu nedenle suyun uzaklaştırılması aşağıdaki faktörler tarafından etkilenir:

— Isının havadan yüzey suyuna iletim hızı

— Suyun yüzeydeki ve hava akımındaki kısmi buhar basınçları

Radyasyon ve konduksiyon yoluyla iletimin ihmal edilebilir varsayımı ile ısı iletim hızı aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$q = h_c A (t_a - t_s) \text{ burada}$$

$$q = \text{ısı iletim hızı}$$

$$h_c = \text{konveksiyon ısı iletim katsayısı}$$

$$A = \text{kurutmanın yer aldığı alan (yüzey)}$$

t_a = havanın sıcaklığı derecesi

t_s = kuruyan yüzeyin sıcaklık derecesi

Kurutma devam ettiğinde ısı iletim hızı suyun hava akımına kitle iletimi hızına bağlanabilir. Kitle iletim hızı aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$w = k_g A (p_s - p_a)$$

burada,

w = birim süre için iletilen su kütlesi

k_g = küttele iletim katsayısı

A = Kuruma alanı

p_s = yüzeydeki suyun kısmi basıncı

p_a = havadaki su buharının kısmi basıncı

Bundan ayrı

$H = 18 p / 29$ olduğu nedenle

$w = k_g' A (H_s - H_a)$ dır.

Burada,

H_s = havanın doymuş durumda nem

H_a = havanın nemi

ve $k_g' = 1.8 \text{ kg}$ dır.

Aynı zamanda buharlaşan suya gizli ısının sağlanması gerektiğinden şunu yazabiliriz,

$$w \times \lambda = q$$

Burada, λ = suyun buharlaşma gizli ısısı

Bu nedenle, bu iki eşitliği birleştirirsek aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$w = k_g A (p_s - p_a) = \frac{h_c A (t_a - t_s)}{\lambda}$$

Bu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$k_g = \frac{h_c (t_a - t_s)}{\lambda (p_s - p_a)}$$

$$h_c = \frac{\lambda k_g (p_s - p_a)}{(t_a - t_s)}$$

Kütle aktarını katsayısının ölçülmesi kolay değildir ve genellikle dolaylı yoldan ($h_c [k_g' c_p]$) grubunun kullanılması ile bulunur. Bu grup Lewis sayısı olarak bilinir. Hava ve su sistemi için Lewis sayısı yaklaşık olarak 1'e eşittir. Şöyle ki,

$$h_c / k_g' c_p = 1 \quad k_g' = h_c / c_p$$

havanın sabit basınç altındaki özgül ısı $c_p = 0.24$ olduğundan $k_g' = 4 h_c$ dir.

Bu analizler ve eşitlikler kurumanın başlangıç aşamalarında geçerlidir. Kuruma belli bir sınırı geçince kuruma hızı azalır. Bundan sonraki aşamalarda kuruma hızlarını hesaplamak için gıdanın içerisindeki, diğer maddelerle bağlanmış durumda bulunan suyun da göz önüne alınması gerekir.

Yukarıdaki incelemelerden "sabit kuruma hızı"nın havanın sıcaklık derecesi ve akış hızı tarafından etkilendiği görülür. Hava sıcaklığı, sıcaklığın sürükleyici gücünün ve hava akış hızı ise h_c değerinin üzerinde etkilidir.

Hava ile kurutmada yüzey sıcaklık derecesi tüm pratik amaçlar için havanın ıslak termometre sıcaklık derecesi olarak alınabilir. Kurutulmakta olan gıda maddesinin bazı özellikleri ve yapısı "sabit kuruma hızı"nı etkiler. Çünkü buhar basıncı denge bağlantılarını bu faktörler tayin ederler.

1.7.3 Kondüksiyonla Kurutma

Kondüksiyonla kurutmada ısı sıcak bir yüzeyden kurutulacak olan hammaddeye iletilir. Bu ısı; suyun buharlaşması için gerekli olan ısı enerjisini sağlar ve kurutma hava şartlarına bağımlı olmamak üzere ilerler. Isı dengesi; gıda maddesine iletilen ısı, suyun buharlaşması ile kaybedilen ısı, havaya olan konveksiyon ve kondüksiyon arasında kurulur. Kondüksiyonla kurutma hızlarının hesaplanmasında gerekli olan eşitlikler ısı iletimi konusunda görülmüştü. Burada önemli olan eşitlik aşağıdaki eşitliktir.

$$q = UA (t_h - t_s)$$

$$q = \text{ısı iletim hızı}$$

$$U = \text{genel ısı iletim katsayısı}$$

$$A = \text{ısı iletiminin yani kurumanın yer aldığı yüzey alanı}$$

$$t_h = \text{ısıtma aracının sıcaklık derecesi}$$

$$t_s = \text{kurumakta olan gıda maddesinin sıcaklık derecesi}$$

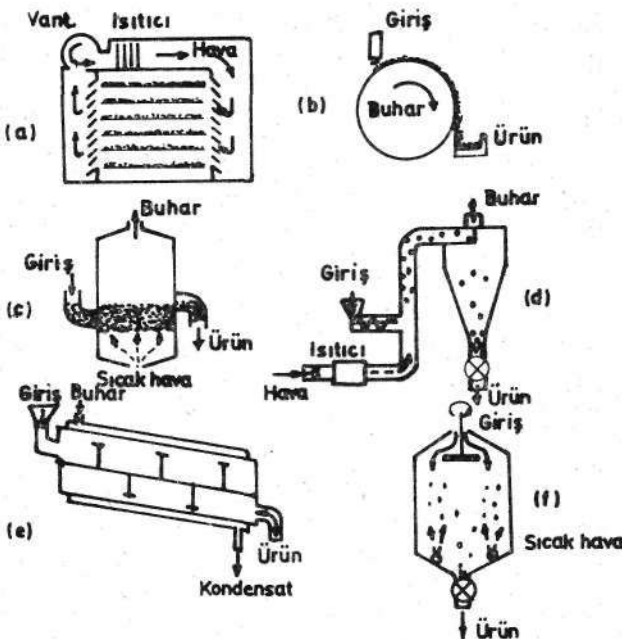
Kurutma süresince sıcaklık derecesi sabit kaldıkça kuruma hızı da sabit kalır. Ancak kurutma işleminin son aşamalarında gıda maddesinin sıcaklık derecesi yükselir ve gerçek kuruma hızı düşer.

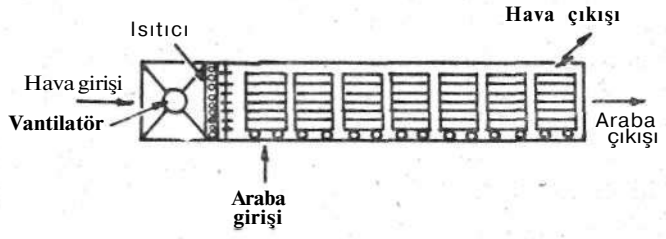
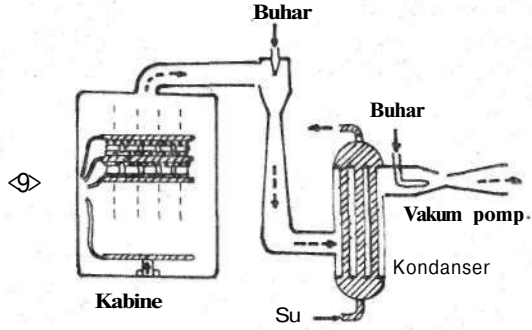
1.7.4 Dondurarak - Kurutma

Dondurarak - kurutmada, kurutulacak gıdaya ısı iletimi kondüksiyon veya radyasyonla veya her iki yolla birlikte olur. Bu yöntemle kurutmada en önemli husus ısı iletim hızının kontrolüdür. Donmuş durumdaki gıda maddesinin yani buzun erimemesine dikkat etmek gereklidir. Bu nedenle ısı iletim hızı buzun erimemesini sağlayacak düzeyde düşük olmalıdır. Diğer taraftan kurutmayı uygun olan kısa bir sürede tamamlayabilmek için ısı iletim hızı olanaklar ölçüsünde yüksek olmalıdır. Bu en yüksek ve kontrollü ısıtma hızını sağlamak etkili ve verimli bir dondurarak - kurutucunun yapısının tayininde en önemli sorundur. Kontrol edilmesi gereken diğer bir faktör yüzey sıcaklık derecesinin, gıda maddesinin yüzeyinde herhangi bir bozulmaya neden olabilecek düzeye yükselmemesidir.

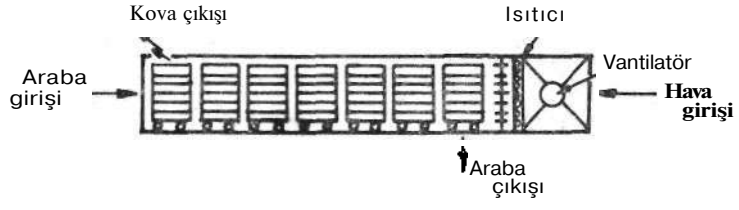
1.7.5 Kurutucular

Gıda endüstrisinde kullanılan kurutucular çok yaygın ve değişik şekillerde olabilmektedir. Görülen kurutma prensipleri herhangi bir tipteki kurutucuya uygulanabilir. Aşağıda değişik tipteki bazı kurutucuların çalışma esasları özetler halinde verilmiştir.

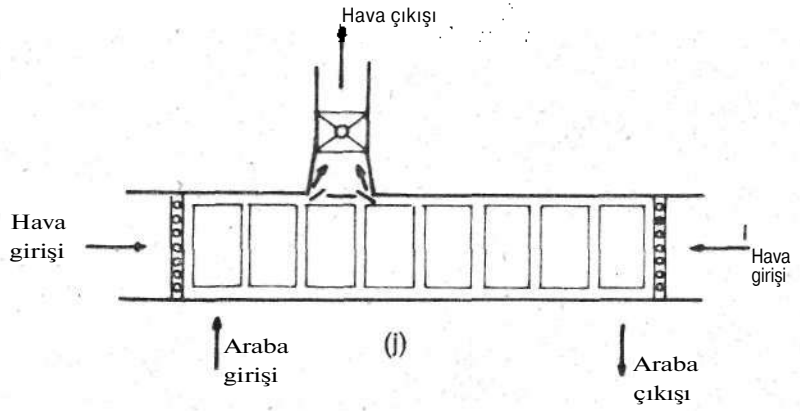




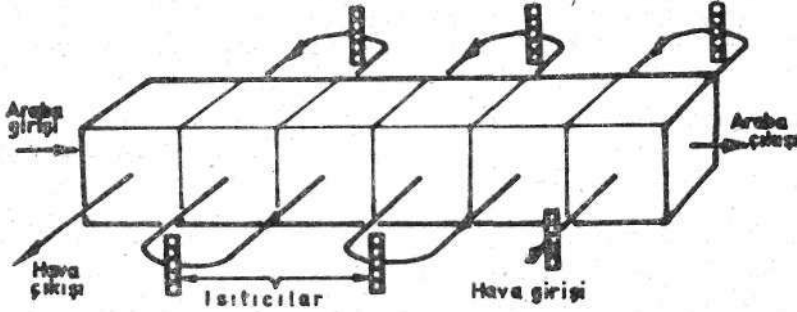
(h)



o)



(i)



Şekil 7 Kurutucular

- a) Tava tipi kurutucu
- b) Silindir kurutucu
- c) Akışkan yataklı kurutucu
- d) Pnömatik kurutucu
- e) Döner kurutucu
- f) Sprey kurutucu
- g) Dondurarak - kurutucu
- h) Paralel akımlı tünel kurutucu
- i) Ters akımlı tünel kurutucu
- j) Merkezi çıkışlı tünel kurutucu
- k) Çapraz akımlı tünel kurutucu

Tava tipi kurutucular: Bu tip kurutucularda gıda maddesi genellikle çok ince bir tabaka halinde olmak üzere aletin tavalarına yayılır. Isıtma; tavaları yalayıp geçen bir sıcak hava akımı ile yani iç sirkülasyon ile tavaların yerleştirileceği ısıtılmış plakalar veya raflardan konduksiyon ile veya ısıtılmış yüzeylerden radyasyon ile olur. Bu tip kurutucuların çoğunluğu aynı zamanda oluşan buharı da sürükleyip uzaklaştıran sıcak hava akımı ile ısıtılır. Bu kurutucular genellikle bir oda şeklindedir ve duvarları uygun bir izolasyon materyali ile kaplıdır.

Oda içerisinde tavaların yerleştirildiği raflar vardır veya gıda maddesi tavalarla raflı arabalara yerleştirilerek odaya alınır. Bu tip kurutucularda havanın ısıtılması kurutucunun içinde yapılır ve dışarıdan sıcak hava verilmez. Oda içerisinde yeterli hava dolaşımının sağlanması için bir vantilatörün sağladığı hava akımı hızı 100 m /dak. üzerinde olmalıdır. Bu tip kurutucular genelde günde 1-20 ton hammaddeyi kurutabilir. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılırlar.

Tünel kurutucular: Tünel kurutucular sürekli çalışan kurutuculardır. Kurutulacak hammaddenin miktarı fazla, genel özellikleri homojen ve su miktarı homojen ise tünel kurutucuların kullanılması uygun olur. Yavaş kurutulması gereken hammaddeler tünel kurutucularda kurutulur. Tünel kurutucular tava tipi kurutucuların geliştirilmiş şekli olarak düşünülebilir. Tünel kurutucularda tavalar tekerlekli arabalar üzerine yerleştirilir. Gıda maddesi tavalar içerisine serilir. Isıtma işlemi ve buharların uzaklaştırılması tüneller içerisinde yapılır. Isıtma aracı olarak çoğunlukla hava kullanılır ve kurutulmakta olan gıda maddesi kurutucu içerisinde hava akımı ile paralel veya ters akımda olmak üzere hareket eder. Hava akımı arabaların yoluna dikey olarak ta verilebilir. Bu değinilen şekilde tünelin değişik bölümleri için ayrı ısıtma birimleri kullanılabilir. Tünel boyutları örneğin 2 x 2 x 24 m olabilir. Tünel tipi kurutucular meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılırlar.

Silindir kurucular: Silindir kurutucularda kıvamlı yapıya sahip gıda maddesi iç kısımdan ısıtılan ve yavaş dönen metal bir silindirin bir kısım yüzeyi üzerine yayılır. Silindir belirli hızla döner ve dönüş süresinin çoğu kısmında gıda maddesi silindirin yüzeyinde kalır. Bu süre içerisinde kurutma tamamlanır ve kurumuş ürün kurutucunun özel kazıyıcısı ile kazınarak silindir üzerinden alınır. Bu tip kurutma kondüksiyon kurutması olarak gruplandırılabilir. Silindirlerin dönüş hızı ve sıcaklık derecesi ayarları hammaddenin tümüyle kuruyabilmesini sağlamak üzere yapılır. Konsantrasyonu çok yükselmiş çözeltilerden çözücünün uzaklaştırılması tek veya çift silindirli kurutucularla yapılabilir. Silindir kurutucuların silindirleri esas olmak pürüzsüz yüzeye sahip olup dökme demirden yapılmıştır. Kalın sac kullanılarak yapılan silindirler de vardır. Silindirlerin içine su buharının giriş ve çıkışını sağlayan borular aynı zamanda silindiri de taşır. Çift silindirli kurutucularda silindirler birbirlerine ters yönde dönerler. Kurutulacak kıvamlı eriyik iki silindir arasında oluşan V şeklindeki açıklığa verilir. Büyük kurutucularda eriyiğin silindir yüzeyine düzgün dağıtımı için hareketli besleme

boruları ve eriyiğın homojenliğinin sağlanması için de sallanan alkalayıcılar bulunur. Az miktardaki hammaddenin kurutulmasında bir silindir yeterli olmaktadır. Bu silindirli kurutucularda özel bir besleme düzeni yoktur ve besleme işini uygun Şekilde yerleştirilmiş ve silindirin kısmen içine daldığı tekneler gerçekleştirmektedir. Kurutulacak kıvamlı sıvı belirli bir hızda olmak üzere tekne içerisine verilir. Silindirin döndüğü ynn aksi yönde ve alt tarafa yakın bir yerde kazıyıcı parça bulunur. Silindir kurutucular süt tozu, hazır çorba, bazı ocuk mamaları ve patates tozu yapımında kullanılır.

Akışkan yataklı kurutucular: Akışkan yataklı kurutucuda kurutulacak gıda maddesi aşağıdan yukarı doğru çıkan sıcak hava akımı içerisinde, ağırlığı karşılanarak asık bir Şekilde duracak durumda tutulur. Gıda maddesini kurutucu boyunca taşımak için yatay bir hava akımı da bulunabilir. Havadan gıda maddesine ısı çoğunlukla konveksiyon yoluyla iletilir. Akışkan yataklı kurutucular bezelye, taze fasulye, havuç, soğan, patates, et, kahve, kakao, tuz ve Şekerin kurutulmasında kullanılır.

Pnömatik kurutucular: Pnömatik kurutucuda kurutulacak gıda maddesi hızla bir hava akımı içerisinde taşınır. Kurutmayı ısıtılmış hava sağlar. Kurutucu içerisinde genellikle bir sınıflandırma düzeni bulunur. Bu düzen yardımıyla; kurumuş olan gıda maddesi ayrılarak kurutucudan alınır, kurumamasını tamamlamamış olan gıda maddesi ise yeniden devreye sokularak kurutmaya devam edilir.

Döner kurutucular: Döner kurutucularda gıda maddesi bir silindir içerisine verilir. Gıda maddesi silindir içerisinde ilerlerken silindir boyunca verilen sıcak hava akımı ile veya ısıtılan silindir duvarlarından kondüksiyon yolu ile ısıtma işlemi yapılır. Bazı tip silindir kurutucularda silindirin kendisi döner bazılarında ise silindir sabittir ve içerisinde dönen paletler veya bir sonsuz vida yardımıyla gıda maddesi silindir boyunca taşınır.

Sprey kurutucular: Sprey kurutucularda sıvı halinde veya çok ince katı parçacıklar halindeki gıda maddesi zerrelere halinde ısıtılmış hava içerisine püskürtülür. Kuruma çok kısa bir sürede tamamlanır. Bundan dolayı spreysel kurutma ısı ile uzun süre temastan zarar görebilecek gıda maddeleri için çok uygundur. Spreysel kurutucular süt tozu, peynir altı suyu tozu, süt ve tereyağ ve peynirle yapılan bazı kuru ocuk mamalarının yapımında, öz çay, öz kahve, meyve ve sebze suları tozlan, et özü ve maya özü yapımında kullanılır.

Tekne tipi kurutucular : Tekne tipi kurutucularda kurutulacak gıda maddesi oluk şeklinde delikli bir taşıyıcı bant üzerine verilir ve sıcak hava bant üzerindeki bu gıda maddesi yığını üzerine nakledilir. Taşıyıcının sürekli hareketi kurumakta olan gıda maddesi tabakasını alt üst ederek alttaki kurumamış kısımları sıcak havanın etkisine arzeder.

Bin tipi kurutucular: Bin tipi kurutucularda gıda maddesi tabanı delikli oda şeklindeki bölmelere yerleştirilir. Aşağıdan yukarıya doğru ve dikey olarak sıcak hava verilir. Sıcak hava delikli taban üzerindeki gıda maddesi yığını içerisinden geçerek kurutmayı sağlar ve sonra kurutma bölmesinin üst kısmından dışarı verilir. Bin tipi kurutucular elma, şerbetçi otu ve maltın kurutulmasında kullanılır. Ayrıca son kurutucu olarak % 15 nem'den % 3 neme kadar kurutma içinde kullanılır.

Bantlı kurutucular: Bantlı kurutucularda gıda maddesi delikli veya düz bir bant üzerine yayılır. Bandın üzerinden veya arasından sıcak hava geçer. Bant çoğunlukla hareketlidir. Ancak bazı tiplerde sabit olabilir ve bunlarda bant üzerindeki gıda maddesi hareketli kazıyıcılar tarafından taşınır. Bantlı kurutucular meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılır.

Vakum bölmeli kurutucular: Vakum bölmeli kurutucular raflı kurutuculara benzer. Ancak bunlar vakum altında çalışır ve ısı iletimi kondüksiyon yoluyla veya radyasyon yoluyla olur. Vakum, bölmenin havasının boşaltılması ile sağlanır. Genelde 1 mm - 70 m m vakum yaratılır. Gıda maddesindeki suyun buharlaşmasıyla meydana gelen su buharı genellikle yoğunlaştırılır ve böylece sadece yoğunlaşmayan gazlar vakum pompasına gider. Vakum bölmeli kurutucular çok pahalıdır ve bu nedenle çok hassas gıda maddelerinin kurutulması için kullanılır. Meyve suyu konsantrelerinin kurutulmasında kullanılır.

Dondurarak kurutucular: Dondurarak kurutucularda kurutulacak gıda maddesi yüksek vakum altındaki bir bölmede bulunan raflara yerleştirilir. Gıda maddesi kurutucuya yerleştirilmeden önce çoğunlukla donmuş durumdadır. Gıda maddesine ısı iletimi kondüksiyon yoluyla veya radyasyon yoluyla olur. Dondurarak kurutucularda yalnızca 0.1 m m - 2.0 mm arasında basınç bulunur. Gıda maddesinden süblimasyonla oluşan buhar vakum pompası ile uzaklaştırılır ve yoğunlaştırılır. "Hızlandırılmış dondurarak kurutma" olarak bilinen işlemde ise gıda maddesine ısı kondüksiyon yolu ile verilir. Bu işlemde ısı iletimini ve oluşan su buharının uzaklaştırılmasını hızlandırmak için gıda maddesi ile ısıtılmış plakalar arasına ince metal levhalar yerleştirilir.

İyi bir ısı iletimi sağlayabilmek için gıda maddesi bu levhalarla ve ısıtılmış plakalarla mümkün olduğu kadar geniş bir yüzeyle temas edecek şekilde yerleştirilmelidir. Gıda maddesinden süblimasyonla meydana gelen buharların yoğunlaştırılması için soğutucu kullanılabilir. Dondurarak-kurutucular çok pahalıdır. Küçük taneli çilek, üzüksü meyveler gibi meyvelerin ve bazı sebzelerin kurutulmasında, öz kahve, öz çay yapımında ve karidesin kurutulmasında kullanılır.

2. BUHARLAŞTIRMA

Buharlaştırma veya evaporasyon bir sıvı hammaddeden belirli miktarda suyun buharlaştırarak ayrılmasıdır. Gıda endüstrisinde ham-madde veya kaynak gıda maddesi birçok durumda elde olunacak üründe bulunması istenilenden daha fazla su içerir. Gıda maddesi sıvı olduğunda fazla suyun uzaklaştırılması için genellikle en kolay yöntem ısı uygulanarak bu suyun buharlaştırılmasıdır. Bu nedenle buharlaştırma gıda endüstrisinde çok kullanılan bir işlemdir.

Buharlaşma hızını etkileyen temel faktörler şunlardır.

1. Sıvıya ısı iletim hızı
2. Her bir kg suyun buharlaşması için gerekli ısı miktarı
3. Sıvının yükseltilebileceği maksimum sıcaklık derecesi
4. Buharlaşmanın yer aldığı basınç
5. Buharlaşma işleminin devamı süresince gıda maddesinde meydana gelebilecek değişimler.

Buharlaştırıcının iki temel işlevi vardır. Bunlardan birincisi ısı değişimini sağlamaktır ve ikincisi sıvıdan oluşan buharı ayırmaktır. Buharlaştırıcılarda göz önüne alınması gereken önemli pratik hususlar şunlardır.

1. Uygulanabilir maksimum sıcaklık derecesi.Genellikle 100 C° nin altındadır.

2. Yeterli düzeyde yüksek ısı iletim katsayısına erişmek ve bazı kısımlarda fazla ısıtmadan kaçınmak için ısı iletim yüzeylerinde sıvı sirkülasyonunu yüksek tutmak.

3. Çözünmüş maddelerin konsantrasyonlarının fazla artması durumunda yükselecek olan sıvı viskozitesini" gözlemek.

3. Sıvının ve buharın birbirinden ayrılmasını güçleştiren köpüklenmeye eğilimin göz önüne alınması.

2.1. Buharlaştırıcı

Tipik bir buharlaştırıcı üç önemli bölümden ibarettir. Bu bölümler şunlardır:

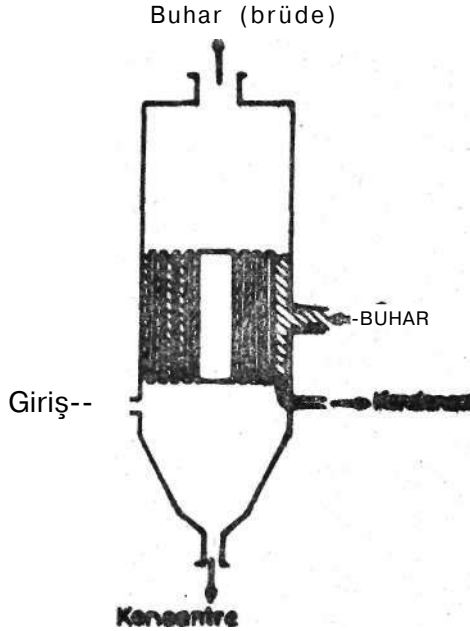
1. Isı değiştirici bölüm

2. Buharlaştırma bölümü. Bu bölüm sıvının kaynadığı ve buharlaştığı bölümdür.

3. Ayırıcı. Buharın sıvıdan ayrıldığı ve yoğunlaştırıcıya veya diğer bir alete geçtiği bölümdür.

Buharlaştırıcıların çoğunda bu üç bölüm dik bir silindirin içerisinde yer almıştır.

Silindirin merkezinde buharla ısıtılan bölüm vardır. Bu bölümün içerisinde buharlaşacak sıvının dolaştığı borular bulunur. Silindirin üst kısmında buharları geçiren fakat sıvı yüzeyinden buharlara karışan damlacıkların geçişine mani olan tutucular vardır. Şekil 8 da yaygın bir buharlaştırıcı tipi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 8 Buharlaştırıcı

Şekilde görüldüğü üzere ısı değiştirici bölümde buhar gömlek içerisinde yoğunlaşır ve ısısını açık borularda dolaşan sıvıya verir. Buharlaştırılan sıvı açık boruların içinde ve bunların üst kısmında mevcut boşlukta kaynar. En ortada bulunan geniş çaplı açık borudan tekrar alt kısma geçen sıvı tekrar diğer açık borularda yükselir ve böylece sıvının sürekli bir dolaşımı sağlanmış olur. Isı iletimine karşı olan direnç sıvı ve buharın besleme hızlarının ayarlanması ile ve boruların yapımında kullanılan materyalin iyi bir iletken olması suretiyle seçimi ile karşılanır. Sıvının sirkülasyon durumu buharlaşmayı büyük ölçüde etkiler. Ancak sirkülasyon hızlarının önceden detaylı olarak hesaplanması oldukça zordur. Buharlaştırıcılar için belirtilen ısı iletim katsayıları dikey borulu ve buharla ısıtılan bir buharlaştırıcıda saf suyun buharlaşmasında 1800 ile 5000 J/m² .san. C° arasındadır.

Buharlaştırma ilerledikçe, kalan sıvının viskozitesi artar ve bundan dolayı da kaynama sıcaklık derecesi yükselir, sirkülasyon hızı azalır ve aynı zamanda ısı iletim katsayısı da düşer. Bu durum sonuçta kaynamanın yavaşlamasına yol açar.

2.2. Vakumda Buharlaştırma

Yüksek sıcaklık derecelerinde kaynayan sıvıların buharlaştırılmasında kaynama sıcaklık derecesinin düşük basınç kullanılarak düşürülmesi gerekebilir. Su için, buhar basıncı ve kaynama sıcaklık derecesi arasındaki bağıntı daha önce görülmüştü. Bilindiği üzere bir sıvı, kendisinin buhar basıncı çevre basıncına erişince kaynamaktadır. Bir sıvıyı düşük sıcaklık derecesinde kaynatmak için düşük basınç gereklidir. Bu durum mekanik olarak jet buhar püskürtücülerini, vakum pompaları ve buharlaştırıcıdan gelen buharların yoğunlaştırıldığı kondansörlerin genellikle birlikte kullanılması ile sağlanır.

Mekanik vakum pompalarının işletme masrafları jet buhar püskürtücülere göre azdır. Ancak bunların fiatları yüksektir. Yoğunlaşan buhardan oluşan sıvı su sistemden pompalanarak atılabileceği gibi, atmosfer basıncını dengeleyen barometrik bir kolon yardımı ile de boşaltılabilir. Bu aşamada yoğunlaşmayan kısımlar vakum pompaları ile emilir.

2.3. Buharlaştırıcılarda Isı İletimi

Buharlaştırıcılarda ısı iletimi, kaynayan sıvılara ısı iletimi eşitlikleri ve konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla ısı iletimi eşitliklerine göre

cereyan eder. Bu eşitlikler daha önce görülmüştü. Gerekli ısı uygun sıcaklık derecesindeki bir kaynaktan sağlanmalıdır ve bu kaynak genellikle buhardır. Buhar ya direk olarak bir buhar kazanından veya ilk kademe buharlaştırmanın yapıldığı diğer bir buharlaştırıcıdan gelir. Direk ateşte ısıtma veya elektrik resistanslı ısıtıcıların kullanılması gibi diğer ısıtma şekilleri bölgesel fazla ısınmalardan kaçınmak gerekliliğinden ötürü kullanılmaz. Elektrikle ısıtma ise pahalıya mal olacağından pek kullanılmaz. Bazı durumlarda buhar gömleğinde yoğunlaşan buharın sıcaklık derecesi elde olunacak ürün yönünden çok yüksek olabilir. Böyle bir durumda buhar yerine sıcak su kullanılabilir. Bu gibi durumlarda düşük basınçlı buhar kullanılması da bir çözümdür ancak büyük hacimlere gerek duyulması sorun yaratabilir. Buharlaştırıcılarda ısı iletiminde hammadde olan sıvının buharlaştırıcı içerisindeki sirkülasyonu önemlidir. Çünkü ısı iletim hızını bu faktör büyük ölçüde etkiler ve daha iyi bir sirkülasyon daha yüksek buharlaşma hızı sağlar.

Problem: % 10 kurumadde içeren bir eriyiği, % 30 kurumadde içerecek şekilde bir etkili buharlaştırıcı ile ve saatte 250 kg lık besleme hızıyla konsantre etmek gerekiyor. Buharlaştırıcı içindeki basınç 77 kPa (mutlak) ise ve buhar 200 kPa basınçta (man.) elde olunuyorsa saatte gerekli olan buhar miktarını kg olarak ve genel ısı iletim katsayısı 1700 J/m².san. C° ise ısı iletim yüzeyinin alanını hesaplayınız.

Buharlaştırıcıya giren eriyik sıcaklık derecesi 18 C° dir. Eriyiğin 77 kPa basınçta kaynama sıcaklık derecesi 91 C° dir.

Eriyiğin özgül ısısının su ile aynı yani 4186 kJ /kg olduğunu ve buharlaşma için gerekli ısı enerjisi miktarının (gizli ısı) aynı şartlar altındaki su ile eşit olduğunu varsayınız.

Buhar çizelgelerinden; 200 kPa basınçtaki buharın yoğunlaşma sıcaklık derecesi 134 C° dir ve gizli ısısı 2164 kJ /kg dir ve 77 kPa basınçtaki buharın yoğunlaşma sıcaklık derecesi 91 C° dir ve gizli ısısı 2281 kJ/kg dır.

2.4. Yoğunlaştırıcılar

Düşük basınç altında çalışan buharlaştırıcılarda genellikle vakum pompasından önce bir yoğunlaştırıcı vardır ve bu yoğunlaştırıcı buharın çoğu kısmını yoğunlaştırarak sıvı su şeklinde ayırır. Bu yoğunlaştırıcılar soğuk yüzeyli yoğunlaştırıcı veya bir memeden hızla su püskürten jet yoğunlaştırıcı olabilir. Plakalı yoğunlaştırıcılar buharın buharlaşma ısısını suya aktararak buharın yoğunlaşması için gerekli yüzeyi sağlar.

Jet yoğunlaştırıcılarda ise buhar içerdiği buharlaşma ısısını aktaracak miktardaki soğuk su akımı ile karşılaştırılır.

Problem: Saatte 5000 kg buhar meydana getiren bir buharlaştırıcıdan gelen buharları yoğunlaştırmak için bir jet yoğunlaştırıcıda 600 mm civa vakum altında ne kadar suya gerek vardır, bulunuz.

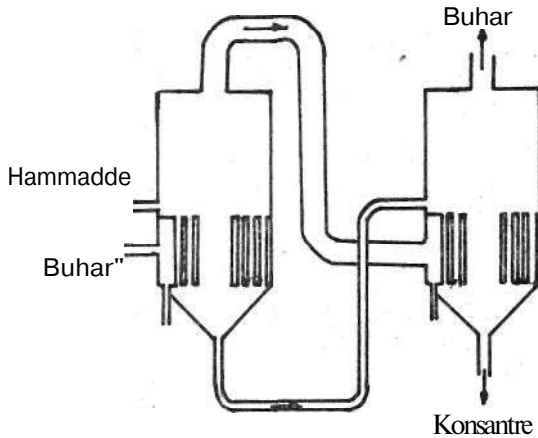
Kullanılan yoğunlaştırma suyunun sıcaklık derecesi $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir ve yoğunlaştırıcıdan ayrılan suyun sıcaklık derecesinin en fazla $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması kabul edilebilmektedir.

Buharlaştırıcı içindeki basınç olan 15 em civa (20 kPa) basınca karşın olan değerde buharın yoğunlaşma sıcaklık derecesi $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir ve karşıt buharlaşma gizli ısısı 2358 kJ /kg dır.

Suyun özgül ısısı 4186 kJ/kg dır.

2.5. Çok Etkili Buharlaştırma

Buharlaştırıcı genellikle buhar meydana getirmek üzere içerisinde bir sıvının kaynatıldığı bir ısı değiştiricisi olarak ta düşünülebilir. Yani aynı zamanda düşük basınçlı bir buhar jeneratörüdür. Bundan dolayı bir buharlaştırıcıyı düşük basınçlı kaynatıcı olarak kullanıp bunda oluşan buharı diğer bir buharlaştırıcıda ısıtma için tekrar kullanmak mümkün olabilir. Bir buharlaştırıcının buhar çıkış hattının diğer bir buharlaştırıcının buhar gömleğine bağlı olduğu yanyana iki buharlaştırıcıdan oluşan bir sistemi düşünelim. Bu sistem iki etkili bir buharlaştırıcı oluşturur.



Şekil 9 İki Etkili Buharlaştırıcı

Eğer her iki etki kademesinde de aynı sıvı buharlaştırılıyorsa ve bu sıvının kaynama sıcaklık derecesi eriyiğin konsantrasyonu ile etkilene miyorsa, birinci buharlaştırıcı için ısı dengesi aşağıdaki eşitlikte verildiği gibidir.

$$q_1 = U_1 A_1 (t_s - t_1) - U_1 A_1 A t_1$$

burada

$$q_1 = \text{ısı iletim hızı}$$

$$U_1 = \text{birinci buharlaştırıcıdaki iletim katsayısı}$$

$$A_1 = \text{birinci buharlaştırıcıdaki ısı iletim alanı}$$

$$t_s = \text{kazandan gelen buharın sıcaklık derecesi}$$

$$t_1 = \text{sıvının kaynama sıcaklık derecesi}$$

$$A t_1 = t_s - t_1$$

Buna benzer olarak ikinci buharlaştırıcının ısıtma gömleğindeki buharın birinci buharlaştırıcıdaki sıvıdan oluşan buhar olduğunu ve basınç değişiklikleri küçük olduğundan bu buharın hemen hemen kaynadığı sıcaklık derecesinde yoğunlaşacağı göz önünde tutulursa

$$q_2 = U_2 A_2 (t_1 - t_2) = U_2 A_2 A t_2 \text{ olur.}$$

Eğer buharlaştırıcılar denge halinde çalışıyorlarsa, birinci buharlaştırıcıda oluşan buharların tümü ikinci buharlaştırıcıda yoğunlaşıyorsa, ısı kayıpları en aza indirilebiliyorsa, konsantrasyonu artan eriyiğin kaynama sıcaklık derecesinde göze çarpar değişiklikler olmuyorsa ve buharlaştırılacak eriyik kaynama noktasında veriliyorsa

$$q_1 = q_2 \text{ dir.}$$

$$\text{İki buharlaştırıcı } A_1 = A_2 \text{ olacak şekilde yapılmışsa,}$$

$$U_2 / U_1 = A t_1 / A t_2 \text{ olur.}$$

Bu eşitlik iki etkili buharlaştırıcıda sıcaklık derecesi farklarının, genel ısı iletim katsayılarına ters orantılı olduğunu göstermektedir. Bu işlem herhangi bir adetteki çok etkili buharlaştırmalara aynı şekilde uygulanabilir.

2.6. Çok Etkili Buharlaştırıcıların Beslenmesi

İki etkili buharlaştırıcıda birinci buharlaştırıcının buhar gömleğindeki sıcaklık derecesi ikinci buharlaştırıcının buhar gömleğindeki sıcaklık derecesinden yüksektir. Eğer sıvının ikinci kademe de birinci kademedeki daha düşük sıcaklık derecesinde kaynaması gerekiyorsa

buna göre daha düşük basınç altında bulunması lazımdır. Yani ikinci kademedeki basınç birinci kademede mevcut basıncın altında bulunmalıdır. Bazı durumlarda birinci buharlaştırıcıdaki basınç atmosfer basıncının üzerinde olabilir. Fakat birinci kademe buharlaştırma genellikle atmosfer basıncında olmak üzere yaptırılır ve bundan dolayı ikinci kademe buharlaştırma vakum altında olmalıdır. Bu şartlar altında buharlaştırılarak koyulaştırılacak sıvı hammaddenin sisteme verilmesi eğer sıvı birinci kademedeki ikinci kademeye ve sonra üçüncü kademeye geçecekse çok kolaydır. Çünkü bu durumda sıvı pompalanmaksızın kendiliğinden kolayca akacaktır. Buna "ileri besleme" adı verilir. İleri beslemede en yoğun eriyik en son kademede oluşacaktır. Diğer bir besleme şeklinde sisteme giren sıvı aksi yönden gelebilir ve en son kademedeki başlayıp birinci kademeye doğru ilerler. Ancak bu durumda sıvının yükselmekte olan basınca karşın bir kademedeki diğerine pompalanması gerekir. Bu şekildeki beslemeye "geri besleme" denir ve konsantre olmuş kıvamlı sıvı birinci buharlaştırıcıdan elde olunur. Geri besleme ileri beslemeye kıyasla daha yüksek buharlaştırma kapasitesi sağlar.

2.7. Çok Kademeli Buharlaştırıcıların Avantajları

Çok etkili buharlaştırıcıların ilk bakışta her türlü avantaja sahip oldukları, ısının tekrar tekrar kullanıldığı ve hiç katkıda bulunulmadan ikinci ve sonraki kademelerdeki buharlaştırmaların yapıldığı düşünülebilir. Daha yakından bir bakış ise ısı tasarrufunun ödenmesi gereken bir bedeli olduğunu gösterir.

Birinci kademede $q_1 = U_1 A_1 \Delta t_1$

İkinci kademede $q_2 = U_2 A_2 \Delta t_2$ ise

bunların yerine aynı basınç altında çalışan bir etkili bir buharlaştırıcı düşündüğümüzde

$q_b = U_b A_b \Delta t_b$ olur.

"b" harfi bir etkili buharlaştırıcıyı göstermektedir. Bütün koşullar aynı olduğundan birinci kademedeki ısıtıcı buharın yoğunlaşma sıcaklık derecesi ile ikinci kademedeki buharlaşma sıcaklık derecesi arasındaki toplam sıcaklık düşüşü $\Delta t_b = \Delta t_1 + \Delta t_2$ olur.

Çok etkili buharlaştırıcılarda bulunan iyi yapılı her buhar gömleği yoğunlaştırmayı sıvının bir önceki kademede buharlaştığı aynı sıcaklık derecesinde yapar.

Şimdi, $U_1 = U_2 = U_b$ ve $A_1 = A_2$ olduğu durumu ele alalım. Buna göre sorun iki etkili bir buharlaştırıcı ile aynı miktar sıvıyı buharlaştıran bir etkili bir buharlaştırıcı için A değerinin ne olduğunu bulmaktır.

Yukarıda verilen koşullardan ve $U_2 / U_1 = A t_1 / A t_2$ eşitliğinden,

$$A t_1 = A t_2$$

$$\text{ve } A t_b = A t_1 + A t_2 = 2 A t_1$$

$$\text{yani } A t_1 = 0.5 A t_b$$

$$\text{Şimdi } q_1 + q_2 = U_1 A_1 A t_1 + U_2 A_2 A t_2$$

$$q_1 + q_2 = U (A_1 + A_2) A t_1 / 2$$

$$q_1 + q_2 = q \text{ olduğundan}$$

$$\text{ve } q_b = U A b A t_b \text{ olduğundan}$$

$$\text{buna göre } (A_1 + A_2) / 2 = 2 A_1 / 2 = A_b \text{ dir ve buda}$$

$$A_1 = A_2 = A_3 \text{ demektir.}$$

Bu; aynı toplam miktarın buharlaştırılması için gerek bir etkili gerekse iki etkili buharlaştırıcılarda aynı koşullar altında çalışıldığında, bir kademeli buharlaştırıcıdaki ısı iletim yüzeyinin çok kademeli buharlaştırıcıdaki her bir buharlaştırıcının ısı iletim yüzeyi ile eşit alanda olması gerektiğini gösterir. Çok kademeli yani birden fazla etkili buharlaştırıcılarda buhar tasarrufu, buharlaştırıcılar için ödenecek fazla yatırım ile karşlanır. Isı iletim yüzeyi alanları çok etkili kademelerde genellikle birbirine eşit olduğundan, kaç adet fazla kademe isteniyorsa bir etkili buharlaştırıcının fiyatının o kadar katı fazla yatırım yapılması gerekecektir. Çok kademeli buharlaştırıcılarda yoğunlaştırıcı gereksinimi azdır. Çünkü bu görev değişik kademelerdeki buhar gömlekleri içerisinde yapılır. Bundan dolayı yoğunlaştırma ve soğutma suyu harcamaları azdır. Kullanılacak buharlaştırma sistemi, işletme harcamaları ile yatırım miktarı arasındaki dengeye göre saptanmalıdır.

Problem: Saatte 500 kg eriyiğin konsntrasyonunu % 10 dan % 30 a yükseltecek şekilde buharlaştıran üç etkili bir buharlaştırıcının buhar gereksinimlerini, ısı iletim yüzeyini ve her etki kademesindeki buharlaştırma sıcaklık derecelerini bulunuz? Birinci kademeye giren buharın basıncı 200 kPa (man.), son kademede buharlaştırma boşluğundaki basınç 60 kPa (mut.) dır. Birinci, ikinci ve üçüncü kademelerdeki genel ısı iletim katsayıları 2270 J/m². san. C°, 2000 J/m². san. C° ve 1420 J/m². san. C° dir. Kaynama noktası değişikliği olmadığını ve her etki kademesinde ısı iletiminin aynı olduğunu kabul ediniz.

200 kPa (man.) basınçta buharın yoğunlaşma sıcaklık derecesi 134 °C dir ve gizli ısı 2164 kJ/kg dır. Üçüncü etkide 60 kPa (mut.) basınçta buharlaşma sıcaklık derecesi 86 °C dir ve gizli ısı 2294 kJ /kg dır.

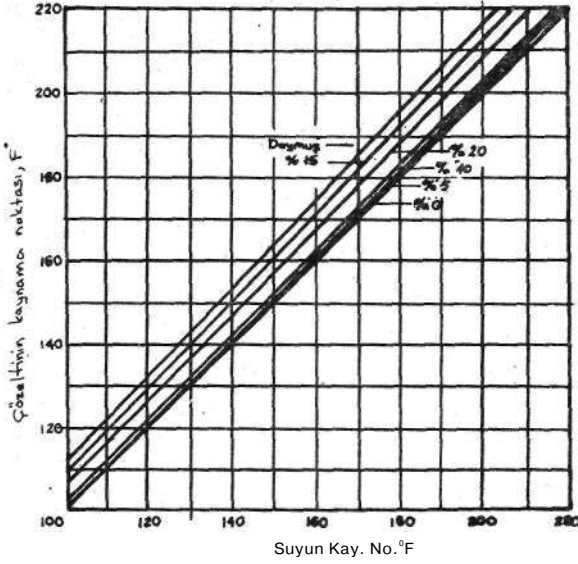
2.8. Kaynama Noktasının Yükselmesi

Buharlaşma ilerledikçe, buharlaştırıcıda kalan eriyiğin konsent-rasyonu artacağından kaynama sıcaklık derecesi yükselir. Kaynama sıcaklık derecesinin yükselme düzeyi buharlaştırılan hammaddenin yapısına ve yoğunluğunun artma miktarına bağlıdır. Çok etkili buhar-laştırıcılarda kaynama sıcaklık derecesi bir kademedden diğerine geçince yoğunluk artışına paralel olarak artar. Kaynama sıcaklık derecesi artışı buharlaştırıcı hesaplamaların zorlaştırır ancak bununla birlikte yine de ısı dengeleri önceden görülen eşitliklere göre kurulabilir.

Yoğunluk arttıkça eriyiğin viskozitesi de artar ve bu durum ısı iletimini etkiler. Viskozitenin artması buharlaştırma işleminin düzeyini genellikle sınırlar. Buharlaştırıcılarda yoğunluğu artan eriyiklerin kay-nama noktalarının yükselme düzeylerini önceden belirten direk yön-temler yoktur. Çeşitli eriyikler belli konsantrasyonlarda belli kaynama sıcaklık dereceleri gösterirler. Bunlar Duhring kuralı diye bilinen bağın-tının kullanılması ile diğer eriyiklere yaygınlaştırılabilir. Duhring ku-ralına göre "iki eriyiğin aynı buhar basıncım gösterdiği sıcaklık dere-celerinin birbirine oranı sabittir". Bu kuraldan hareket edilerek çizilmiş grafikler vardır. Bu grafikler yardımıyla eriyiklerin herhangi bir basınç altında ve değişik konsantrasyonlardaki kaynama noktaları bulunabilir. Aşağıda sodyum klorür çözeltilerinin kaynama noktalarını veren Duh-ring grafiği görülmektedir.

2.9. Buharın Tekrar Sıkıştırılması

Çok etkili buharlaştırıcılarda buharın bir kademedan alınıp diğerinin buhar gömleğine verilerek yeniden kullanılması imkanına ek olarak, buharın salındığı buharlaştırıcıdan alınıp sıkıştırılarak tekrar aynı bu-harlaştırıcının buhar gömleğine verilmesi gibi daha ileri derecede buhar tasarrufu sağlamak imkanı da vardır. Buharın sıkıştırılması bir miktar taze buhar kullanılarak ve uygun bir yüksek basınç altında jet pompası ile veya mekanik kompresör kullanılarak yapılır. Jet pompalarının kul-lanımı daha yaygındır. Böylece buharların bir kısmı taze buharla bir-likte tekrar kullanılır ve oldukça fazla bir toplam buhar tasarrufu elde



Şekil 10 Sodyum Klorür Çözeltilerinin Kaynama Noktalarını Gösteren Dühring Grafiği.

edilmiş olur. Burada yapılması gereken harcama kullanılan taze buhardaki basınç düşmesini yeniden sağlamak için yapılan harcamadır veya mekanik kompresörde kullanılan mekanik enerji içindir. Buharın yeniden sıkıştırılması birçok bakımdan çok etkili buharlaştırıcıların kullanılmasına benzemektedir. Bu işlem sırasında, taze buharın miktarının artırılması ile olabilecek olan sıcaklık düşüşü en aza indirilir.

Bir buharlaştırıcının buhar tasarrufu üzerine alete giren eriyiğin sıcaklık derecesi de etkilidir. Eğer eriyik kaynama sıcaklık derecesinde değilse eriyiği bu sıcaklık derecesine yükseltmek için de ısı kullanılır. Eriyiğin ön-ısıtılması için bir etkili buharlaştırıcıdan çıkan buharlar uygun bir kaynak olabilir veya bu amaçla ayrı bir ön-ısıtıcı kullanılabilir.

2.10. Isıya Duyarlı Hammaddelerin Buharlaştırılması

Büyük hacimli buharlaştırıcılarda, buharlaştırıcıya yeni giren eriyik daha önce alınmış olan eriyik kısmıyla karışır. Büyük hacimli buharlaştırıcılarda eriyik içerisindeki gıda parçacıklarının buharlaştırıcıda kalış süresi oldukça uzun olabilir. Buharlaştırıcıdaki kalış süresi pratik olarak buharlaştırıcı hacminin besleme hızına bölünmesi ile bulunur.

Ancak karışma nedeniyle eriyiğin önemli bir kısmı buharlaştırıcıda bu süreden daha uzun bir süre kalır. Böylece, ısıya duyarlı hammadde-lerle çalışıldığında bu kısım bozulabilir ve elde olunacak ürünün kalitesinin düşmesine yol açabilir. Bu sakınca modern ve yüksek akış hızına sahip buharlaştırıcıların kullanılması ile giderilebilir. Yüksek akışlı buharlaştırıcılarda eriyiğin yer aldığı hacim küçük olup eski ve yeni hammaddenin karışma olayı ya çok az olabilir veya hiç karışma olmaz. Bu tip buharlaştırıcılara örnekler uzun tüplü buharlaştırıcılar, plakalı buharlaştırıcılar ve çeşitli kazman plakalı ince film buharlaştırıcılarıdır.

Problem: Yükselen film tipi bir buharlaştırıcıda domates şirasının kurumadde konsantrasyonu % 12'den % 28'e yükseltmek isteniyor. Buharlaştırıcının yüksekliği 3 m ve çapı 4 cm dir. Domates şirası için uygulanabilir maksimum sıcaklık derecesi 57 °C dir ve bu sıcaklık derecesinde buharlaşma gizli ısı 2366 kJ/kg dır. Buharlaştırıcının buhar gömleğinde 170 kPa (man.) basınçta buhar kullanılmaktadır. Eğer genel ısı iletim katsayısı 6000 j /m. san. C° ise buharlaştırıcıya saatte verilmesi gereken domates şirası miktarını bulunuz?

170 k Pa (man.) basınçta yoğunlaşan buharın sıcaklık derecesi 115 °C dir.

2.11. Buharlaştırıcı Tipleri

Buharlaştırıcıların pek çoğunda vakum, çok sayıda etki, buharın yeniden sıkıştırılması ve buharın sıvı damlacıklarından ayrılması işlemleri birlikte uygulanabilir. Ayrıca değişik besleme yöntemlerinin uygulanması da mümkündür. Bu nedenlerden ötürü buharlaştırıcıların yapıları çok karmaşık görünebilir. Fakat buharlaştırıcılar yine de ısı dengeleri ve kütle dengeleri yardımıyla incelenebilirler. Aşağıda bir etkili, iki etkili ve üç etkili buharlaştırıcıların buhar tüketimleri ve işletme masrafları karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

Etki Sayısı	Buhar Tüketimi kg buhar/buharlaşan 1 kg su	Toplam işletme masrafı (Bir etkili buharlaştırıcıya kıyasla)
Bir	1.10	1.00
İki	0.5T	0.52
Üç	0.40	0.37

Endüstride kullanılan çok çeşitli buharlaştırıcılar vardır. Aşağıda çok kullanılan bazı buharlaştırıcı tipleri için özet bilgiler verilmiştir.

Açık kazan tipi buharlaştırıcılar: En basit buharlaştırıcıdır. İçerisinde sıvının kaynatıldığı bir açık kazandır. Bu tip buharlaştırıcılarda ısı buhar ceketini veya çift-cidar ile veya buhar boruları yardımıyla uygulanır. Kazan içerisinde karıştırmayı sağlamak üzere kazıyıcılar veya paletler bulunabilir. Yatırım harcamaları azdır fakat buhar tasarrufu az olduğundan işletme harcamaları yüksektir.

Yatay Tüplü Buharlaştırıcılar: Yatay tüplü buharlaştırıcıda açık kazanın üstü dikey bir silindir oluşturacak şekilde kapatılmıştır. Isıtıcı tüpler bu silindirin alt kısmında ve sıvı içerisine dalmış halde ve yatay bir tüpler paketi şeklindedir. Bu tip buharlaştırıcılarda sıvı sirkülasyonu oldukça yavaştır. Açık kazan tipi buharlaştırıcının geliştirilmiş şeklidir.

Dikey Tüplü Buharlaştırıcılar: Dikey tüplü buharlaştırıcılarda dikey tüpler kullanılarak ısınan sıvının doğal olarak sirkülasyonundan yararlanılır ve yatay tüplere nazaran daha iyi bir ısı iletimi sağlanır. Daha önce şekli görülen bir etkili buharlaştırıcı bu tipe bir örnektir. Sıvının tekrar sirkülasyonu geniş ve açık bir orta tüpten sağlanır. Sıvı 5-8 cm çapındaki dikey tüpler içerisinde yükselir, tüp demetinin üst uçlarının hemen üzerinde kaynar ve orta tüpten aşağı inerek yeniden sirkülasyona girer. Sıvı hidrostatik bir düzen yardımıyla geri döndürülecek tüplerin üzerinde fazla kaynama meydana gelmesi önlenir. Tüplerin uzunluğunun çapa oranı 15: 1 dir. Aşağıda dikey tüplü sepet tipi bir buharlaştırıcının şekli görülmektedir.

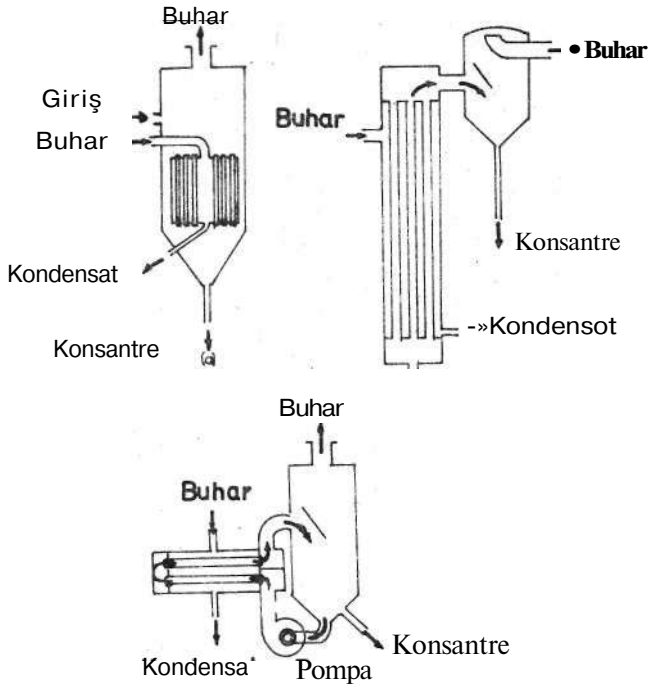
Plakalı Buharlaştırıcılar: Plakalı ısı değiştiricileri evaporatör olarak kullanılmak üzere adapte edilebilir. Bunun için plakalar arasındaki mesafe miktarı fazlalattırılıp böylece daha fazla oranda boşluk elde olunmalıdır. Bu boşluğa sıvıya göre hacmi çok daha fazla olan buharlar dolabilmelidir. Plakalı buharlaştırıcılarda ısı iletimi oldukça iyidir ve temizlenmeleri de kolaydır.

Uzun Tüplü Buharlaştırıcılar: Buharlaştırıcılarda uzun ve ince dikey tüpler de kullanılabilir. Tüplerde uzunluğun çapa oranı örneğin 100: 1 olabilir. Tüpler dikine olarak buhar gömleğinin içerisinden geçer.

Buharlaştırılacak eriyik tüplerden yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere geçerse buharlaştırıcıya "düşen film tipi buharlaştırıcı" denir. Eriyik buharlaşan sıvı tarafından aşağıdan yukarıya taşınıyorsa buharlaştırıcıya "yükselen film tipi buharlaştırıcı" denir. Buharlaşma tüplerinin duvarlarında oluşur çünkü dolaşım hızı yüksektir ve yüzeylerdeki film tabakası incedir. Bu tip buharlaştırıcılarda ısı iletim hızı yüksek ve ısıtma süresi kısa olduğundan ısıya duyarlı hammaddelerin koyulaştırılmasında iyi sonuç verirler. Sıvı genellikle tekrar dolaşıma bırakılmaz. Eğer bir geçişte yeterli buharlaştırma sağlanamazsa sıvı yeniden bir geçişe tabi tutulur. Yükselen film tipi buharlaştırıcılarda sıvı kaynadığında tüpün iç tarafında küçük buhar kürecikleri oluşur ve buhar

kaynamakta olan koyulaşmış sıvıyı yukarı sürükler. Tüp çapları 2-5 cm olup sıvının kalış süresi 5-10 saniye kadar kısadır. Genel ısı iletim katsayısı, kaynayan bir sıvıya daldırılmış ısıtılmış bir yüzeyden olan ısı iletiminin 5 katı kadar daha fazladır. Düşen film tipinde tüp çapları daha fazla olup 8 em kadardır ve bunlar özellikle viskoz eriyikler için uygundur.

Yüksek Sirkülasyonlu Buharlaştırıcılar: Yoğunlaşmakta olan buhardan ısı iletim katsayısı genellikle yüksektir ve ısı iletimine karşı en büyük direnç çoğunlukla sıvı film tabakasından gelir. Çünkü tüpler genellikle yüksek ısı iletimine sahip olan metallerden yapılır. Sıvı filminin ısı iletim katsayısı, sıvı sirkülasyonunun ve ısıtıcı yüzeylere karşı akma hızının artırılması ile yükseltilebilir. Bunun için sıvı devresi içerisine pompalar veya itici pervaneler yerleştirilebilir. Bu şekilde yüksek sirkülasyon özellikle viskoz sıvılarla çalışıldığında uygulanır. Korozyon nedeniyle ve hijyenik nedenlerle pahalı ısı değiştirici yüzeyler kullanmak gerektiğinde de bu yöntem yararlı olur.



Şekil 11 Çeşitli Buharlaştırıcılar.

- Dikey tüplü sepetli buharlaştırıcı
- Uzun tüplü buharlaştırıcı
- Yüksek sirkülasyonlu buharlaştırıcı

Problem: Su oranı % 91 olan süt, son su oranı % 55 olana dek koyulaştırılacaktır. Başlangıç su miktarına göre, buharlaştırılacak su oranı ne kadardır?

3. AYIRMA İŞLEMLERİ

Biyolojik hammaddeler genellikle birden fazla sayıda maddenin karışımından oluşmuştur. Bunlardan gıda maddelerinin hazırlanması için karışımdaki bazı maddelerin ayrılması ve bu ayırmanın yapılabilmesi için sisteme bazan dışarıdan bir fazın ilave edilmesi gerekebilir. Bu durumda orijinal hammaddede bulunan maddeler fazlar arasında ken diliğinden ayrılmaya bırakılır. Örneğin topraktan çıkartılan taze sebzeler istenmeyen toprak parçalarının uzaklaştırılması için yıkama işleminde bu amaçla ilave edilmiş su fazı içerirler. Alkol ve su karışımı alkolce zengin diğer bir faz yani buhar oluşturmak için ısıtılır. Şartlar değiştirilerek bir faz belli bir madde yönünden zenginleştirilirken diğer bir madde yönünden fakirleştirilir. Maddeler, iki faz arasında denge durumuna erişildiğinde her fazdaki nisbi konsantrasyonu tayin eden ayrılma katsayılarına göre dağılır. Sonra bu iki faz basit fiziksel yöntemlerle birbirinden ayrılır. Soya fasulyesinden yağ ekstraksiyonu da böyle bir örnek oluşturur. Soya fasulyeleri önce öğütülür ve sonra yağı çözen fakat öğütülmüş fasulyeleri eritemeyen bir çözücü ile karıştırılır. Başlangıçta yağ, çözücü ve fasulye parçacıkları arasında dağılmış olacaktır fakat yeterli bir öğütme ve karıştırmadan sonra yağın tümü çözücüde çözünecektir. Ayırma sırasında bir miktar yağ ve çözücü, fasulye kütlesi tarafından alıkonacaktır. Fasulye kitlesi ile birlikte kalan yağ ve çözücü bir akımı, diğerleri öteki akımı oluşturacaktır. Bu işlem, öğütülmüş fasulyelerle çözücünün yani iki fazın birbiriyle karşılaşmasını, temas aşamasını oluşturur. Fasulyelerden daha fazla miktarda yağın ekstraksiyonu, ekstrakte edilmiş fasulyelerin yeniden saf çözücü ile karıştırılması suretiyle sağlanır. Bu işlem için endüstride genellikle ters akım yöntemi uygulanır. Bir uçtan saf çözücü diğer uçtan öğütülmüş fasulyeler girer ve en konsantre yağ ekstraktı fasulyelerin giriş yaptığı bölümden alınır. Kullanılan çözücü daha sonraki bir aşamada yağın çözücünden ayrılması işlemi için uygun özellikte olmalıdır. Çözücü örneğin damıtma ile kolaylıkla ayrılmalıdır. Ayırma işlemlerine bazı örnekler aşağıda özetlenmiştir.

Gaz absorpsiyonu ve desorpsiyonu: Bu işlemde gaz ve sıvı akımları arasında temas sağlanır. Gaz veya gazın bileşenleri ya sıvı içerisinde çözünür veya sıvı içerisinde uçucu maddeleri ekstrakte eder. Birinci şekilde örnek yağların hidrojene edilmesidir. Bu işlemde hidrojen gazı sıvı yağ içerisine zerrecikler halinde dağıtılır ve yağ ile reaksiyona girer. Reaksiyonun hızlandırılması için genellikle katalizör de kullanılır. Hidrojen gazı yağın doymamış çift bağları ile reaksiyona girerek yağ tarafından absorbe edilir ve sıvı yağı katı hale getirir. Gaz absorpsiyonuna diğer bir örnek bazı içeceklerin karbonize edilmesidir. Bu işlemde karbondioksit basınç altında içeceğin içerisinde çözündürülür. Sonradan içecek üzerindeki basınç kalktığı zaman karbondioksit dışarı çıkar.

Desorpsiyona örnek katı ve sıvı yağların buharla yıkanmasıdır. Bu işlemde sıvı yağ veya eritilmiş yağ buharla temasa getirilir ve yağda bulunan istenmeyen maddeler buhar tarafından alınarak yağdan uzaklaştırılır. Bu yöntem tabii yağların, margarin gibi gıda maddelerine işlenmesinden önce arzu edilmeyen kokularının giderilmesinde kullanılır. Benzer olarak tereyağı üretiminde de kremanın hoşça gitmeyen kokusu bu yolla giderilebilir.

Gaz ve sıvı akımı arasındaki denge şartları gaz veya uçucu aroma maddelerinin konsantrasyonlarının dengesi ile oluşturulur.

Ekstraksiyon ve yıkama: Bu işlemde katı bir maddeden bir bileşenin ayrılmasını sağlamak için bir sıvı kullanılır. Bazen her iki faz da yağ ve su gibi birbirinde erimeyen iki sıvıdan oluşabilir. Buna sıvı-sıvı ekstraksiyonu denir. Gıda endüstrisindeki ekstraksiyon işlemlerinde genellikle sıvı fazdaki ekstrakt gereklidir. Eğer arzu edilmeyen bir madde su akımı kullanılarak uzaklaştırılıyorsa buna yıkama denir. Yemeklik yağ endüstrisinde soya fasulyesi, yarfıstığı, kolza tohumu, ayçiçeği, susam gibi ürünlerden yağın ekstraksiyonunda bu işleme örnekler bulunabilir. Sıvı-sıvı ekstraksiyonu hayvansal yağların saflaştırılmasında kullanılır. Şeker endüstrisinde ekstraksiyon sakkarozun pancarından veya şeker kamışından su ile alınmasında temel bir aşama oluşturur.

Damıtma : Damıtma, ham maddenin bir kısmının buharlaştırıldığı bir işlemdir. Damıtmanın esas farklı maddelerin uçuculuklarına bağlı olarak güç veya kolay buharlaştırılabilmesidir. Karışım halinde bir sıvı buharlaştırıldığında oluşan buhar kolay uçucu olan maddece zengin, geride kalan sıvı ise daha az uçucu maddece daha zengin olur. Elde olunan buharlar yoğunlaştırılıp yeniden buharlaştırılırsa daha uçucu maddenin konsantrasyonu tekrar artar. Bu işlemin böylece yinelenmesi ile daha ileri derecede bir ayırma sağlanabilir.

Damıtma işlemi gıda endüstrisinde uçucu yağların ayrılmasında, ispirto ve damıtık alkollü içkilerin üretiminde ve istenmeyen koku ve aromaların uzaklaştırılmasında kullanılır.

Kristalizasyon: Çözünebilir maddeler bir çözeltiliden örneğin ortam şartlarının ayarlanması ile çözelti aşırı doymuş hale getirilerek kristalleştirilip ayrılabilir. Bu işlem genellikle sıcaklık derecesinin düşürülmesi veya eriyiğin konsentrasyonunun artırılması ile birlikte olur. Kristalizasyonun genellikle uygulandığı alanlar şeker rafinasyonu ve tuz rafinasyonudur. Bu rafinasyonlarda kristaller eriyiğin soğutulması veya buharlaştırmayla konsentrasyon artırılması yapılarak çöktürülür.

3.1. Konsentrasyonlar

Denge dağılımlarını oluşturan itici kuvvet her zaman için gerçek konsentrasyon ve denge konsentrasyonu arasındaki fark ile orantılıdır. Bundan dolayı temas ile denge konsentrasyonuna ulaşarak yapılan ayırma işlemlerinde konsentrasyonlar genel itici kuvvet kavramı ile bağlantılıdır. Bir gaz karışımında bulunan A maddesinin bütün moleküllerinin başlangıçta sistemin bir bölgesinde tutulmuş olduğunu kabul edelim. Aradaki ayırıcı bölme kaldırıldığında karışımı oluşturan gaz molekülleri arasında rastgele bir hareket başlar ve A maddesi diğer kısmı oluşturan karışıma doğru dağılır. A maddesinin tutulduğu bölgedeki konsentrasyonunun artırılması bu bölgenin sınırlarında daha fazla difüzyon oluşumunu sağlayacaktır. Bir karışımdaki veya eriyikteki maddelerin nisbi miktarı konsentrasyon olarak ifade edilir. Konsentrasyonlar için uygun olan herhangi bir birim kullanılabilir. Kullanılan birimler arasında g/kg, ppm, mg/g, kg/m³ ve g/g bulunur.

Gaz yasaları molekül sayılarını esas aldığından konsentrasyonları ifade etmede maddelerin nisbi molekül sayılarının kullanılması uygun olmaktadır. Bunlara moleküler fraksiyon veya kısaca mol fraksiyon denir. Bir karışımdaki herhangi bir maddenin mol fraksiyonu; bu maddenin moleküllerinin sayısının, karışımdaki tüm maddelerin moleküllerinin toplam sayısına oranıdır. Eğer molekül ağırlıkları biliniyorsa toplam ağırlık molekül ağırlığına bölünerek, ağırlık oranları kolayca mol fraksiyonuna çevrilebilir.

Molekül ağırlığı M_A olan A maddesinden w_A kg ve molekül ağırlığı M_B olan B maddesinden w_B kg içeren bir karışımda, A maddesinin karışımdaki x_A mol fraksiyonu aşağıdaki eşitliğe göre bulunur.

$$x_A = \frac{A \text{ nın molekül sayısı}}{A \text{ nın molekül sayısı} + B \text{ nin molekül sayısı}}$$

$$x_A = \frac{w_A / M_A}{w_A / M_A + w_B / M_B}$$

ve benzer olarak

$$x_B = \frac{w_B / M_B}{w_A / M_A + w_B / M_B}$$

$(x_A + x_B) = 1$ ve $x_B = (1 - x_A)$ dır. Bu mol fraksiyon hesaplaması çok sayıda madde içeren bir karışımdaki istenilen sayıda maddeye uygulanabilir. Bu taktirde karışımdaki herhangi bir maddenin mol fraksiyonu yine bu maddenin molekül sayısının karışımdaki tüm maddelerin molekül sayısına olan oranıdır.

Problem: Su içerisindeki bir etanol çözeltisi ağırlıkça % 30 etanol içermektedir. Çözeltideki etanolün ve suyun mol fraksiyonlarını hesaplayınız ?

Bir gaz karışımında bulunan maddelerin konsantrasyonları ağırlık fraksiyonu olarak, mol fraksiyonu olarak v.b. ifade edilebilir. Mol fraksiyonu olarak ifade edildiğinde maddenin kısmi basıncı ile arasında bağıntı kurulabilir. Bir maddenin kısmi basıncı, bu madde karışımın tüm hacmini yalnız başına işgal ettiği zaman göstereceği basınçtır. Karışımdaki maddelerin kısmi basınçları toplandığında bu toplam, karışımın toplam basıncına eşittir. Kısmi basınçlar ve mol fraksiyonları birbirleriyle orantılıdır. Şöyleki toplam basınç bütün kısmi basınçların toplamında oluşur ve bu kısmi basınçlar maddelerin mol fraksiyonları oranındadır. Örneğin bir karışım P toplam basıncı altında bulunuyorsa ve bu karışım A maddesinden x_A mol fraksiyonu, B maddesinden x_B mol fraksiyonu, C maddesinden x_C mol fraksiyonu v.b. içeriyorsa;

$$P = P_{x_A} + P_{x_B} + P_{x_C} + \dots$$

$$\text{ve } P = p_A + p_B + p_C \dots \text{ dir.}$$

P_A , P_B ve P_C değerleri A, B ve C maddelerinin kısmi basınçlarıdır.

Gaz karışımları söz konusu olduğunda ağırlık ve hacim oranları arasında da bağıntı kurmak mümkündür. Avogadro yasasına göre "eşit sıcaklık derecesi ve basınç şartları altında, gazların eşit hacimleri eşit sayıda molekül içerir". Bu ifade "bir gaz karışımında hacim fraksiyonları mol fraksiyonları ile orantılıdır" şeklinde de söylenebilir.

Problem: Havanın hacim olarak 79 kısım azot ve 21 kısım oksijen içerdiği bilinir. Bu karışımdaki azot ve oksijenin mol fraksiyonlarını, ağırlık fraksiyonlarını ve karışımın ortalama moleküler ağırlığını hesaplayınız?

3.2. Gaz-Sm Dengesi

Bir sıvı karışımında veya eriyikte bulunan maddelerin molekülleri sıvı yüzeyinden eriyik üzerindeki gaz kısma kaçma eğilimindedirler. Bu kaçma eğilimi kaçan moleküllere sahip sıvının yüzeyi üzerinde bir basınç oluşturur. Bu basınca "sıvının buhar basıncı" denir. Buhar basıncının yüksekliği sıvının bileşimine ve sıcaklık derecesine bağlıdır. Saf sıvılar için buhar basıncı ilişkilerini gösteren çizelgeler yapılmıştır. Bir eriyikte veya bir karışımda ise, sıvıdaki değişik maddeler kendi kısmi buhar basınçlarını gösterirler. Bir sıvı değişik maddeler içerdiğinde genellikle herhangi bir maddenin kısmi buhar basıncının, bu maddenin mol fraksiyonu ile orantılı olduğu belirlenmiştir. Yani;

$$P_A = H_A \cdot x_A \text{ dır.}$$

Burada

P_A — maddenin kısmi buhar basıncı

H_A = A maddesi için belirli sıcaklık derecesinde geçerli olan katsayı

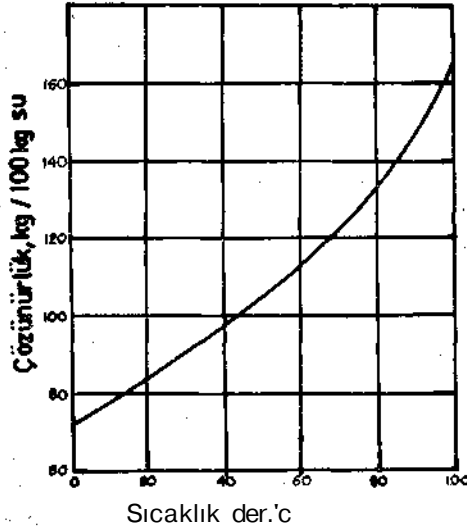
x_A = Sıvıdaki A maddesinin mol fraksiyonu.

Bu bağıntı maddelerin çoğu için geçerli olup Henry yasası olarak bilinir. H katsayısı Henry yasası katsayısı olarak ta bilinir. Henry yasası diğer bir şekilde bir gazın bir sıvıdaki çözünürlüğünü önceden hesaplamada da kullanılabilir. Örneğin; bir gaz sıvı üzerinde belli bir kısmi basınç gösteriyorsa, bu gaz sıvı içinde Henry yasasına göre denge kurulana kadar ve sıvıdaki çözülmüş gazın mol fraksiyonu sıvının üzerindeki gazın kısmi basıncına uygun değere eşit olana kadar çözünecektir.

Problem: 25 °C de karbondioksitin sudaki Henry yasası katsayısı 1.6×10^5 kPa/mol fraksiyon olarak verilmiştir. Bu şartlar altında karbondioksitin ağırlık olarak sudaki yüzde çözünürlüğünü hesaplayınız? Suyun üzerindeki karbondioksitin kısmi basıncı 200 kPa dır.

3.3. Katı-Sıvı Dengesi

Herbir katı maddenin belirli bir sıvı içerisinde belli bir çözünürlüğü vardır. Bir sıvı belli bir katı maddeyi bu katı maddenin o sıvı içerisindeki çözünürlük derecesine göre belirli bir dereceye kadar çözebilir. Çözünürlük sıcaklık derecesine bağlıdır ve genellikle sıcaklık derecesi arttıkça çözünürlük artar. Bu bağıntı için çözünürlük eğrisi çizilebilir. Böyle bir eğri aşağıda görülmektedir.



Şekil 12 Sodyum Nitritin Suda Çözünürlüğü

Ender olarak bazı sistemlerde sıcaklık derecesi arttıkça çözünürlük azalabilir ve bu durumda tersine bir çözünürlük eğrisi elde olunur. Katı madde ve çözücü sıvı arasında son nokta olarak erişilen denge çözeltisine doymuş çözelti adı verilir ve bu sınırdan sonra belirli bir sıcaklık derecesinde çözelti içerisine daha fazla katı madde alınamaz.

Doymamış bir çözelti ve katı maddeden oluşan ikili bir sistem denge halinde değildir çünkü çözücü sıvı kalan katının bir kısmını daha çözebilecek durumdadır. Doymuş bir çözelti ısıtıldığı zaman, eğer normal bir çözünürlük eğrisi veren özellikte ise çözelti bir miktar daha katı madde alabilir ve sonuçta doymamış hale gelir. Tersine olarak böyle bir çözelti soğutulursa aşırı doymuş hale gelir ve çözünürlük sınırının üstünde olan katı kısmı kristal haline gelip çözüldüğüden ayrılır.

3.4. Denge-Konsantrasyon **Bağıntıları**

Ayırma işlemi bir maddenin bir fazdaki konsantrasyonunun azaltılmasını ve diğer fazdaki konsantrasyonunun ise artırılmasını amaçlar. Herbir kademedeki amaç dengeli bir dağılım sağlamaktır. Bunun için işlem sırasında tüm dikkatler ayrılacak maddenin her iki fazdaki veya akımdaki konsantrasyon dengesi üzerine toplanır. Hafif akımdaki konsantrasyon "y" ile ve ağır akımdaki konsantrasyon "x" ile gösterilir. Örneğin bir gaz absorpsiyon sisteminde hafif akım gazdır, damıtma ko-

lonunda hafif akım buhar akımıdır ve bir sıvı ekstraksiyon sisteminde hafif akım akan sıvıdır. Bu nedenle herhangi bir sistemde (y) ye karşın olan değerler (x) üzerinden verilir. Örneğin bir hammaddeden yağın çözücü ile ekstraksiyonunda eğer herbir kademede dengeye ulaşılmışsa akan çözücü sıvıdaki ve geri kalan eriyikteki yağ konsantrasyonları birbirine eşittir. Yani bu durumda $y = x$ tir ve denge durumundaki konsantrasyon eğrisi düz bir doğrudur. Eğer denge durumuna ulaşılmışsa ve bir akımdaki konsantrasyon biliniyorsa denge eğrisi yardımıyla diğer akımdaki konsantrasyon bulunabilir.

Denge durumuna ulaşıması zaman alır ve bu nedenle bu husus temas kademelerinin sayısının saptanmasında gözönünde bulundurulmalıdır.

3.5. İşlem Koşulları

Bütün maddelerin tümüyle bir kademeden diğerine geçtiği seri halinde kademeli bir temas sisteminde yani bir kademeli temasla ekstraksiyon serisinde kütle dengesi, herhangi bir kademe için veya herhangi bir sayıdaki kademelere göre yazılabilir. Analizlerin kolaylaştırılmasını sağlayan bu eşitlikler akış oranları ve akımların bileşimleri ile bağıntılı olarak kurulmalıdır. Aşağıdaki şekilde görölen genelleştirilmiş sistemin, çok kademeli ve birbiriyle temas durumunda bulunan iki akımla çalışan kademeli bir ekstraksiyon. sistemi olduğunu kabul edelim. Burada hafif akımın akış hızı "V" ile ve ağır akımın akış hızı ise "L" ile gösterilmektedir. Kütle dengesini birinci "n" sayıdaki kademe için ele aldığımızda toplam akış için giren kütle çıkan kütleyle eşit olmalıdır. Yani

toplam akış için, $V_{n+1} + L_a = L_n + V_a$ ve karşılıklı değiştirilen madde için $V_{n+1} + y_{n+1} + L_a x_a = V_a Y_a + L_n x_n$ dir. Burada,

V = Hafif akımın akış hızı

L = Ağır akımın akış hızı

y == Akımlar arasında karşılıklı değiştirilen maddenin hafif akımdaki konsantrasyonu

x = Akımlar arasında karşılıklı değiştirilen maddenin ağır akımdaki konsantrasyonu

n = n'inci kademe denge durumundaki koşulları belirtir.

n+1 = n+ l'inci kademede denge durumundaki koşulları belirtir.

a = Birinci kademeye giren ve çıkan akımların koşullarını belirtir.



Şekil 13 Temas Kademeleri.

Akımların birisi hammaddedir ve diğeri elde olunan üründür. Yukarıdaki ikinci eşitlikle V_{n+1} yerine birinci eşitlikteki değerini koyup elimine edersek,

$$V_{n+1} = L_n - L_a + V_a \text{ olacağından,}$$

$$y_{n+1} (L_n - L_a + V_a) = L_n x_n + V_a Y_a - L_a x_a \text{ dır yani}$$

$$y_{n+1} = x_n \left[\frac{L_n}{L_n - L_a + V_a} \right] + \left[\frac{V_a y_a - L_a x_a}{L_n - L_a + V_a} \right] \text{ dir.}$$

Bu eşitlik bir akımın (n+1)'inci kademede konsantrasyonunu, diğeri akımın (n)'inci kademede konsantrasyonu üzerinden ifade ettiği için önemlidir. Pratikte pek çok durumda bir kademeden diğeri eşit miktarlarda veya eşit moleküler miktarlarda taşıyıcı akımların hareketi söz konusudur. Bu durumda bütün temas kademelerindeki akış oranları aynıdır ve hafif akım için

$$L_{n+1} = L_n = \dots L_a \text{ dır ve ağır akım için}$$

$$V_{n+1} = V_n = \dots V_a \text{ dır.}$$

Böyle bir durum için aşağıdaki basitleştirilmiş eşitlik yazılabilir.

$$y_{n+1} = x_n L/V + y_a - x_a L/V$$

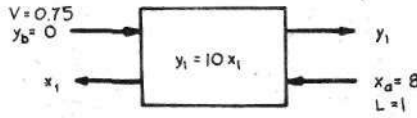
3.6. Temas-Denge İşlemlerinde Ayrılmanın Hesaplanması

Seri durumdaki temas kademelerinde meydana gelen ayrılma denge ve işlem bağıntılarının birleştirilmesiyle hesaplanabilir. İşlemin bir ucundan başlamak suretiyle son ayrılma, verilen koşullardan hesaplanabilir. İlk kademede x değerine x_1 dersek, denge şartından bu kademede y 'ye karşın olan değer y_1 olur. Daha sonra y_2 değerini hesaplamak için

$$y_{n+1} = x_n \left[\frac{L_n}{L_n - L_a + V_a} \right] + \left[\frac{V_a y_a - L_a x_a}{L_n - L_a + V_a} \right]$$

$y_{n+1} = x_n L/V + y_a - x_a L/V$ eşitliklerini kullanabiliriz. Denge koşulları buna karşın olan x_2 değerini verir. Bu şekilde analiz ileri götürülerek bu değerler bütün kademeler için hesaplanabilir.

Problem: Sürekli çalışan ve tek kademedeki buharla yıkama işlemi yapan bir koku alma sistemi kremadan arzu edilmeyen kokuların uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Eğer kremadaki arzu edilmeyen koku 8 ppm ise ve temas kademesinden 1 kg kremaya karşılık 0.75 kg buhar geçiyorsa sistemden çıkan kremadaki arzu edilmeyen koku konsantrasyonunu hesaplayınız? Arzu edilmeyen koku maddelerinin denge durumundaki konsantrasyon dağılımı deneysel olarak kremada 1 ve buharda 10 olarak bulunmuştur ve tek kademedeki denge durumuna erişildiği kabul edilmektedir.

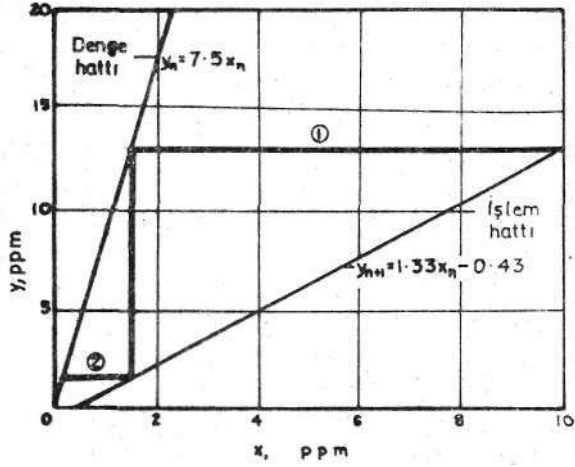


İşlem ve denge bağıntıları McCabe ve Smith tarafından kademe kademe hesaplama yönteminin uygulanması ile bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Aşağıda bu şekilde elde olunmuş bir grafik görülmektedir. Bu iki araştırıcının yöntemlerinin temel özelliği grafikteki denge hattının direk olarak y_n 'ye karşı x_n değeri üzerinden yerleştirilmesidir. İşlem bağıntıları ise y_{n+1} 'e karşı y_n değeri üzerinden yerleştirilmiştir.

$$y_{n+1} = x_n \left[\frac{L_n}{L_n - L_a + V_a} \right] + \left[\frac{V_a y_a - L_a x_a}{L_n - L_a + V_a} \right]$$

kılırsa bu eşitliğin y_{n+1} değerini x_n olarak ifade ettiği görülür ve bunun grafikte verdiği hatta işlem hattı denir. $y_{n+1} = x_n / V + y_a - x_a L / V$ eşitliğinin verdiği hat ise (işlem hattı) düz bir çizgidir ve bu çizginin eğimi L/V olur ve y Eksenini üzerindeki kesişme veya son noktası ($y_a - x_a L / V$) dir.

İşlemin herhangi bir kademesinde örneğin ilk kademesinde Y değerinin verildiği veya işlem şartlarından bulunduğu farzedilirse; sabit y değerinde denge hattına ilerleyerek buna karşın olan x yani x_1 değerinden ilerlenerek sabit x değerinin işlem hattını kestiği yerden y_2 değeri bulunabilir. Bu işlem y_2 den x_2 'ye ve daha sonra y_3 'e tekrarlanarak sürebilir. Şekil de bu işlem, çizilen dikey ve yatay hatlarla gösterilmiştir. Bu hatların her basamağı işlemde akımlar arasında temasın sağlandığı ve denge durumuna ulaşıldığı bir kademeyi gösterir. Kademe kademe ilerleyerek bir akımda istenen son konsantrasyona erişmek için ve gerekli ayrılmayı sağlayabilmek için yeterli olacak temas kademesi sayısı kolay-



Şekil 14 Buharla Yıkama (Mc Cabe - Thiele Grafiği)

lıkla bulunabilir. Verilen grafikte x_n değerlerini y_{n+1} 'e karşı yerleştirerek elde olunan işlem hattı ve x_n değerlerini y_n 'e karşı yerleştirerek elde olunan denge hattı görülmektedir. İşlem hattı üzerindeki verilen koşullara uyan belli bir noktadan başlamak suretiyle istenen konsntrasyona erişilene kadar temas kademesi basamakları çizilir.

4. GAZ ABSORBSİYONU

Gaz absorpsiyonu, gaz karışımlarının bir sıvı ile temasa getirilmesi işlemidir. Temas sırasında gaz akımı ve sıvı akımı arasında bir madde değiştirilir. Gaz, sıvı içerisinde kabarcıklar halinde dağıtılabilir veya sıvı akımının üzerinden geçirilir. Her iki temas şeklinde de amaç kütle değişiminin oluşabileceği büyük bir yüzey temin etmektir. Diğer bir şekilde sıvı filmi bir kolonun kenarlarından aşağı akarken veya alt alta sıralanmış tavaların birinden diğerine akarken gaz akımı ters akım prensibine uygun olarak aşağıdan yukarıya doğru yükselir. Gaz veya gazı oluşturan bileşenler ya sıvı içinde çözünür veya sıvıdan uçucu bir bileşeni ekstrakte eder. Gazın sıvı içinde çözünme durumuna örnek olarak sıvı yağların hidrojenasyonu gösterilebilir. Hidrojenasyonda hidrojen gazı yağın içerisine kabarcıklar halinde verilir ve yağ ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonu kolaylaştırmak üzere genellikle bir katalizör kullanılır. Hidrojen yağ içerisine absorbe edilir ve doymamış bağlarla reaksiyona girerek sıvı yağı katı hale getirir. Gaz absorpsiyonuna diğer bir örnek bazı içeceklerin karbonize edilmesidir. Basınç altında olmak üzere uygulanan karbondioksit sıvı içecek içerisinde çözünür. Sonradan içeceğin bulunduğu kabın tıpası açıldığında basınç kalkar ve karbondioksit dışarı çıkmaya başlar.

Gaz absorpsiyon işlemlerinde dengeye ulaşabilmek için yeterli süre tanınmalıdır. Böylece mümkün olan en büyük değişim hızına erişilir. Ayrıca akımlar arasındaki temasın en uygun koşullar altında gerçekleşmesine imkan verilmelidir.

4.1. Gaz Absorpsiyonu Hızı

Gaz absorpsiyonunda kütle iletim hızları sistemin denge durumundan sapma derecesi ve sıvı ve gaz akımlarının kütle iletimine karşı gösterdikleri direnç tarafından tayin edilir. Buna göre;

Absorpsiyon hızı = itici güç / direnç olmaktadır.

İtici güç, gerçek konsantrasyon ile denge konsantrasyonu arasındaki farktır. Bu değer konsantrasyon terimleri ile ifade edilir. Direnç için ise durum daha karışık. Fakat pratik amaçlar için direncin tümünün iki akım arasındaki yüzeyde toplandığını kabul etmek yeterli olacaktır. İki akım arasındaki çakışma yüzeyinde birisi sıvının içinde ve diğeri gazın içinde olmak üzere iki film tabakası olduğu varsayılmaktadır. Lewis ve Whitman'ın iki film teorisi dirençleri gaz filmi direnci ve sıvı filmi direnci olmak üzere ayrı ayrı belirler. Bunlar yüzey ısı iletim katsayılarına çok benzer şekilde değerlendirilir. İki filmin dirençleri birleştirilerek genel ısı iletim katsayısına benzer şekilde genel veya toplam direnç olarak değerlendirilir. Her iki filmdeki itici güçler sıvı veya gaz yığınınındaki maddeler ile sıvı veya gazın temas yüzeyindeki maddelerin konsantrasyonları arasındaki fark olarak alınır. Pratikte temas yüzeyindeki koşulları ölçmek nadiren mümkün olabilir ve genel katsayılar kullanılarak aşağıdaki eşitlik elde olunur.

$$d w/dQ = K_1 A (x' - x) = K_g A (y - y')$$

$d w/dQ$ = temas yüzeyinden birim sürede geçen gaz miktarı

K_1 = sıvının genel (toplam) kütle iletim katsayısı

K_g = gazın genel kütle iletim katsayısı

A = temas yüzeyi alanı

x, y = sırasıyla, sıvı ve gaz akımlarından iletilen gaz konsantrasyonları

x', y' = temsili konsantrasyonlar. x , gazdaki konsantrasyon y olduğunda denge durumunda sıvı akımındaki konsantrasyonu gösterir. y , sıvıdaki konsantrasyon x olduğunda denge durumunda gaz akımındaki konsantrasyonu gösterir.

Bu eşitlik toplam gaz absorpsiyonu hızının hesaplanmasında veya toplam gaz desorpsiyonu hızının hesaplanmasında kullanılabilir.

4.2. Kademe Dengesi ile Gaz Absorpsiyonu

İşlem ve denge koşulları biliniyorsa, temas kademeli ve ters akım prensibine göre çalışan bir gaz absorpsiyon aletinin iş verimi hesaplanabilir. Böyle bir alette sıvı akımı ve gaz akımı her kademedeki birbirleriyle temasa getirilir ve denge konsantrasyonuna erişebilmek için yeterli süre boyunca temasta bırakıldığı kabul edilir. Denge durumuna erişmek için gerekli sürenin verilmediği durumlarda hız eşitliklerinin analize dahil

edilmesi gerekir. Bu ise analizleri daha karışık duruma getirir. Bununla birlikte, gıda endüstrisinde pratik bakımından önemli birçok durumda ya denge durumuna erişmek için gerekli süre tanınır veya hesaplama tahmine dayandırılır ve bu durumda da gerçek şartları hesaba katmak üzere "kademe etkinlik terimi" ortaya çıkar. Uygun etkinlik değerleri bazı durumlarda deneysel olarak bulunabilir veya daha önce yayınlanmış bilgilerden tayin edilir.

Bir temas kademesinde akımlar denge durumuna eriştikten sonra birbirlerinden ayrılırlar ve daha sonra da aksi yönlerde olmak üzere bir sonraki kademeye geçerler. Gazın ve sıvının ayrılması genellikle büyük bir güçlük göstermez ve bu iş için çoğunlukla siklon tipi ayırıcılar kullanılır.

Aletin verimini hesaplamak için işlem koşulları bilinmelidir veya kütle dengelerinden bulunmalıdır. Bilinen faktörler çoğunlukla gazın ve sıvının akış hızlarıdır. Bunlar denge şartlarına ilaveten gazın ve sıvının giriş şartları ve çıkan akımlardan birisinin şartlarıdır. Bulunması gereken husus istenen konsantrasyon değişikliğine ulaşmak için kaç adet temas kademesi gerekli olduğudur. Toplam kütle dengesi, kalan diğer çıkışın şartlarını verebilir ve işlem hattının çizilmesi mümkün olabilir. Sonra aynı diyagram üzerinde denge hattı yerleştirilip problemin çözümü için Mc Cabe-Thiele yöntemi uygulanabilir.

Problem: Bir önceki problemde hesaplama, tek etkili bir sistemde buharla yıkama işlemi ile kremadan arzu edilmeyen koku maddelerinin uzaklaştırılmasına göre yapılmıştı. Problemin koşulları 8 ppm konsantrasyonda bulunan kötü koku maddelerini uzaklaştırmak için ters akımlı buharın yardımıyla temas kademesi desorbsiyonu kullanılması idi.

Bu kez kötü koku maddesinin uzaklaştırılmasının daha zor olduğunu ve denge konsantrasyonunda, buhardaki konsantrasyonun kremadakinin ancak 7,5 katı daha fazla olduğunu farzedelim. Eğer krema ve buharın nisbi akış oranları önceki problemde olduğu gibi 1:0,75 ise, kremadaki kötü koku maddelerinin konsantrasyonunu 0,3 ppm'ye indirmek için,

- a) % 100 kademe etkinliğinde olmak üzere ve
- b) % 70 kademe etkinliğinde olmak üzere

her iki kademe etkinliği için kaç adet temas kademesine gerek olduğunu bulunuz?

Kötü koku konsantrasyonu bu kez 10 ppm dir.

4.3. Gaz-Absorsiyonu Aletleri

İyi bir gaz absorpsiyon aleti gaz akımı ve sıvı akımı arasında pratik olarak mümkün olan en büyük çakışma yüzeyini sağlamak üzere yapılmalıdır. Bunu sağlamak için de sıvıyı püskürten spreycisimleri ve gaz kabarcıklar halinde veren cisimler kullanılmalıdır. Birçok durumda sıvı üst üste konulmuş delikli tavalardan oluşan kulelerde veya içerişi seramik dolgu maddesi ile doldurulmuş kulelerde yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere akıtılır. Yağların hidrojene edilmesinde absorpsiyon işleminden sonra hidrojenin yağ ile reaksiyonu başlar ve reaksiyonları hızlandırmak için de nikel katalizörü kullanılır. Reaksiyonu hızlandırmak için aynı zamanda basınç ta uygulanır. Basınç uygulaması gaz konsantrasyonlarını artırır ve böylece reaksiyon hızı artar. Burada ortaya çıkabilecek sorunlar katalizörün, yağın ve hidrojenin dağıtımının ayarlanması ile ilintilidir. Bazı aletlerde hidrojenin içerişine yağ ve katalizör püskürtülür. Diğer bazı gaz absorpsiyon aletlerinde ise sürekli bir yağ fazı bulunur, katalizör parçacıkları bu fazın içerişinde süspansiyon halindedir ve yağ fazı içerişine hidrojen gazı kabarcıklar halinde verilir.

Koku alma aletinde bir grup sistemde uçucu aroma bileşiklerinin ve arzu edilmeyen kötü kokuların ayrılması için sürekli şekilde buharla yıkama yapılır. Sıvı bu buhar fazı içerişine püskürtülür. Diğer bir sistemde örneğin kremadan kötü kokuların alınmasında, krema buhar atmosferi içerişine püskürtülür ve sonra her iki faz da daha sonraki kademelere geçer veya buhar kondanse edilip daha sonraki kademede taze buhar kullanılır.

5. EKSTRAKSİYON VE YIKAMA

Bir ayırma işlemi için çoğunlukla bir sıvının kullanılması uygun olmaktadır. Sıvı doğrudan maddenin alınacağı katı madde ile iyice karıştırılır veya maddenin alınacağı diğer bir sıvı ile karıştırılır ve sonra iki akım birbirinden ayrılır. Katı maddeler konu olduğunda iki akımın birbirinden ayrılması genellikle basit bir çöktürme işlemiyle yapılır. İki sıvı akımını birbirinden ayırmak için sıvıların birbirleri içinde çözünmeyen özellikte olmaları gerekir. Buna bir örnek yağ ile su karışımıdır. Bazı durumlarda elde olunması istenilen şey uygulanan sıvı içerisinde oluşmuş olan çözüldür. Çekilmiş kahveden sıvı halde elde olunan ve çekilmiş kahvenin sıvıda çözünen bileşenlerini içeren sıvı ürünün elde edilmesi buna bir örnektir. Bazı durumlarda ise elde olunması istenen ürün katı madde halinde olabilir. Buna örnek yıkanmış tereyağının elde edilmesi .

Ekstraksiyon işlemi üzerinde etkili olan faktörler esas olarak şunlardır;

- a) iki akım arasındaki temas yüzeyi alanı
- b) temas süresi
- c) kullanılan hammaddenin, değiştirilecek bileşken maddenin denge dağılımı üzerinde etkili olan özellikleri
- d) temas kademesi adedi.

Katı bir maddeden ekstraksiyonda katı maddenin yumak şeklindeki doku yapısı difüzyonu güçleştirebilir ve böylece ekstraksiyonun hızını azaltabilir.

Ekstraksiyon işlemine diğer örnekler yağ hammaddelerinden yağ elde edilmesinde, yağ asitleri elde edilmesinde (sıvı-sıvı ekstraksiyonu), şeker pancarı ve şeker kamışından şeker elde edilmesinde görülür.

Yıkama işlemi ise pekçok kullanılan bir işlemdir ve birçok endüstri dalında belirli aşamaları oluşturur.

5.1. Ekstraksiyon Hızı

Çözünme işlemi genel hız eşitliği çerçevesinde olmak üzere düşünülebilir. Yani,

$$\text{Çözünme hızı} = \text{itici güç / direnç}$$

Bu durumda itici güç değiştirilen bileşken maddenin katı madde çakışma yüzeyindeki konsantrasyonu ile yine katı maddenin çözücü sıvı içerisindeki konsantrasyonu arasındaki farktır. Sıvı-sıvı ekstraksiyonunda daha önce değinilen iki film tabakası göz önüne alınmalıdır. Bu iki film tabakası çakışma yüzeyinde ve diğer akımı oluşturan sıvının içerisinde bulunurlar.

Katı bir maddeden eriyik elde edilmesi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$dW/d0 = K_1 A (y_s - y)$$

Burada,

$$dW/d0 = \text{çözünme hızı}$$

K_1 = kütle iletim katsayısı

A = çakışma yüzey alanı

y = çözünür bileşkenin sıvı kütlesi içindeki konsantrasyonu

y_s = çözünür bileşkenin çakışma (temas) yüzeyindeki konsantrasyonu

Doymuş eriyiğin genellikle temas yüzeyinde olduğu kabul edilir ve buna göre de y_s sistem sıcaklık derecesinde olmak üzere doymuş eriyiğin konsantrasyonunu ifade eder.

Yukarıdaki eşitliğin incelenmesi, çözünme hızının arttırılmasında kullanılabilecek bazı faktörlerin etkilerini ortaya çıkarır. Katı maddenin küçük parçalar haline getirilmesi yani kırılması veya öğütülmesi suretiyle A yüzey alanı arttırılabilir. İşlem sırasında iyi bir karıştırmanın yapılması herhangi bir bölgedeki konsantrasyonun kütlelerin ortalama konsantrasyon değerine eşit olmasını sağlar. Yani kötü bir karıştırma olmadan ötürü ortaya çıkan bölgesel yüksek konsantrasyonlar oluşmaz ve " y " değeri yükselmez. Sistem sıcaklık derecesindeki artış ile çözünme hızı da artar. Bu artış yalnızca difüzyon ile ilgili K_1 değerinin artışı ile değil aynı zamanda çözünecek olan maddenin çözünürlüğünün yani " y_s " değerinin de artması ile sağlanır.

Bir temas kademesinde katı bir maddeden basit bir ekstraksiyon işleminde çözünen maddenin kütle dengesi aşağıdaki eşitliği verir.

$$dW = V dy$$

V = sıvı akımındaki sıvı miktarı

Bu eşitliğin dW değerinin karşıtını daha önceki eşitlikte yerine koyarsak,

$$V dy/d\theta = K A (y_s - y) \text{ olur.}$$

Bu eşitlikte θ süresi aralığında olmak üzere "y" değerini başlangıç konsantrasyonu olan y_0 da y' ye dek integrasyon yaparak aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$\log_e \frac{y_s - y_0}{y_s - y} = \theta KA/V$$

A temas yüzeyinin ölçülmesi zor olduğundan bu eşitlik her zaman kullanılamaz ve uygun olan ekstraksiyon süresi genellikle tesiste mevcut olacak koşullar çerçevesinde olmak üzere deneme yolu ile saptanır.

5.2. Temas-Dengesi İle Ekstraksiyon

Ekstraksiyon işleminin analizi denge koşulları ve işlem koşullarının kurulmasına dayanır. Denge koşulları genellikle basittir. Katı bir maddeden çözünen maddenin ekstraksiyonu göz önüne alındığında, toplam çözüner maddenin tümünün bir kademede çözüldüğü ve istenen seperasyonun sağlandığı kabul edilir. Ancak sıvının tümünün katı maddeden ayrılması mümkün değildir. Çünkü katı madde eriyiğin bir kısmını doku yumağında tutar. Bu kalan eriyikteki çözünmüş madde miktarı çözücü ile tekrar temasa getirilerek azaltılır. Örneğin heksan gibi bazı hidrokarbon çözücüler kullanarak soya fasulyesinden yağın ekstraksiyonunda, çöktürmeden sonra dane ağı kendi ağırlığı kadar veya kendi ağırlığından daha fazla bir eriyik kısmını tutar. Bu tohumlarla birlikte kalan yani alıkonan eriyik kısmı önemli miktarda yağ içerir. Bu yağın alınıp kalan miktarın düşük düzeye indirilmesi için yeni ekstraksiyon aşamaları uygulanır. Ayrılabilir durumdaki eriyikte bulunan yağ konsantrasyonu ile tohumlarla birlikte kalan eriyikteki yağ konsantrasyonu aynı olduğundan denge koşulları basittir. Sonuç olarak hafif sıvı akımındaki yağ konsantrasyonu "y" ye ve ağır akımdaki tohumlarla birlikte kalan eriyikteki yağ konsantrasyonu "x" e eşittir. Bundan dolayı y - x bağıntısından yararlanılarak denge hattı yerleştirilebilir.

İşlem koşulları ekstraksiyon temas kademelerinde

$$y_{n+1} = x_n \left[\frac{L_n}{L_n - L_a + V_a} \right] + \left[\frac{V_a y_a - L_a x_a}{L_n - L_a + V_a} \right]$$

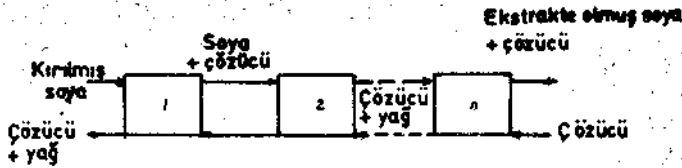
eşitliğim vermek üzere kütle dengeleri yazılarak analiz edilebilir. Tesis genellikle bir seri karıştırıcı ve bunlardan sonra gelen ve iki akımın birbirinden ayrıldığı çöktürücülerden oluşmak üzere kurulur. Birçok durumda analizlerde katı maddelerin dikkate alınması gerekmez ve her kademededen sonra iki eriyik akımının birbirinden ayrıldığı düşünülebilir. Çünkü bir kademededen diğerine aynı miktarda katı madde geçtiği gibi her çöktürme işleminden sonra katı maddeler tarafından aynı miktar sıvı alıkonulur. yani tutulur. Hemen yukarıda bildirilen eşitlikte V, çöktürücülerden taşıyıp akan sıvı miktarını 1 akıntı altı olarak kalan çöktürülmüş katı madde ve eriyik karışımının birlikteki miktarını ifade eder. Eğer akıntı altı olarak kalan kısım kademededen kademeye geçerken aynı miktar eriyik alıkoysursa yukarıdaki eşitlik aşağıda gösterilen şu basit eşitliğe dönüşür.

$$Y_{n+1} = x_n L/V + y_n - x_n L/V$$

Bu eşitlikte daha önce görülmüştü.

Ekstraksiyon işlemi ya her kademe için eşitliklerin ayrı ayrı çözümlenmesinin uygulanması ile analiz edilebilir veya McCabe - Thiele grafiksel yönteminin kullanılması ile analiz edilebilir.

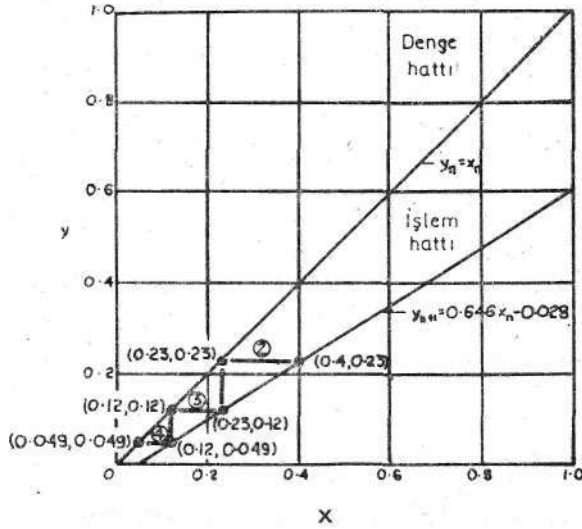
Problem -: Çözücü olarak hekzan kullanılmak suretiyle soya fasulyesinden ters akımlı, temas kademeli bir ekstraksiyon aletinde yağın ekstrakte edilmesi gerekiyor. Eğer soya fasulyelerinin başlangıçtaki yağ miktarı % 18, son ekstraksiyon eriyiğinin yağ miktarı % 40 ise ve toplam yağın % 90'ının ekstrakte edilmesi gerekiyorsa, işlem için kaç adet temas kademesi gerektiğini hesaplayınız? İlk karıştırıcıda soya fasulyelerinden tüm yağın ekstrakte edildiğini, her bir kademedede denge durumuna erişildiğini ve her çöktürme kademesinden sonra akıntı altı olarak kalan kırılmış, parçalanmış fasulyelerin kendi ağırlıklarının yarısı kadar eriyiği tuttuğunu yani alıkoysuğunu kabul ediniz. Ekstraksiyon tesisi aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



Akıntı altı olarak kalan kısım kademededen kademeye yani her kademedede eşit olup, kırılmış fasulyelerin doku ağı ve yağın çözücü ile bir-

leşmediği birinci kademe hariç sabit miktarda eriyiğin fasulyeler tarafından tutulup alınulduğu kabul edilecektir. İlk kademededen sonraki tüm kademelerde akıntı altı sabittir fakat ilk kademe

$y_{n+1} = x_n L/V + y_a - x_a L/V$ eşitliğinin kullanılması ile değerlendirilebilir. Problem kademe kademe olmak üzere kütle dengelerinden ve Mc Cabe-Thiele grafiksel yönteminin kullanılması ile çözülebilir. Probleme dair grafik aşağıda verilmiştir.



5.3. Yıkama

Yıkama işlemi hemen hemen ekstraksiyon işlemi ile aynıdır. Aralarındaki temel fark yıkamada işleme giren maddenin elde olunması istenen ürün olması ve kullanılan çözücünün ucuz olan ve kolay bulunan su olmasıdır. Ters akımlı yıkama işlemlerindeki hesaplamalar işlem koşulları ve denge koşullarından hareketle ekstraksiyon konusunda görülen aynı yöntemlerin kullanılması ile yapılabilir. Yıkamada genellikle her kademede temiz su kullanılır ve hesaplamalar da kolay olmaktadır. Çok kademeli yıkamada hammaddenin su miktarı ağırlık olarak x_w dir ve bunun x fraksiyonu alınmak istenen yabancı maddedir ve buna yx_w miktarında yıkama suyu ilave edilecektir. İyice yıkandıktan sonra hammadde bir süre kendi halinde bırakılarak suyu süzülür. Bundan sonra hammaddede kalan su miktarı yaklaşık olarak daha önce içerdiği x_w su miktarıdır. Geride kalan yx_w miktarındaki yıkama sıvısı

hammadenin katı madde kısmına birleşik olan sıvıda bulunan miktarda yabancı madde içerecektir ve bu yıkama sıvısı bir kayıp olarak elden çıkacaktır. Daha önce x_w miktarındaki suya birleşik olarak bulunan yabancı madde şimdi $(x_w + yx_w)$ miktarındaki bir kütle içerisinde ve bunun konsantrasyonu olan x değeri bu hacimlerin oranı nisbetinde olmak üzere düşecektir ve düşeceği bu değer de $x [x_w/(x_w + yx_w)]$ dir.

Buna göre; birinci yıkamada x_1 miktarındaki katı madde ile birlikte kalacak olan konsantrasyon şu eşitlikle verilir.

$$x_1 = x [x_w/x_w (1 + y)] = x [1/(1 + y)],$$

ve iki yıkamadan sonra

$$x_2 = x_1 [1/(1+y)] = x [1/(1+y)]^2,$$

ve (n) sayıda yıkamadan sonra,

$$x_n = x [1/(1+y)]^n \text{ dir.}$$

Diğer taraftan eğer hammadde (n) sayıda yıkama kademesinde kullanılan aynı toplam miktardaki su ile ve bir kademede olmak üzere yıkaniyorsa bu miktar (nyx_w) olur ve yabancı madde miktarı da,

$$x_n = x [1/(ny+1)] \text{ olur.}$$

Problem: 100 kg taze kazein pıhtısının çöktürme ve suyunun akıtılmasından sonra % 66 su tuttuğu ve bu suyun % 4.5 oranında laktoz içerdiği bulunmuştur. Pıhtı daha sonra laktozun büyük kısmını uzaklaştırmak amacıyla yıkanmıştır. Eğer pıhtı her keresinde 194 kg taze su ile üç kez yıkanır, suyunun akıtılmasından sonra kazeinde kalan laktoz miktarını (%) olarak bulunuz? Ayrıca üç yıkamadan sonra elde olunan pıhtıdaki laktoz miktarına ulaşabilmek için, tek bir yıkamada kullanılması gerekli su miktarını (kg) olarak bulunuz? Yıkamaların mükemmel bir şekilde yapıldığını ve sonra her seferinde pıhtının suyunun % 66 su miktarına dek akıtıldığını varsayınız.

5.4. Ekstraksiyon ve Yıkama Âletleri

Ekstraksiyonun birinci aşaması genellikle mekanik öğütmedir. Hammadde ekstraksiyon için geniş bir temas yüzeyi sağlamak üzere ya dilimler veya kıyını halinde kesilir veya uygun büyüklükteki parçalar halinde öğütülür. Bazı durumlarda örneğin şeker kamışından şeker eldeğinde ve yağlı tohumlardan bitkisel yağların ekstraksiyonunda istenilen esas maddenin önemli miktardaki kısmı presleme ile direk olarak

bu aşamada ayrılabilir ve geride kalan katı parçacıklar kısmı ekstraksiyon aletine geçer.

Sıvı olan çözücülerin pompalanması ve üst akıntının alınması, akıntı altlarının alınmasından daha kolaydır. Bazen akıntı altları alınmadan bırakılır ve başarılı şekilde ekstraksiyon yapılan kademelerden alınan çözücüler ,bu katı maddelerle temasa getirilir. Bu işlem ekstraksiyon bataryalarında yaygın olarak kullanılır. Bunun için her biri karıştırma ve çöktürme için elverişli olan çok sayıda tank halka şeklinde veya düz sıra şeklinde olmak üzere batarya sistemi için yerleştirilir. Katı maddeler içinde karıştırıcısı bulunan bir çöktürücüde kalır ve çözücü tanklar halkasında veya sırasında ilerletilip devrettirilir. (n) sayıda tank bulunan bir batarya devresinde tanklardan katı maddelerin boşaltıldığı herhangi bir kademede (n-1) kademelik ayırma sağlanır. Tank boşaltmadan sonra yeniden katı madde ile doldurulur ve ikinci seferde bir gerideki tank boşaltılır.

Bazı ekstraktörlerde katı maddeler dikey bölmeleri olan bir taşıyıcıya yerleştirilir ve taşıyıcıya bir kule içerisinde yukarı doğru olmak üzere hareket verilir. Kule içinde aynı zamanda yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere çözücü akımı sağlanır. Katı maddeleri çözücüye karşı ters yönde hareket ettirmek için sonsuz vida şeklinde taşıyıcılar veya metal band taşıyıcılar da kullanılabilir. Şeker teknolojisinde bunun örnekleri görülebilir. Ayrıca santrifüj prensibiyle çalışan bazı tip ekstraktörlerde yapılmıştır. Bunlarda santrifüj kuvvet taşımada veya temas işleminden sonra ayırmada kullanılabilir.

Yıkama işlemi genellikle yıkanacak olan materyal üzerine temiz suyun döküldüğü bir alet içerisinde yapılır. Yıkama işlemi bazı durumlarda kademeli olarak gerçekleştirilir. Suyun ucuz temin edilebilmesine karşın çoğunlukla fazla miktarlarda su kullanmak gerektiğinden en etkili ve rantabl olan yöntemin kullanılmasına dikkat edilmesi gerekir.

6. KRİSTALİZASYON

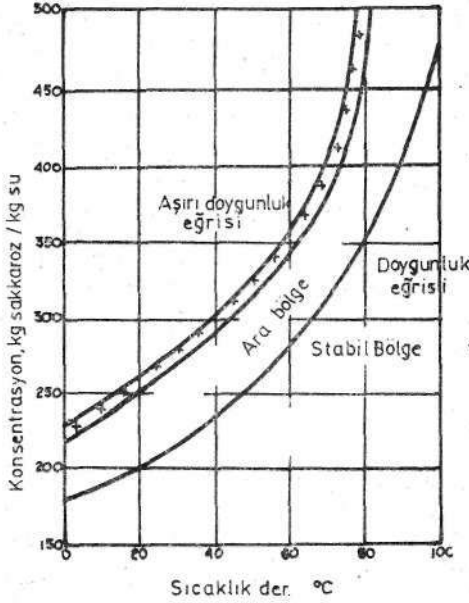
Kristalizasyon kütlenin karışık bileşimli bir sıvı eriyikten saf katı kristallere dönüştürüldüğü bir ayırma işlemidir. Şeker pancarından ve şeker kamışından şeker üretimi kristalizasyonun gıda teknolojisindeki en önemli örneğidir. Kristalizasyon glükoz ve laktoz gibi diğer bazı şekerlerin ve tuz gibi gıda katkı maddelerinin üretiminde ve dondurma yapımında da kullanılan bir temel işlemdir. Şeker üretiminde şeker önce bir eriyik halinde alınır ve sonra şekeri kristalize ederek bu eriyikten ayırmak üzere önce saflaştırma yapılır ve sonra konsantre edilir.

Kristalizasyon, çözünmüş maddenin konsantrasyonunun bulunduğu sıcaklık derecesinde çözünebileceği düzeyin üzerine getirilene kadar eriyiğin konsantre edildiği bir ayırma işlemidir. Böylece çözünmüş madde saf kristaller halinde eriyikten ayrılabilir. Kristalizasyonda maddenin çözünürlüğü ve kristal oluşturduğu şartlar en önemli faktörlerdir. Oluşan kristaller muntazam olmak üzere kübik, rombik, tetragonal v.b. şekiller gösterirler. Kristallerin şekilleri eriyikte bulunan diğer bazı maddelerin eser miktarda bulunmaları ile dahi etkilenir. Kristal şekli teknolojik olarak önemlidir çünkü katı olan kristallerin akışı ve çözünme hızı kristalin şekli ile bağıntılıdır. Diğer önemli bir özellik, ürünlerdeki kristallerin aynı büyüklüğüdür. Üründeki kristaller aynı büyüklükte olmalıdır. Örneğin şeker gibi bir üründe yeknesak olmayan kristallerin karışımı güzel görünmediği gibi, paketlemede ve depolamada farklı büyüklüklere göre sınıflandırma yapılması gerekeceğinden güçlükte ortaya çıkar.

6.1. Çözünürlük

Çözünürlük; 100 gr çözücü içinde doymuş çözelti meydana getirecek olan susuz katı maddenin ağırlığı olarak tanımlanır. Gıda teknolojisinde kristalizasyonda kullanılan çözücü genellikle sudur.

Çözünürlük sıcaklık derecesine büyük ölçüde bağlıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere katı maddelerin pek çoğu için çözünürlük sıcaklık derecesinin artırılması ile artar.



Şekil 15 Şekerin Sudaki Çözünürlük ve Doymuluk Eğrileri

Kristalizasyon sırasında kristaller çözünürlük eğrilerinde görülenlerden daha yüksek konsantrasyonlardaki çözeltilerden yani aşırı doymuş çözeltilerden oluşur. Aşırı doymuş çözeltiler termodinamik yönden stabil değildirler fakat bazı şartlar altında bozulmadan kalabilirler. Yukarıdaki egride şekerin sudaki aşırı doyma hattı görülmektedir. Doymuş ve aşırı doymuş eğriler arasında kalan ve ara (metastabil) bölge denilen alanda kristalizasyonun başlama hızı düşüktür. Aşırı doyma eğrisinin üzerinde kristalizasyon kendiliğinden ve çabucak meydana gelir. Eğer çözelti doymuluk eğrisinin altında bir konsantrasyona sahipse kristalleşme olmayacaktır. Ara bölgede ise eğer çekirdek kristaller ilave edilirse veya çözelti dengesi bozulursa kristalleşme olacaktır. Aşırı doyma eğrisinin üzerinde ise kristalizasyon herhangi bir kristalizasyon başlatıcısı kullanmaya gerek olmaksızın kendiliğinden ve hemen olur. Kristalizasyon bir kere başlayınca çözeltinin konsantrasyonu doymuluk eğrisine düşene kadar devam eder.

Problem: 40 °C sıcaklıktaki bir sodyum klorür çözeltisi % 50 konsantrasyona sahipse ve bu sıcaklık derecesinde sodyum klorürün çözünlülüğü 36,6 g/100 g su ise, kristalizasyon bir kez başlayınca oluşacak sodyum klorür kristallerinin miktarını (g/100 g su) hesaplayınız?

Aşırı doymuş bir çözeltide hiçbir yardımcı katı parçacık olmasa da kristalizasyon oluşur. Buna kendiliğinden (spontan) çekirdeklenme denir ve oluşum mekanizması kesin bir şekilde bilinmemektedir. Kendiliğinden çekirdeklenmenin güç olması nedeniyle çözeltiye dışarıdan çekirdek ilave edilir ve bunun üzerine kristaller gelişir. İlave edilen çekirdek elde olunacak olan kristalin kendisi olabileceği gibi, toz parçaları veya çözelti karıştırılıp çalkalandığında etrafında kristallerin oluşabileceği hava kabarcıkları da olabilir. Kristalizasyonun kontrolünde en kolay yöntem çözeltinin kristallerle çekirdeklenmesi ve bu çekirdeklerin daha ileri derecede olacak çekirdeklenmeyi sağlamasıdır. Örneğin şeker endüstrisinde kristalizasyona yardımcı olmak üzere dışarıdan pudra şekeri ilave edilir.

Kendiliğinden veya çekirdek ilavesiyle bir kez çekirdeklenme oluşunca kristal gelişimi devam eder. Çekirdeklenme ve kristal gelişiminin hızı kristalizasyon şartlarının kontrolü ile takip edilebilir. Eğer aşırı doyma düşük düzeyde tutuluyorsa çekirdek oluşumu yeterince teşvik edilmeyordur fakat bir kere kristal oluşunca gelişmeye devam eder ve sonuçta büyük kristaller oluşur. Eğer aşırı doyma hah yüksek düzeyde ise çekirdeklenme teşvik ediliyor demektir ve sonuçta büyük kristaller oluşmaz. Yavaş soğutma pratikte yavaş yavaş artan hafif bir aşırı doymuluk oluşturur ve sonuçta büyük kristaller oluşur, çabuk soğutmada ise küçük kristaller oluşur. Örneğin şeker üretiminde elde olunan çözeltinin konsantrasyonu çekirdeklenme meydana gelene kadar yükseltilir ve sonra oluşan kristal çekirdeğinin büyüklüğü istenilen düzeye ulaşınca kadar sıcaklık derecesi değiştirilmez. Kristaller sonra şuruptan çeşitli kademelerdeki santrifüj işlemi ile ayrılır. Kalan şurup diğer bir buharlaştırıcıya gönderilir, konsantre edilir ve tekrar istenen büyük lükte kristaller geliştirilir. Bu yöntemle sakkaroz kristallerinin büyüklük durumu kontrol edilebilir. En son ana şurup şeker kristali oluşturmaksızın yine konsantre edilebilir. Bu aşırı doymuş çözelti kristalleşmeyen melastır.

6.2. Kristalizasyon Isısı

Bir çözelti aşırı doymuş çözelti elde etmek ve böylece kristalizasyon meydana getirmek üzere soğutulduğunda bu işlemde alınması gereken

ısı çözeltiyi soğutmak için alınması gereken ısı ile kristalizasyon için alınması gereken ısının toplamına eşittir. Aşırı doymuşluğun elde edilmesi için buharlaştırma işlemi uygulandığında buharlaşma ısı da gözönüne alınmalıdır. Kristalizasyon ısı genel olarak çözeltinin doymuş çözelti meydana gelirken gereken çözünme ısısına eşit olarak kabul edilir. Birçok gıda materyali için kristalizasyon ısı pozitifdir yani kristalizasyon sırasında dışarı ısı verilir. Kristalizasyon ısı çözünme ısısının tersidir. Eğer bir materyal ısı alıyorsa yani negatif çözünme ısısına sahipse bu durumda kristalizasyon ısı pozitifdir. Kristalizasyon için ısı dengeleri hesaplanabilir.

Problem: Bir laktoz şurubu konsentrasyonu 10 kg su için 8 kg laktoz olacak şekilde konsantre ediliyor ve sonra 2500 kg şurup alan kristalizasyon teknesine veriliyor. Teknede 57 °C den 10 °C ye soğutuluyor. Laktoz bir molekül kristal suyu ile birlikte kristalleşir. Laktoz çözeltisinin özgül ısı 3470 J/kg °C dir. Laktoz monohidrat için çözünme ısı - 15,500 kJ /mol dür. Laktoz monohidratın molekül ağırlığı 360 dır ve laktozun 10 °C deki çözünürlüğü 1,5 g/(10 g su) dur. Suyun % l'inin buharlaştığını ve teknenin duvarlarından olan ısı kaybının 4×10^4 kJ olduğunu kabul ediniz. Soğutma işlemi sırasında alınması gereken ısı miktarını (kJ) olarak hesaplayınız?

Buharlaşma gizli ısı 2258 kJ/kg dir.

Problem: Şeker üretimi için seri halindeki buharlaştırıcılardaki koşullar aşağıdaki gibidir:

1. Buharlaştırıcı - şurup sıcaklık derecesi 85 °C, giren şurubun konsentrasyonu % 65, giren şurubun ağırlığı 5000 kg/saat, çekirdeklenme sırasında şurubun konsentrasyonu % 82,.

2. buharlaştırıcı - şurup sıcaklık derecesi 73 °C, çekirdeklenme sırasında şurup konsentrasyonu % 84.

3. buharlaştırıcı - şurup sıcaklık derecesi 60 °C, çekirdeklenme sırasında şurup konsentrasyonu % 86.

4. buharlaştırıcı - şurup sıcaklık derecesi 51 °C, çekirdeklenme sırasında şurup konsentrasyonu % 89.

Her buharlaştırıcıdaki şeker verimini ve son buharlaştırıcıdan çıkan ana şurubun konsentrasyonunu hesaplayınız?

6.3. Kristal Gelişim Hızı

Gerek spontan olarak gerekse çekirdekleme ile bir kez çekirdeklenme meydana geldikten sonra kristaller gelişime devam ederler. Çekir-

deklenme hızı ve kristal gelişimi hızı üzerinde etkili olan temel faktörler şunlardır:

- sıcaklık derecesi
- aşırı doygunluğun düzeyi
- katı madde ile çözücü arasındaki temas yüzeyi çekim kuvveti.

Sıcaklık derecesi artırılınca çekirdeklenme hızı bir maksimuma yükselir ve sonra sıcaklık artırılrsa dahi çekirdeklenme hızı azalır. Çekirdeklenme için gerek duyulan optimum sıcaklık derecesi genellikle maksimum gelişmenin olduğu sıcaklık derecesinin altındadır. Aşırı doygunluğu düzeyi arttıkça çekirdeklenme hızı artar. Aynı şekilde katı madde ile çözücü arasındaki temas yüzeyi arttıkça çekirdeklenme hızı yine artar. Çekirdeklenme hızı karıştırma yapılarak ta artırılabilir. Örneğin keklerin dekorasyonu için fondan hazırlanmasında çözelti süratle soğutulur ve şiddetli bir şekilde karıştırılır. Böylece çabuk bir çekirdeklenme sağlanır ve çok miktarda küçük kristaller elde olunur ve sonuçta düz bir yapı ve mat görünüm veren fondan elde olunur.

Kristal gelişim hızı aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir.

$$dW/dt = K_d A(c - C_i)$$

$$dW/dt = K_s A(c_i - c_s)$$

Burada,

$dW = dV \rho$ süresinde kristallerin ağırlık artışı

A = Kristallerin toplam yüzey alanı

c = Çözeltideki çözünen katı madde konsantrasyonu

C_i = Kristal-çözelti çakışma yüzeyindeki çözünen katı madde konsantrasyonu

c_s = Doymuş çözeltinin konsantrasyonu

K_d = Çakışma yüzeyine olan kütle iletim katsayısı

K_s = Yüzey reaksiyonu için hız katsayısı

Pratikte bu eşitliklerin uygulanması kolay değildir. Çünkü bu eşitliklerdeki bazı değerlerin tayini mümkün değildir. Bu nedenle bu iki eşitlik birleştirilip aşağıdaki eşitlik elde olunabilir.

$$dW/dt = K A(c - c_s)$$

burada $1/K = 1/K_d + 1/K_s$ dir.

veya $dL/dt = K(c - c_s)/\rho_s$ dir. Çünkü

$d W = A_{p_s} d L$ dir.

$d L / d t =$ Kristal kenarının gelişme hızıdır ve $p_s =$ Kristalin yoğunluğudur.

Çözelti içerisinde bulunan yabancı maddeler kristal gelişimini yavaşlatır ve eğer bu yabancı maddelerin miktarı fazla ise kristal gelişimi olmaz.

6.4. Kristalizasyon Aletleri

Kristalleştiriciler iki tipe ayrılabilir. Bunlar kristalizatör ve buharlaştırıcılar diye isimlendirilebilirler. Kristalizatör basit bir açık tank veya tekne olabilir ve çözelti bunun içerisinde çevreye ısını vererek üzere soğutulur. Bunda çözeltinin soğuması yavaş olduğundan genellikle büyük kristaller oluşur. Soğutmayı hızlandırmak üzere karıştırma yapılabilir veya sistem içerisine soğutma helezonları veya soğutma ceketleri dahil edilir ve bu kristalizatörlerin sürekli bir şekilde çalışmaları da sağlanabilir. En basit kristalizatör spiral şeklindeki kazıyıcı bulunan açık bir yatay teknedir. Teknenin etrafında soğutma suyunun geçirildiği bir sût ceketidir ve bu suretle sıcaklık derecesinin kontrol altında bulundurulması mümkün olur.

Gıda endüstrisinde çok kullanılan bir kristalizatör daha önce görülen kazıyıcı-yüzey ısı değiştiricisidir. Bunlar margarinlere ve yemeklik katı yağlara yumuşak bir yapı verilmesinde ve dondurma üretiminde kullanılır.

Buharlaştırıcı kristalizatörler en fazla şeker endüstrisinde ve tuz endüstrisinde kullanılırlar. Bunlar genellikle ısıtıcı gömlekli tipte ve bir veya çok etkili şekilde olurlar. Bu endüstrilerde vakumlu buharlaştırıcılar da çok kullanılırlar. Vakum düzeyinin ayarlanması ile kristal büyüklüğü kontrol altında tutulabilir. Şeker çözeltisi önce buharlaştırıcıda konsantre edilir ve çekirdeklenme başlayınca vakum artırılır. Bu vakum artışı kalan suyun çok çabuk buharlaşmasını sağlar ve bunun sonucu olarak çözelti soğur ve kristalleşme artar. Sonra buharlaştırıcıya taze doymuş çözelti ilave edilir ve istenen büyüklükte kristaller elde edilinceye kadar buharlaştırmaya devam edilir. Bazı durumlarda çift ceketli ve buharla ısıtılan açık kazanlar halen kullanılmaktadır ve buna örnekte balık endüstrisi için kaba tuzun böylece elde edilmesidir. Bazı ülkelerde deniz suyundan tuz üretiminde kristalizasyon güneş enerjisi ile sağlanmaktadır ve sonuçta elde olunan tuz kristalleri büyük olmaktadır.

7. DAMITMA

Damıtma, bir karışımdaki bileşkenleri bazı bileşkenlerin diğerlerinden daha kolay buharlaşması özelliğinden yararlanarak ayırma işlemidir. Bir karışımdan buhar meydana getirildiğinde buhar asıl karışımdaki bileşkenleri içerir fakat bu bileşken maddelerin buhardaki miktarları maddelerin nisbi uçuculukları tarafından tayin edilen oranlardadır. Buhar uçucu maddeler yönünden daha zengindir ve böylece ayırma oluşur. Fraksiyone damıtmada buhar yoğunlaştırılıp tekrar buharlaştırılır ve daha ileri derecede bir ayırma sağlanır. Bu yolla kimyaca saf maddelerin hazırlanması zordur ve hatta bazan imkansızdır ve eğer maddelerin uçuculukları birbirinden yeterli derecede farklı ise ancak ayrılmanın düzeyi kolaylıkla artırılabilir. Yüksek derecede saflık gerektiğinde birbirini takip eden daha fazla sayıda damıtmalar uygulanmalıdır. Gıda endstresinde damıtmanın kullanıldığı başlıca alanlar uçucu yağların ve aroma maddelerinin konsantre edilmesi, damıtık iki üretimi ve sıvı ve katı yağların arzu edilmeyen kokulardan arındırılmasıdır.

Damıtmada denge ilişkileri karışımdaki maddelerin nisbi buhar basınçları tarafından tayin edilir ve bu da bu maddelerin uuculuklarında birbirlerine göre olan farklılıkları ifade eder. Maddelerin arasında dağıldığı iki akım, sıvı ve bundan meydana gelen buhardır.

Konunun anlaşılmasını kolaylaştırmak amacıyla yalnızca iki maddeden oluşmuş karışımların damıtılması ele alınacaktır. Aslında damıtma çok sayıda madde içeren karışımlarda da uygulanır ve bu Şartlarda da aynı prensipler geçerlidir. Denge dağılımına ulaşılabilen temas kademelerinin bulunduğu bir damıtma kolonunda, etkili bir yoğunlaştırma ve yeniden buharlaştırma sağlanabilir. Buhar-sıvı denge bağıntıları Henry yasaının kapsamına girer. Bu yasa buhardaki bir maddenin kısmi basıncını, bu maddenin sıvıdaki konsantrasyonu üzerinden aşağıdaki eşitlikle verir.

$$P_A = H_A \cdot x_A$$

Henry yasasındaki H_A katsayısı belli koşullar altında kimyaca saf bir maddenin sistem sıcaklık derecesindeki buhar basıncına eşittir.

$$P_A = P_A^* \cdot x_A$$

P_A^* = Buhardaki A maddesinin kısmi basıncı

P_A^* = Saf A maddesinin karışımda aynı sıcaklık derecesinde olduğundaki buhar basıncı

x_A = Sıvıdaki A maddesinin mol fraksiyonudur.

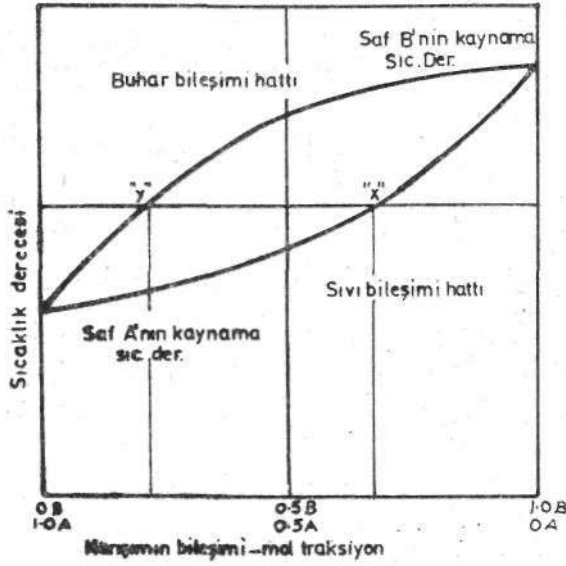
$P_A = P_A^* \cdot x_A$ eşitliği Henry yasasının özel bir şekli olmakla birlikte Raoult yasası olarak bilinir.

Bu yasa kimyasal olarak birbirlerine çok benzer olan benzen ve toluen gibi bazı karışımlar için geçerlidir. Bunlar ideal çözeltiler olarak bilinir. Gıda endüstrisinde bahse konu olan karışımlar ise nadiren benzer kimyasal yapıdaki maddeleri içerirler. Raoult yasası maddelerin mol fraksiyonları 1 'e yaklaştıkça doğruluk kazanmaktadır ve bu durum karışımın yalnızca saf madde içermeye yönelik olduğu zaman söz konusudur. Diğer taraftan Henry yasası tüm maddeler için bunların konsantrasyonları 0 'a yaklaştıkça doğru olmaya yönelir. Genellikle; Raoult yasasının çözücüler için ve Henry yasasının da eriyik durumundaki maddeler için geçerli olduğu düşünülür. Bundan dolayı, Henry yasası çok az miktarda çözünebilen gazların çözünürlüğüne büyük ölçüde uygulanabilir.

Maddelerin ideallikten sapmaları durumlarında buhar-sıvı dengelerine ilişkin bilgiler deneysel olarak elde edilmelidir veya bu konuda hazırlanmış olan uluslararası çizelge kaynaklarından sağlanmalıdır.

İki maddenin buhar-sıvı karışımlarının denge eğrileri, kaynama sıcaklık derecesi/konsantrasyon eğrileri veya buhar-sıvı konsantrasyon dağılım eğrileri olmak üzere iki şekilde çizilebilir. Her iki şekil de birbirinden ayrıdır ve ekstraksiyonda kullanılan denge eğrileri ile çok benzer olan konsantrasyon dağılım eğrileri, kaynama noktası/konsantrasyon eğrilerinden kolaylıkla elde olunabilir. Aşağıda bir kaynama noktası/konsantrasyon diyagramı görülmektedir.

Diyagramda birisi sıvı konsantrasyonları ve diğeri buhar konsantrasyonlarını veren iki eğri bulunmaktadır. İki eğrisinin sıcaklık derecesi sınırları içerisinde diyagram boyunca bir hat çizilirse bu doğru eğrileri iki noktada keser. Yatay doğru özel bir kaynama sıcaklık derecesine tekabül eder ve aşağıdaki eğriyi kestiği nokta bu sıcaklık derecesinin



Şekil 16 Kaynama Noktası / Konsentrasyon Diyagramı.

de kaynayan sıvının konsentrasyonunu ve yukarıdaki eğriyi kestiği nokta ise bu sıcaklık derecesinde yoğunlaşan buharın konsentrasyonunu verir. Gerçekten bunlar konsentrasyon dağılım eğrileri üzerindeki karşıt iki değeri vermektedir ki sıvı hattı üzerindeki nokta (x) noktasına ve buhar hattı üzerindeki nokta (y) noktasına tekabül eder. Diyagramdan görüldüğü üzere y (mol. fraksiyon) değeri karışımdaki daha uçucu olan maddece x değerinden daha zengindir ve damıtma ile ayırmada esası oluşturur. Kaynama sıcaklık derecesi/konsentrasyon diyagramı üzerinde bir seri sabit sıcaklık derecesi hatları çizilerek bir seri (x, y) değerleri elde olunur ve bunlar bir konsentrasyon dağılım eğrisi üzerine yerleştirilebilir. Bazı karışımların farklı kaynama noktası diyagramlarına sahip olduğu da saptanmıştır. Sıcaklık derecesi arttırıldığında bu karışımların buhar ve sıvı bileşim hatları birleşir. Yani bu sıcaklık derecesinde sıvı, kendisiyle aynı bileşimde olan buhar vermek suretiyle kaynar. Böyle karışımlar azeotropik karışımlardır ve damıtma ile ayırmanın azami sınırını teşkil ederler. Çünkü bir damıtma kolonunda konsentrasyon azeotropik karışımın ötesine geçemez.

İspirto ve damıtık içki endüstrisinde büyük önemi olan etil alkol-su karışımı % 89.5 mol (ağırlıkça % 95,6) etil alkol ve %10.5 mol (ağırlık-

ça % 4,4) su içerdiğinde, minimum kaynama noktası-azeotrop karışımı teşkil eder ve 78,15 C° de kaynar. Saf etil alkolün kaynama noktası 78,4 C° dir ve minimum kaynama noktası bu derecenin yalnızca biraz altındadır. Seyreltik etil alkol su karışımı ile çalışan bir damıtma kolonunda akımların sınır konsantrasyonları, bir tarafta sıvı akımında % 100 su ve diğer tarafta buhar akımında % 89,5 etil alkol ve % 10,5 sudur.

Bir damıtma kolonu birçok bölmenin biraraya gelmesiyle oluşur. Bu bölmelerde sıvı kaynar ve bir bölmede oluşan buharlar üst bölmeye geçerek yoğunlaşır ve oradaki konsantrasyonu yükseltir ve sonra kaynayıp daha zenginleşmiş olarak bir üst bölmeye geçer. Yukarıdan aşağı doğru ise damıtılacak olan sıvı akımı cereyan eder. Her bölmede sıvı akımı ve buhar akımı arasında denge durumuna erişilir. Kütle dengeleri tüm kolon için yazılabilir. Kolonun belli bir kısmı için kütle dengesini yazmak gerektiğinde ise diğer temas-denge işlemlerinde uygulanan yöntemler kullanılır.

Problem: Alkol-su karışımını zenginleştirmede kullanılan bir bölme sürekli bir damıtma kolonunda mayşe % 12 alkol içermektedir ve kolona verilen mayşenin % 25'i ürün (buhar akımı) olarak alınmaktadır. 95,5 C° kaynama sıcaklık derecesinde sıvıdaki % 1,9 mol alkol buharındaki % 17 mol alkol ile denge durumundadır. Kolondan alınan üründeki alkol konsantrasyonunu (%) olarak bulunuz ?

7.1. Buharlı Damıtma

Gıda endüstrisinde damıtma bazı durumlarda iyi bir ayırma yöntemi olarak görülmektedir. Fakat damıtma sıcaklık derecelerinin bazı maddelerde parçalanma yani ayrışmaya neden olmasından ötürü böyle durumlarda direk olarak uygulanamamaktadır. Bunun için bazı uçucu maddelerin, uçucu olmayan maddelerden ayrılması gerektiğinde sakınca yaratmayan sıcaklık derecelerinde buharlı damıtma uygulanabilir.

Bir sıvının kendisinin toplam buhar basıncının, sistemdeki dış basınca eşit olduğu zaman kaynadığına daha önce değinilmişti. Bundan dolayı sistemdeki basınç azaltılarak kaynama sıcaklık derecesi düşürülebilir. Örneğin vakum altında kaynatarak veya buhar basıncını artırmak üzere etkimesiz buhar ilave edilerek sıvı daha düşük sıcaklık derecesinde olmak üzere kaynamaya bırakılır. Buhar ilave edildiğinde eğer istenen ürün destilat ise buhar bu destilattan kolaylıkla uzaklaştırılabilir ve ayrıca buhar ürün olarak alınmak istenen bileşken maddelerin

hiçbiriyle reaksiyona girmemelidir. İlave edilen buhar genellikle su buharıdır ve bu durumda işleme su buharlı damıtma denilir.

Eğer verilen buharın buhar basıncı p_s , toplam basınç P ise karışım uçucu maddenin buhar basıncı $(P-p_s)$ basıncına ulaştığında kaynayacaktır. Damıtılmakta olan uçucu madde ve buharın, karışımdan meydana gelen buhardaki dağılımı hesaplanabilir. Buharın molekül sayılarının, uçucu maddenin molekül sayılarına oranı bunların kısmi basınçlarının oranına eşit olacaktır.

$P_A/P_s = (p-p_s)/P_s = (w_A/M_A)/(w_s/M_s)$ dir ve ağırlık oranları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$w_A/w_s = (P-p_s)/p_s \cdot (M_A/M_s)$$

p_A = Uçucu bileşkenin kısmi basıncı

p_s = Buharın kısmi basıncı

P = Sistemdeki toplam basınç

w_A = Buhardaki A bileşkeninin ağırlığı

w_s = Buhardaki, karışıma ilave edilen buharın ağırlığı

M_A = Uçucu bileşkenin molekül ağırlığı

M_s = Verilen buharın molekül ağırlığı

Damıtılmakta olan uçucu maddenin molekül ağırlığı çoğunlukla buharın molekül ağırlığından çok fazladır ve bu nedenle de buharda bu uçucu bileşik oldukça fazla miktarlarda bulunabilir. Buharla damıtma işlemi gıda endüstrisinde bazı uçucu yağların hazırlanmasında ve örneğin yenilebilir katı ve sıvı yağlardan arzu edilmeyen bazı kokuların ve aroma maddelerinin uzaklaştırılmasında kullanılır.

7.2. Vakumlu Damıtma

Damıtma kolonundaki toplam basıncın düşürülmesi suretiyle damıtmanın daha düşük sıcaklık derecelerinde yapılması mümkün olur. Uçucu maddenin buhar basıncı sistem basıncına erişince damıtma başlar. Vakumlu damıtma buharlı damıtmanın yerini almaya başlamıştır. Bazı durumlarda vakum-buhar damıtması olarak birleştirilmiş iki yöntem kombinasyonu kullanılır.

7.3. Basit Damıtma

Basit damıtma, ham sıvı karışımının bir basit damıtma aygıtına alınıp bir süre için burada kaynatılmasına ve elde olunan buharın so-

ğutularak yoğunlaştırılıp ayrılmasına denir. Bu şekilde damıtmada damıtma süresinin sonunda kazanda kalan sıvı atık olarak akıtılır. Damıtma bazan kaynama sıcaklık derecesi önceden belirlenen bir dereceye ulaşınca dek sürdürülür. Bazan da iki veya daha fazla fraksiyonun ayrılması gerekiyorsa azalan uçuculuklara bağlı olarak fraksiyonlar farklı sürelerde alınır. Basit damıtma sırasında hem sıvıdaki hem de buhardaki konsantrasyon devamlı değişir.

Kazandaki materyalin moleküllerinin sayısına (L,) uçucu maddenin konsantrasyonuna (x) diyelim. Uçucu maddeden (y) bölümünü içeren d L miktarının buharlaştığını farzedelim. (A) maddesi üzerinde materyal dengesini yazarsak bu durumda uçucu madde,

$$y \, dL = d(Lx) = L \, dx + x \, dL,$$

yani $dL/L = dx/(y - x)$ ve

bu eşitlikte x_0 konsantrasyondaki materyalin L_0 mol sayısından, x konsantrasyondaki L mol sayısına kadar integral alınabilir. Bu integralin değerlendirilmesi için x ve y arasındaki bağıntı yani denge koşulları bilinmelidir. Eğer denge bağıntısı düz bir doğru ise $y = mx + c$ olur ve integral

$$\log_e L/L_0 = \frac{1}{m-1} \log_e \frac{(m-1)x + c}{(m-1)x_0 + c}$$

$$\text{veya } L/L_0 = \left[\frac{y-x}{y_0-x_0} \right]^{1/(m-1)}$$

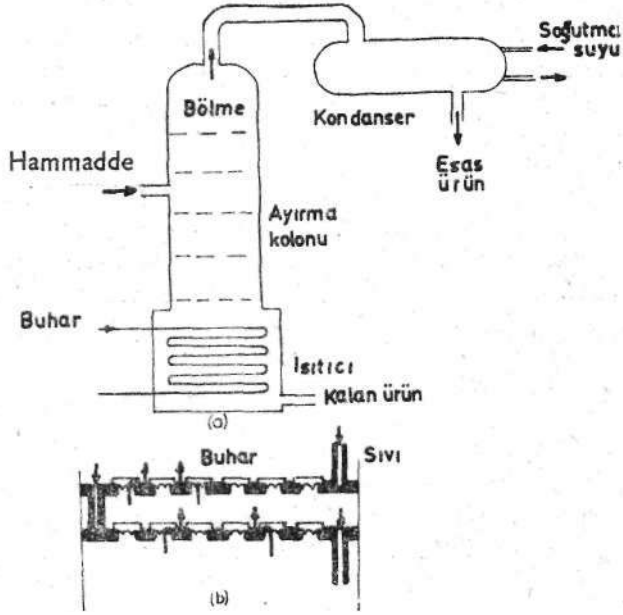
şekline dönüştürülebilir. Genellikle denge bağıntısı düz bir doğru şeklinde değildir ve integrasyon grafiksel olarak yapılmalıdır. Grafik (x) in $1/(y-x)$ e karşı yerleştirilmesiyle elde olunur ve x_0 ve x değerleri arasındaki eğrinin altında kalan alan ölçülür.

7.4. Damıtma Aleti

Sürekli ayırma işlemi için kullanılan yaygın bir damıtma aleti üç ana kısımdan oluşur. Bunlar:

- Kaynatıcı kısım
- 'Kolon
- Yoğunlaştırıcıdır.

Aşağıda tipik bir kolon şematik olarak görülmektedir.



Şekil 17 Damıtma Kolonu a) Toplu Durumda b) Bölmeler

Kolondaki her bölme bir temas kademesini teşkil eder. Kolon bölmelerinde tam dengeye ulaşılması gerekli değildir ancak tam dengeye yaklaşılabilir. Ayrılması istenen maddenin istenilen düzeyde ayrılmasını sağlayacak sayıda bölme kullanılmalıdır.

Buharla damıtmada su buharı sıvı içerisine kabarcıklar halinde verilir ve uçucu maddeyi içeren damıtma buharı soğutucuya geçer. Bazı durumlarda su buharı ve yoğunlaşmış olan uçucu madde birbirinde erimez ve bu durumda bunların yoğunlaştırıcıda birbirinden ayrılması kolaydır.

8. MEKANİK AYIRMA İŞLEMLERİ

Mekanik ayırma işlemleri dört gruba ayrılır. Bunlar;

- Sedimentasyon
- Santrfüj ile ayırma
- Filtrasyon
- Elemedir.

Sedimentasyon veya çöktürmede birbirinde erimeyen iki sıvı veya bir sıvı ve bu sıvının içerisinde erimeyen katı yerçekiminin etkisiyle denge durumuna kadar bırakılıp ayrılırlar. Bu sırada daha ağır olan madde hafif olana göre aşağıya çöker. Bu işlem yavaş cereyan eden bir ayırma işlemidir ve çökme hızını artırmak üzere genellikle santrfüj kuvvet uygulanır. Santrfüj kuvvet uygulanarak yapılan ayırma işlemine santrfüj ile ayırma denir. Filtrasyon veya süzme işlemi katıların sıvılardan ayrılmasıdır ve sıvının katı maddeleri tutacak ancak sıvının geçmesini sağlayacak büyüklükte deliklere sahip bir filtreden geçirilmesiyle yapılır. Katı maddelerin sınıflandırılması veya gruplara ayrılması ise genellikle eleme işlemi ile yapılır. Bu amaçla büyüklüklerine göre ayrılacak istenen katı parçacıklar uygun elekler üzerinde sarsılabilir. Elekler parçacıkların bir kısmını alıkoymak ve diğer kısımları alta geçirir. Katı parçacıklar seri halindeki elek veya kalburların kullanılması suretiyle büyüklüklerine göre sınıflandırılabilirler. Katı parçacıkların ayrılmasında diğer bir yöntem de bunların hareket halindeki bir akıcı içerisinde asılı olarak tutulup santrfüj ve yer çekimi kuvvetlerinin uygulanmasıyla büyüklüklerine göre ayrılmasıdır.

8.1. Bir Akışkan İçerisinde Hareket Eden Parçacıkların Düşme Hızı

Herhangi bir akışkan içerisinde düşen parçacıklar sabit bir kuvvetin etkisiyle örneğin yerçekimi kuvvetinin etkisiyle önce belli bir süre için hız kazanırlar ve daha sonra ise sabit bir hızla düşerler. Bu maksimum

düşme hızına son hız denir. Son hız parçacıkların büyüklüğüne, yoğunluğuna, şekline ve akışkanın özelliklerine bağlıdır. Bir parçacık akışkan içerisinde sabit bir hızla düşerken parçacık üzerinde iki ana kuvvet etkilidir. Bu kuvvetlerden biri harekete neden olan dış kuvvet örneğin yerçekimi kuvvetidir ve diğeri akışkanın sürtünmesinden doğan ve direnç oluşturan kuvvettir. Hareket halinde bulunan parçacık üzerindeki net dış kuvvet; uygulanan kuvvetten, kendisi de uygulanan kuvvetin etkisi altında bulunan çevre sıvısının parçacık üzerinde yarattığı reaksiyon kuvvetinin çıkarılmasıyla bulunan değere eşittir. Buna göre aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$F_s = V_a (p_p - p_f)$$

Bu eşitlikte,

$$F_s = \text{Parçacık üzerindeki hızlandırıcı net dış kuvvet}$$

$$V = \text{Parçacığın hacmi}$$

$$a = \text{Dış kuvvetin yarattığı hız örneğin ivme}$$

$$p_p = \text{Parçacığın yoğunluğu}$$

$$p_f = \text{Çevre sıvısının yoğunluğu dur.}$$

Parçacık üzerindeki sürtünme karşı kuvveti akan sıvının hız basıncı ile parçacık alanının çarpılması suretiyle elde olunur.

$$F_d = C p_f v^2 A/2$$

Bu eşitlikte,

$$F_d = \text{Parçacık üzerindeki sürtünme karşı kuvveti}$$

$$C = \text{Sürtünme katsayısı}$$

$$p_f = \text{Sıvının yoğunluğu}$$

$$v = \text{parçacığın hızı}$$

$$A = \text{Hareket yönüne dik açıdan parçacığın alanı}$$

Yukarıda belirtilen kuvvetlerin küre şeklindeki bir parçacığı etkilediğini düşünürsek $V = \pi D^3/6$ ve $A = \pi D^2/4$ dür. Bu değerleri yerine koyup (v) hızının (v_m) son hızına eriştiği durumda F_s ve F_d 'yi birbirine eşitlersek $(\pi D^3/6) \times a (p_p - p_f) = C p_f v_m^2 \pi D^2/8$ eşitliğini elde ederiz.

Teorik olarak, kürelerin düz bir akış halinde hareketinde sürtünme katsayısının aşağıdaki eşitlikle elde olunabileceği bulunmuştur.

$$C = 24/(Re) = 24(A/D v_m p_f)$$

Yukarıdaki eşitliğe C değerinin bu karşısını yerine koyup (v_m) son hız değeri için aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$$v_m = D \sqrt{2 a (p_p - p_f)/18}$$

Bu eşitlik sıvılar içerisinde parçacıkların hareketi için temel eşitliktir ve Stokes yasası denir.

8.2. Sedimentasyon

Sedimentasyon işleminde sıvı akımlarından ayrılması gereken parçacıkları ayırmak için yerçekimi veya santrifüj kuvvet kullanılır. Parçacıklar genellikle katıdır fakat küçük sıvı damlacıkları da olabilir. Akışkan ise sıvı veya gaz olabilir. Sedimentasyon gıda endüstrisinde işlenmek üzere gelen hammaddeden kir ve döküntülerin ayrılmasında, ana şuruplardan kristallerin ayrılmasında ve hava akımlarından tozların veya ürün parçacıklarının ayrılmasında kullanılır.

Sedimentasyonda parçacıklar yerçekimi kuvvetinin etkisi altında düşerler. Bu nedenle sedimentasyonda yukarıda bildirilen Stokes yasası aşağıdaki benzer şekilde olmak üzere geçerlidir.

$$v_m = D^2 g (\rho_p - \rho_f) / 18$$

Bu eşitlik boyutsuz bir eşitlik değildir ve bu nedenle uygulanması sırasında uygun birimler kullanılmalıdır. Örneğin SI sisteminde D değeri için (m), g için (m/san²), ρ için (kg/m³), ρ_f için (N san./m²) alınmalıdır ve sonuçta v_m değeri (m/san.) olarak bulunur.

Stokes yasası küre şeklindeki parçacıklar için ve yalnızca düz akımda yani (Re) sayısının 2 veya 2'nin altında olduğu durumlarda geçerlidir ve birçok pratik durumda akış hali düz veya düze çok yakın özelliktedir.

Problem: 21 °C ve 100 k P a basınçtaki hava içerisinde 60 mikron ve 10 mikron çapındaki parçacıkların düşme (çökme) hızını hesaplayınız?

Parçacıklar küre şeklindedir ve yoğunlukları 1280 kg/m³ tür. $g = 9.81$ m/san² dir. Havanın viskozitesi 1.8×10^{-5} Nsan/m² dir ve $\rho_f = 1.2$ kg/m³ tür.

Stokes yasası yalnızca çökmenin serbest olduğu durumlarda yani bir parçacığın hareketinin diğer parçacıklar tarafından etkilenmediği durumlarda geçerlidir. Parçacıkların yoğun şekilde bulunduğu süspanسیونlarda parçacıklar aşağı doğru hareket ederken akışkanın yukarı doğru hareketi söz konusudur ve böylece parçacıklar birbirlerine karışır ve birbirlerinin hareketlerini etkiler. Stokes yasası hızları parçacık çaplarının karesiyle orantılı olarak tayin eder. Konsantre süspanسیونlarda yeterli yüksek konsantrasyona erişildiğinde bütün parçacıkların aynı hızla çöktükleri bulunmuştur. Parçacık büyüklüklerinin 10: 1 den

fazla farklı düzeyde olmadığı durumlarda bütün parçacıklar aynı hızla çökmeye meyledir. Bu hız değeri en büyük parçacık ve en küçük parçacık için Stokes yasasından bulunan iki değerin arasında bir değerdir. Stokes yasasının uygulanamadığı pratik durumlarda çökme hızlarının bulunması için tatmin edici tek yöntem muhtemelen deneysel saptamalardır.

8.2.1. Sıvı İçerisinde Sedimentasyon

Katı maddeler, yoğunlukları kendi yoğunluklarından az olan sıvılar içerisinde çökler. Düşük konsantrasyonlarda Stokes yasası uygulanabilir fakat birçok pratik durumda konsantrasyonlar genellikle çok yüksektir.

Homojen bir süspanسیون bir silindir içerisinde çökmeye bırakıldığında çökme ilerledikçe gayet iyi gözlenebilen değişik bölgeler oluşur. Üstte duru bir sıvı kısmı görülür. Bu duru sıvı kısmının altında daha önce belirtildiği üzere değişik büyüklükteki tüm parçacıklar yeknesak bir çökme gösterdiklerinden oldukça sabit bileşimde olan bir bölge görülür. Silindirin dip kısmında ise bir çökelti bölgesi görülür. Eğer süspanسیونdaki parçacıkların büyüklükleri çok fazla farklı ise ortadaki sabit bileşimli bölge meydana gelmeyecektir ve bunun yerini değişken bileşimli bir bölge alacaktır.

Berraklaştırılmış sıvının üstten alınıp, berraklaştırılacak sıvının üstten verilip çökeltinin alttan alındığı sürekli çalışan bir koyulaştırıcıda yukarıda belirtilen aynı özellikte bölgeler oluşur. Sürekli bir koyulaştırıcı için gereken minimum alan belirli bir bölgedeki sedimentasyon hızının, yükselen akışkanın tersakım hızına eşitlenmesi ile hesaplanabilir.

Bu durumda,

$$v_u = (F - L)(dW/d0)/Ap$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte,

$$v_u = \text{Sıvı akımının yukarı doğru hızı}$$

$$F = \text{Materyal olan karışımdaki sıvı kütlesinin katı kütlesine oram}$$

$$L = \text{Alt akıntıdaki sıvı kütlesinin katı kütlesine oram}$$

$$dw/d0 = \text{Katı beslemenin kütle akış miktarı}$$

$$p = \text{Sıvının yoğunluğu}$$

$$A = \text{Tankın çökeltme alanıdır.}$$

Şayet parçacıkların çökme hızı (v) ise, $v_u = v$ dir ve bu nedenle

$$A = (F - L)(d w/d 0)/v p \text{ dur.}$$

Yukarıda katı parçacıklar için belirtilen bilgiler ve aynı analizler sıvı damlacıkları, parçacıkları için de geçerlidir. Sıvı damlacıkları ve sıvı arasındaki hareket birbirleri ile bağımlıdır ve bazı damlacıklar yukarı doğru yükselebilir.

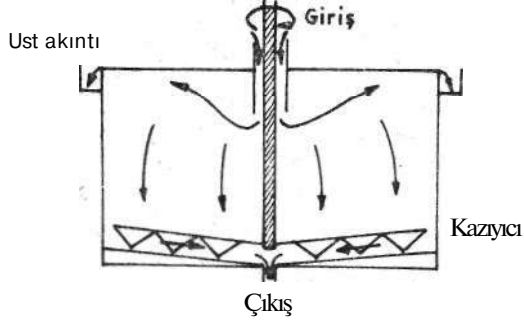
Problem: Sıvı yağ için su ile yıkama tesisini takiben bir sürekli ayırma tankı yapılması gerekiyor. Eğer yıkayıcıdan çıkan yağ $5,1 \times 10^{-5}$ m çapındaki küresel parçacıklar halinde ise, besleme konsantrasyonu 1 kg yağ karşılık 4 kg su ise ve ayrılan su yağ içermiyorsa ayırma tankı için gerekli alanı hesaplayınız? Besleme hızı 1000 kg/saattir. Yağın yoğunluğu 894 kg/m^3 tür. Yağ ve suyun sıcaklık derecesi 38 C dir. Suyun viskozitesi $0,7 \times 10^{-3} \text{ N san./m}^2$ dir. Suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 tür. Stokes yasasını kabul ediniz ve kullanınız.

Bazı durumlarda çok ince parçacıkların çöktürülerek ayrılması pratik değildir. Bu durumda hava kabarcıkları kullanarak parçacıklar sıvı yüzeyinde toplanır. Bu işleme yüzdürme denilir. Bu teknik, hava ve suyun parçacık yüzeylerine yapışma eğiliminden kaynaklanır. Sıvı içerisinde yukarı doğru hareket eden hava kabarcıkları parçacıkları yukarı taşıyacak kaldırma gücüne sahip olana dek parçacık yüzeyinde bulunan suyun yerini almalıdır. Yüzdürme uygulaması gıda endüstrisinde en fazla sudan, küçük yağ parçacıklarının ayrılmasında kullanılır.

Sıvılardan katı maddelerin sedimentasyon ile ayrılmasında kullanılan aletler çökmenin olması için yeterli süreye imkan verecek şekilde ve üst akıntının uzaklaşmasını çöktelinin ayrılmayı bozmadan alınmasını sağlayacak şekilde yapılır. Aletten sürekli akış olması tercih edilir. Bu durumda akış hızı çöktelinin dağılmasına meydan vermeyecek derecede yavaş olmalıdır. Bu amaçla çeşitli şekillerdeki tekneler kullanılır. Bunlarda akış hızını ayarlayan, çöktürülmüş katıları yavaş bir hızla kazıyıp taşıyan kısımlar ve pompalar bulunur. Dik ve silindirik tanklar kullanıldığında, kazıyıcılar genellikle tankın merkezindeki bir eksen etrafında döner ve üstten taşan sıvı tankın üst kenarındaki kanallarla uzaklaştırılır. Aşağıda böyle bir tank şematik olarak gösterilmiştir.

8.2.2. Gaz İçerisinde Sedimentasyon

Gıda endüstrisinde katı maddelerin gaz içerisinde sedimentasyonunun en önemli uygulaması sprey kurutucularda görülür. Sprey kurutucuda kurutulmak istenen materyal önce yaklaşık 100 mikron çapındaki küçük parçacıklara inceltilir ve sonra bu parçacıklar sıcak hava içerisinde aşağıya doğru düşerler ve bu sırada kururlar. Kurutucu için gerekli alan



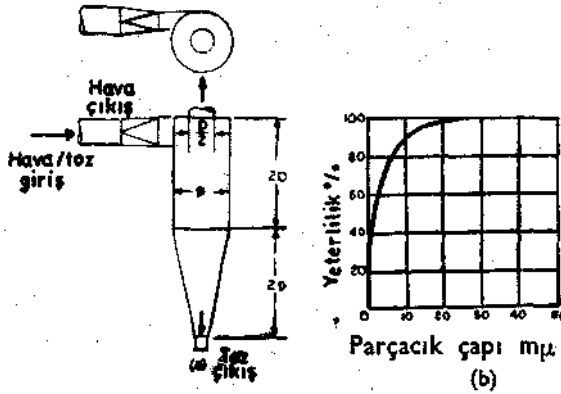
Şekil 18 Sürekli-Çöktürme Sistemi.

sıvı sedimentasyonunda olduğu gibi hesaplanır. Burada yavaş sedimentasyon hızları nedeniyle iki dezavantaj ortaya çıkar. Bu dezavantajların biri büyük alan gereksinimidir ve diğeri de sıcak hava ile uzun süre temas sonucu ısıya duyarlı ürünlerde bozulmalar olabilmesidir.

8.2.3. *Kombine Kuvvetlerle Mekanik Ayırma*

Mekanik ayırma için bazan birden fazla sayıda kuvvetlerin kombine edilerek uygulanması uygundur. Bu durum özellikle çok küçük parçacıkların ayrılmasında geçerlidir ve bu durumda yerçekimi kuvvetine ilaveten santrifüj kuvvetinde uygulanmalıdır. Böylece hareket ettirici dış kuvvet olarak yalnızca yerçekiminin kullanılmasından doğan düşük hızların artırılması yarar sağlar. Bu uygulama en çok siklon ayırıcıda görülür. Siklon ayırıcı en çok hava akımlarından 10 mikron çapında veya daha büyük çaptaki parçacıkları ayırmada kullanılır. Sıvalardan veya gazlardan katı parçacıklarının ayrılmasında ve gazlardan sıvı damlacıklarının ayrılmasında da kullanılır. Siklon dik silindir şeklinde bir çöktürme kısmıdır. Parçacıkları taşıyan hava santrifüj kuvveti oluşturmak üzere spiral şeklinde dönerek silindire girer ve parçacıkları silindirin duvarlarına doğru fırlatır. Yerçekimi ile birlikte santrifüj kuvveti oldukça çabuk çökme sağlar. Aşağıda şematik olarak bir siklon ayırıcı görülmektedir.

Stokes yasası parçacıkların son hızının parçacıklar üzerine etkiyen kuvvet ile bağıntılı olduğunu gösterir. Siklon gibi bir santrifüj seperatörde merkezi eksen etrafında dönen bir parçacık için,



Şekil 19 a) Siklon Ayırıcı b) Tozun Toplanma Yeterliliği.

$$F_c = m v^2 / r \text{ dir.}$$

Burada,

F_c = Parçacık üzerine etkiyen santrifüj kuvvet

m = Parçacığın kütlesi

v = Parçacığın dik, tanjant hızı

r = Siklonun yarıçapıdır.

Bu eşitlik sabit (v) hızında, yarıçap küçüldükçe parçacık üzerine etkiyen kuvvetin arttığını göstermektedir. Buna göre küçük parçacıkların ayrılmasında en etkili siklonlar en küçük yarıçaplı siklonlardır.

Bir siklonun optimum şekli esas olarak tecrübe ile bulunur. Yukarıdaki şekilde gösterilen siklonun ölçülerinin yeterince uygun olduğu saptanmıştır. Etkili bir siklon işlemi büyük ölçüde oluşturulan bir çift ve düz helezoni akıma ve herhangi bir engelin akımda duraklama yaratmamasına veya akımın akış rotasından sapmamasına dayanır. Örneğin siklonun üst kısmında havanın alete dik olarak girmesi önemlidir. Havanın çıkış yerinde kapakçıkların veya çıkıntılıların bulunmasından kaçınılmalıdır. Yukarıdaki şekilde bir siklonda tozun toplanma yeterliliği görülmektedir. Yaklaşık 10 mikron çaptan küçük parçacıklar için giren parçacıkların siklonda kalan % miktarının hızla azaldığı görülmektedir.

Gazlardan parçacıkların ayrılması için diğer bazı mekanik akım ayırıcıları da geliştirilmiştir. Bunlarda plakalar veya çubuklar vasıtasıyla akımın yönü değiştirilir. Akışkan akış yönünü parçacıklardan daha çabuk olmak üzere yeniden aldığı için ayırma işlemi oluşur. Gazlardan

parçacıkların ayrılması için çeşitli çarpma ve çöktürme ayırıcıları geliştirilebilir. Ancak çapları yaklaşık 5 mikrondan küçük parçacıkların ayrılmasında yalnızca bez filitreler sonuç verebilir.

8.3. Santrfüj İle Ayırma

Birbirinde erimeyen sıvıların sedimentasyon ile ayrılması veya bir katı ile sıvının sedimentasyon ile ayrılması bileşkenler üzerindeki yer çekimi etkilerine dayanır. Ancak bazan bu ayırma işlemi, bileşken maddelerin özgül ağırlıkları birbirinden fazla farklı olmadığından ötürü veya örneğin emülsiyonlarda görüldüğü gibi bileşkenleri birleşik durumda tutan kuvvetlerin etkisi nedeniyle çok yavaş olabilir. Ayrıca sedimentasyonun olduğu durumlarda da tabakalar arasında tam bir ayrılma olmayabilir. Örneğin süt kendi halinde bırakıldığında krema yukarı çıkacak ve sonuçta krema yağsız süt arasında gerçek bir ayrılma oluşacaktır. Ancak bu bir gün gibi uzun bir süre alır ve bu nedenle de fabrikasyon işlemleri için uygun değildir. Bu ayırma işleminin hızının artırılması için santrfüj etkisi ile çok daha fazla etkili kuvvetler elde edilebilir. Bu durumda yer çekimi kuvveti halen etkilidir ve net kuvvet siklonunda olduğu gibi santrfüj kuvveti ve yerçekimi kuvvetinin kombinasyonudur. Endüstri tipi birçok santrfüjde etkili santrfüj kuvvetler yerçekimi kuvvetine göre çok yüksektir ve ayırma işlemi hesaplamalarında yerçekimi kuvveti ihmal edilebilir.

Dairesel bir şekilde dönmeye zorlanan bir parçacık üzerindeki santrfüj kuvvet aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$F_c = mr w^2$$

Bu eşitlikte,

F_c = Parçacığı dairessel bir yörüngede tutmak için üzerine etkiyen santrfüj kuvvet

r = Yörünge dairenin yarıçapı

m — Parçacığın kütlesi

w = Parçacığın açısız hızıdır.

$w = v/r$ olduğundan, (v parçacığın dikey hızı idi) aynı zamanda $F_c = (m v^2)/r$ dir.

Dönüş hızları genelde dakikadaki devir sayısı olarak ifade edilir. Bundan dolayı $w = 2 \pi N/60$ olduğundan yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

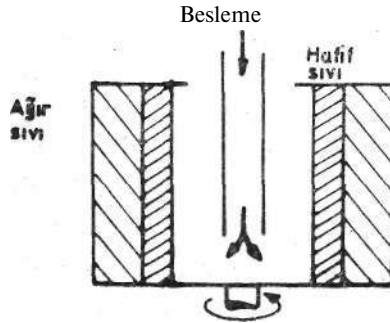
$$F_c = mr (2 \pi N/60)^2 = 0.011 mrN^2$$

N = Dakikada devir olarak dönüş hızı

Santrfüj kuvveti parçacık üzerindeki yerçekimi kuvveti ($F_g = mg$) ile karşılaştırırsak; $0.011 r N^2$ olan santrfüjel hız artış değerinin (g) ye eşit olan ivmenin yerini aldığını görürüz. Santrfüjel kuvvet çoğunlukla (g) değerinin katı olarak ifade edilir.

Problem: Bir sıvıyı maksimum 10 cm yarıçapta, 2000 devir/dakikada döndürebilen bir santrfüjde kaç "g" değeri elde olunabilir.

Santrfüj kuvvet yarıçapa, dönüş hızına ve parçacığın kütlesine bağlıdır. Eğer yarıçap ve dönüş hızı sabit halde tutulursa bu durumda kontrol faktörü parçacığın ağırlığıdır ve parçacık ne kadar ağır ise üzerine etkiyen santrfüj kuvvet o kadar fazla olur. Bundan çıkan sonuca göre eğer biri diğerinin iki katı özgül ağırlığa sahip iki sıvının karışımı bir santrfüjün silindirik kabına konulup dik bir eksen etrafında yüksek hızla döndürülürse beher hacme isabet eden santrfüj kuvvet ağır sıvıda hafif sıvıda olanın iki katı olacaktır. Sonuçta ağır sıvı silindir içerisinde silindirin duvarına yakın kısımda bir halka oluşturacaktır ve hafif sıvıyı merkeze doğru kaydıracaktır. Bu etki santrfüj sıvı ayırıcılarının çalışma prensibidir ve aşağıda şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 20 Santrfüjde Sıvı Ayrılması

8.3.1. Ayırma Hızı

Stokes yasasına göre hızlandırıcı bir kuvvetin etkisi altında düz bir akış özelliğinde olmak üzere hareket eden parçacıkların sabit duruma erişmiş hızı

$$v_m = D^2 a (p_p - p_i) / 18 \quad \text{dur.}$$

Eğer düz akış bir santrfüj içerisinde yer alıyorsa aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$F_c = m a$$

$$\text{Yani } F_c/m = a = r (2 \pi N/60)^2 \text{ ve}$$

$$v_m = D^2 r (2 \pi N/60)^2 (p_p - p_f) / 18$$

$$v_m = D^2 N^2 r (p_p - p_f) / 1640 \text{ dur.}$$

Problem : Santrfüj kullanılarak sudaki bir yağ dispersiyonunun ayrılması gerekiyor. Yağın, $5,1 \times 10^{-5}$ m çapındaki kürecikler şeklinde dağıldığını ve yoğunluğunun 894 kg/m^3 olduğunu kabul ediniz. Eğer santrfüj dakikada 1500 devir yapıyorsa ve ayrılmanın olduğu etkili yarıçap 3.8 cm ise, su içerisinde yağın ayrılma (akış) hızını hesaplayınız?

Suyun yoğunluğunu 1000 kg/m^3 ve viskozitesini $7 \times 10^{-4} \text{ N san./m}^2$ olarak alınız (Bu problemdeki ayrılma, yerçekimi etkisinde çökme hızının hesaplandığı daha önceki örnektekinin aynıdır).

8.3.2. Sıvı Ayırma

Sıvıların birbirinde erimediği ve emülsiyonlarda olduğu gibi çok ince şekilde dağıldığı bir sıvı-sıvı karışımından sıvılardan birinin ayrılması gıda endüstrisinde yaygın olan bir işlemdir. Bu işlem özellikle süt endüstrisinde bir emülsiyon karışım olan süttten kremanın ayrılmasında çok kullanılır. Süt dik bir eksen etrafında dönen bir silindirik kaptan ibaret olan ayırıcı alete sürekli bir şekilde olmak üzere verilir ve krema ve yağsız süt iki ayrı çıkış borusundan alınır. Silindir içerisinde bir noktada krema ve yağsız süt arasında bir ayrılma yüzeyi olduğu kesindir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi kalınlığı (dr) ve yüksekliği (b) olan bir ayırıcı silindiri ele alalım.

(dr) kalınlığı eninde olmak üzere ayırıcı santrfüj kuvvet şu eşitlikle verilir.

$$d F_c = (dm) r w^2$$

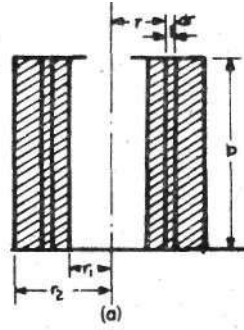
$$d F_c = \text{Silindir duvarı eninde etkiyen ayırıcı kuvvet}$$

$$d m = \text{Ayırıcı silindirin kütlesi (sıvı ile birlikte)}$$

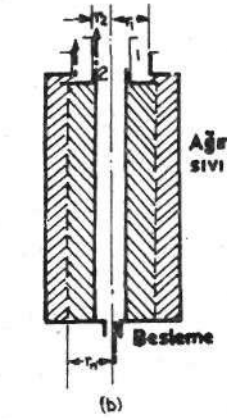
$$w = \text{Silindirin açısal hızı}$$

$$r = \text{Silindirin yarıçapıdır.}$$

Ancak $dm = 2 \pi p r b d r$ dir Burada (p) sıvının yoğunluğu, (b) silindir yüksekliğidir. $d F_c$ kuvvetinin üzerine etki yaptığı alan $2 \pi r b$ dir ve buna göre,



a) Basınç Farkı
b) Nötral Bölge



$$dF_c/2\pi rb = dP = p w^2 r dr \text{ dir.}$$

Bu eşitlikte (d P) ayırıcı silindirin duvarı eninde etkiyen ayırıcı basınçtır.

Bir santrfüjde r_1 ve r_2 yarıçapları arasındaki ayırıcı basıncı bulmak için, r_1 yarıçapındaki basınç P_1 ve r_2 yarıçapındaki basınç P_2 ile gösterilerek d P için olan eşitlikte integrasyon yapılabilir ve böylece aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P_2 = p w^2 (r_2^2 - r_1^2) / 2$$

Bu eşitlik santrfüjde merkezden çevreye doğru olan basınç değişmesini gösterir.

Şimdi yukarıdaki (b) şeklindeki dikey ve sürekli sıvı santrfüjünün silindirim gözönüne alalım. Hammade santrfüje eksene yakın bir yerden

girer, ağır sıvı üstteki 1 no. lu çıkıştan ve hafif sıvı ise 2 no. lu çıkıştan aleti terkeder. Ağır sıvının çıkış borusu için yarıçap r_1 ve hafif sıvının çıkış borusu için yarıçap r_2 olsun. Diğer bir yarıçapın tekabül ettiği bir yerde ağır ve hafif sıvı arasında ayrılma olacaktır ve buna da r_n diyelim. Sistemin hidrostatik dengede bulunması gerekeceğinden r_n yarıçapının tekabül ettiği yerde sıvıların basınçlarının eşit olması gerekir. Böylece yukarıdaki eşitliği uygulayıp r_n yarıçapında herbir bileşken maddenin basınçlarını bulmak ve bunların birbirine eşitlemek gerekir.

$$p_A w^2 (r_n^2 - r_1^2) / 2 - p_B W^2 (r_n^2 - r_2^2) / 2,$$

$$\text{yani } r_n^2 = (p_A r_1^2 - p_B r_2^2) / (p_A - p_B) \text{ dir.}$$

Bu eşitlikte, p_A = ağır sıvının yoğunluğu

p_B = hafif sıvının yoğunluğudur.

Bu eşitlik, ağır sıvı için çıkış yarıçapı küçültülünce nötral bölge yarıçapının da azalması gerektiğini gösterir. Nötral bölge merkezi eksene yakın olunca hafif sıvı, ağır sıvıya nazaran biraz daha küçük santrfüj kuvvet etkisine maruz kalır. Bu durum süttten kremanın ayrılmasında uygulanır. Süttten mümkün olduğu kadar fazla krema ayırmak için nötral yarıçap küçük tutulmalıdır. Bu tip bir santrfüj de hammadde girişi nötral bölgeye mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır, böylece hammadde sistemdeki dağılımı en az düzeyde bozarak alete girer. Bu nedenle, bu bağıntı bir santrfüjde maksimum ayırmayı elde etmek için hammadde girişi ve ürün çıkış yerlerinin seçiminde kullanılabilir.

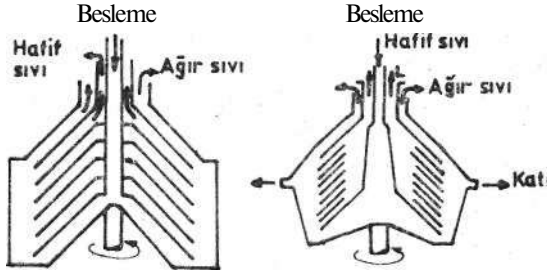
Problem: Bir krema ayırıcısı 5.0 cm ve 7.5 cm çıkış yarıçaplarına sahipse ve yağsız süttün yoğunluğu 1032 kg/m^3 ve kremanın yoğunluğu 865 kg/m^3 ise süttün giriş yerini seçmek için süttün gireceği nötral bölgenin yarıçapını hesaplayınız?

8.3.3. Santrfüj Aletleri

En basit santrfüj aleti önceki şekilde görüldüğü gibi dikey bir eksen etrafında dönen bir silindirden ibarettir. Sıvılar ve katı içeren sıvılar bu silindire verildiğinde santrfüj kuvvetin etkisi altında hafif olan bileşken merkeze doğru ilerlerken daha ağır olan sıvı veya katı parçacıkları silindirin en uzak dış bölgelerine geçerler. Alete giren hammadde yalnızca sıvılardan oluşuyorsa uygun çıkış borularıyla hafif ve ağır bileşkenlerin ayrılarak alınması sağlanır. Bu ayrılmayı etkili bir şekilde ve alet içerisindeki akış yollarını en az düzeyde bozarak sağlamak için çeşitli düzenlemeler takbik edilir ve çıkış boruları değişik

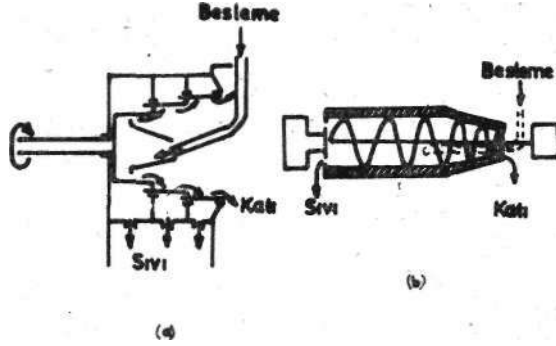
şekillerde yerleştirilebilir. Bu düzenlemelerin etkisini iyi anlayabilmek için santrfüj etkinin sıvıları birbirinden, yerçekimi ile çöktürmeye benzer şekilde ayırdığını düşünmek yararlı olur. Ancak santrfüj kuvvet yerçekiminden çok daha büyüktür.

Sıvı ayırıcı normal santrfüjlerde aşağıda görüldüğü gibi konik plakalar bulunur. Bu plakalar daha iyi bir ayırma sağlarlar.



Şekil 22 Sıvı Santrfüjleri a) Normal Konik b) Memeli Konik

Bir santrfüjden sıvıların alınması kolay olduğu halde katı maddelerin alınması problem yaratır. Katı maddeler santrfüj içerisinde birikerek akım şeklini bozarlar. Bunlar için kullanılan bir yöntem yukarıdaki şekilde b) de görüldüğü gibi santrfüj silindirisinin çevresine çıkış memeleri yerleştirmektir. Bu memeler birikmiş olan katı maddeleri bir miktar ağır sıvı ile birlikte belirli aralıklarla açılıp boşaltır. Diğer bir yol olarak bu memeler büyüklüklerine ve yerlerine bağlı olmak üzere mümkün olduğu kadar az miktardaki ağır sıvı ile birlikte katı maddeleri boşaltmak üzere sürekli olarak açık bulunabilir. Böylece bu aletler verilen hammaddeyi hafif sıvı, ağır sıvı ve bir miktar ağır sıvı içeren katılar olmak üzere 3 kısma ayırır. Katı maddelerin sürekli bir şekilde alınmasında diğer bir yöntem silindir içinde teleskobik hareket uygulamaktır. Bu yöntemde silindir içindeki bölmeler biri diğerinin üzerinde hareket ederek birikmiş olan katı maddeleri dışarı doğru taşır. Teleskobik hareketli bir sıvı/katı santrfüjü aşağıdaki şekilde a) da görülmektedir. Aşağıda şekil b) de görülen yatay silindir tipindeki santrfüjlerle de katı maddelerin sürekli boşaltılması mümkündür. Bu alette yatay bir toplama vidası aletin silindiri içerisinde döner ve sıvı, aletin merkezine yakın bir yerden alınırken katı maddeleri aksi uçtaki katı madde çıkışına taşır.



Şekil 23 Sıvı/Katı Santrfüjleri a) Teleskobik Hareketli b) Yatay ve Vidalı

Bu aletlerdeki önemli husus vidanın dönüş hızının silindir dönüş hızına göre çok fazla farklı olmamasıdır. Örneğin silindir dönüş hızı 2000 devir/dakika ise vida için uygun dönüş hızı silindire göre 25 devir/dakika farklı olmalı yani vida dönüş hızı 2025 devir/dakika veya 1975 devir/dakika olmalıdır. Bu dönüş hızları vidayı ve silindiri döndüren millerdeki dişliler yardımı ile değişmeksizin muhafaza edilir. Bu aletler % 30 oranına kadar katı madde içeren hammaddeleri sürekli bir şekilde ayırabilirler.

8.4. Filtrasyon

Mekanik ayırma işlemlerinin diğer bir grubunu oluşturan filtrasyon veya süzme işleminde, akışkan ince gözeneklerden geçirilir. Akışkan içerisinde süspansiyon halinde bulunan parçacıklar gözeneklerden geçemeyip filtrede alıkonarak filtre keki denilen tortu kısmı oluşturur. Bazı durumlarda alınması istenilen ürün akışkanın kendisi yani filtrattır ve bazan da istenilen ürün filtre kekidir.

Filtrasyon için gerekli olan çok küçük delikler kumaş filtre bezleri ile, metal veya plastik elekler ve kalburlar ile veya katı parçacıkların oluşturduğu yataklar yardımı ile sağlanır. Bazı durumlarda asıl filtrasyona geçmeden önce bez filtre üzerine önceden bir kek tabakası veya ince parçacıklar oturtulur. Bu önceden kaplama işi filtre üzerinde yeterli derecede küçük delikler elde etmek için yapılr ve ön-kaplama olarak bilinir.

Filtrasyonun analizi büyük ölçüde akış sisteminin incelenmesidir. Akışkan; filtreye karşı uygulanan basıncın etkisi ile kendisinin geçmesine

direnç gösteren filtre ortamının içerisinde geçer. Bu etkileri dikkate alarak aşağıdaki eşitliği yazabiliriz.

$$\text{Filtrasyon hızı} = \text{İtici güç/direnç}$$

Direnç; filtre bezi, eleği veya yatağı ile bunlar üzerinde birikerek oluşan filtre kekinden doğar. Filtre kekinin direnci; filtre keki materyalinin özgül direnci yani birim kalınlığının direnci ile kekin kalınlığının çarpılmasıyla bulunur. Filtre materyalinin ve ön-kaplama materyalinin dirençlerinin toplamı filtre direnci olarak adlandırılır. Filtre direncinin, filtre kekinin temsili bir kalınlığı üzerinden ifade edilmesi uygun ve analizleri kolaylaştırıcı olmaktadır. Bu kalınlık filtre kekinin özgül direnci ile çarpılarak filtre direnci bulunur. Buna göre hacımsal akış hızını veren veren eşitlik

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A \Delta P}{R} \text{ dir.}$$

Toplam direnç akışkanın viskozitesi ile orantılı olduğundan,

$$R = \mu r (L_c + L)$$

Bu eşitliklerde,

R = Filtreden akışa karşı direnç

μ = Akışkanın viskozitesi

r = Filtre kekinin özgül direnci

L_c = Filtre kekinin kalınlığı

L = Filtre bezi ve ön-kaplamanın temsili ekivalan akınlığı

A = Filtre alanı

ΔP = Filtre boyunca basınç düşmesi dir.

Eğer sıvının akış hızı ve içerdiği katı maddenin miktarı biliniyorsa ve filtrenin bütün katı maddeleri tuttuğu kabul edilirse filtre kekinin kalınlığı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$L_c = w V/A$$

w = Birim hacim sıvıda bulunan katı madde miktarı

V = Filtreden geçen sıvı hacmi

A = Filtre kekinin olduğu filtre yüzeyinin alanı

Buna göre direnci aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$R = \mu r (w V/A + L)$$

Basınç düşüşünün itici gücü altında filtreden akış için temel eşitliği de aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$dV/dQ = A P / \mu_r (wV/A + L)$$

Bu temel eşitlik filtrasyon hızını ölçülebilen veya çizelgelerden bulunabilen veya bazı durumlarda tahmin edilebilen miktarlar üzerinden ifade eder. Bu eşitlikte büyük kapasiteli filtrelerin verimleri laboratuvar veya pilot düzeyindeki testlerde alınan sonuçlara dayanılarak tesbit edilebilir. Bu temel eşitliğin sabit hızlı filtrasyonda olmak üzere ve sabit basınç altında filtrasyonda olmak üzere iki tip filtrasyondaki uygulanması incelenecektir.

8.4.1. Sabit Hızlı Filtrasyon

Filtrasyon işleminin ilk aşamalarında filtre keki ince olduğundan çoğunlukla filtre direnci, filtre kekinin direncinden büyüktür. Bu durumlarda akışa karşı gösterilen direnç hemen hemen sabittir ve filtrasyon oldukça sabit bir hızla devam eder. Yukarıda verilen temel eşitlikte belirli bir süre içerisinde filtreden geçen sıvının miktarını vermek üzere integral alınabilir. Eşitliğin sağ tarafındaki terimler sabittir ve bu nedenle integrasyon kolaydır:

$$dY/AdQ = V/A_0 = A P / \mu_r \{w V/A + L\} \text{ veya}$$

$$A P = V/A_0 = \mu_r (w V/A + L)$$

Bu eşitlikten herhangi bir istenilen akış hızı için gerekli basınç düşmesi miktarı bulunabilir. Aynı zamanda eğer farklı basınçlar altında bir seri filtrasyon işlemleri yapılırsa, elde olunan sonuçlar filtre kekinin direncini tayinde kullanılabilir.

8.4.2. Sabit Basıncılı Filtrasyon

Birçok filtrasyon işlemlerinde filtre keki meydana gelince, akış sabit basınç altında devam eder. Bu şartlar altında $dV/dQ = A P / \mu_r (w V/A + L)$ eşitliğindeki $A P$ sabittir ve eşitliğin

$\mu_r (w V/A + L) dV = A P dQ$ haline dönüştürülen şekilde $Q = 0$ da $V = 0$ dan. $Q = Q_0$ da $V = V_0$ ye integral alınarak

$\mu_r (w V^2/2 A - LV) = A P Q_0$ bulunur ve bunu yeni bir düzenlemeyle yazmak suretiyle,

$$Q_0 A/V = (\mu_r w/2 A P) (Y/A) + \mu_r L/A P \text{ eşitliği elde olunur.}$$

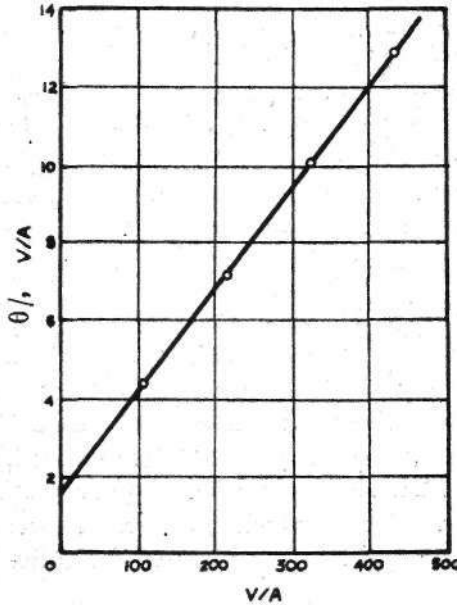
Bu eşitlik bir filtrasyon tesisinde sıklıkla karşılaşılan durumlar için geçerlidir. Bu eşitlik deneysel sonuçlara dayanılarak bir filtrasyon tesisinin iş verimini önceden saptamakta kullanılabilir. Eğer kontrol testi sabit basınç kullanılarak yapılır ve filtratlar belirli sürelerin sonunda toplanır ve miktarları ölçülürse $0/(V/A)$ değerinin (V/A) değerine karşı yerleştirilmesi ile bir filtrasyon grafiği çizilebilir. Yukarıdaki eşitlikten görülebildiği üzere bu grafikte mutlaka düz bir doğru elde edilecektir. Bu doğrunun eğimi $\mu r w / 2 \Delta P$ ye tekabül edecektir ve $8/(V/A)$ ordinatı üzerindeki kesim noktası $\mu r L / \Delta P$ değerini verecektir. Genellikle μ , w , ΔP ve A değerleri bilindiğinden veya ölçülebildiğinden doğrunun eğimi ve kesim noktası değerleri (L) ve (r) nin hesaplanmasını mümkün kılar.

Problem: Bir basınçlı laboratuvar filtresi ile 340 k P a sabit basınç altında olmak üzere filtrasyon deneyi yapılmış ve elde olunan filtrat miktarları aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Filtrat miktarı (kg)	20	40	60	80
Süre (dakika)	8	26	54.5	93

Laboratuvar filtresinin alan 0.186 m^2 dir. Eğer tesis ölçüsünde bir filtre ile 270 k P a basınç altında olmak üzere aynı materyalin deneyde kullanıldan % 50 daha konsantre şeklinin filtrasyonu gerekiyorsa ve filtrenin alanı 9.3 m^2 ise bu filtreden bir saatte geçecek olan filtratın miktarını hesaplayınız?

Bu filtrasyona dair grafik aşağıda görülmektedir.



8.4.3. *Filtre Keki Sıkışabilirliği*

Bazı filtre keklerinde özgül direnç, basınç düşmesi ile değişir. Bunun nedeni daha yüksek basınçta kekin daha yoğun hale gelmesi ve böylece akış için daha az sayıda ve daha küçük geçitler vermesidir. Bu etkiye kek sıkışabilirliği denir. Yumuşak ve topaklanan materyaller oldukça sıkıştırılabilen filtre kekleri oluştururlar. Şeker ve tuz kristalleri gibi sert ve tanecikli materyal ise basınçtan çok az etkilenirler. Kek sıkışabilirliği için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir.

$$r = r' A P^s$$

Bu eşitlikte,

r = Kekin P basıncındaki özgül direnci

P = Filtre boyunca basınç düşmesi

r = Kekin, 1 atm basınç düşmesinde özgül direnci

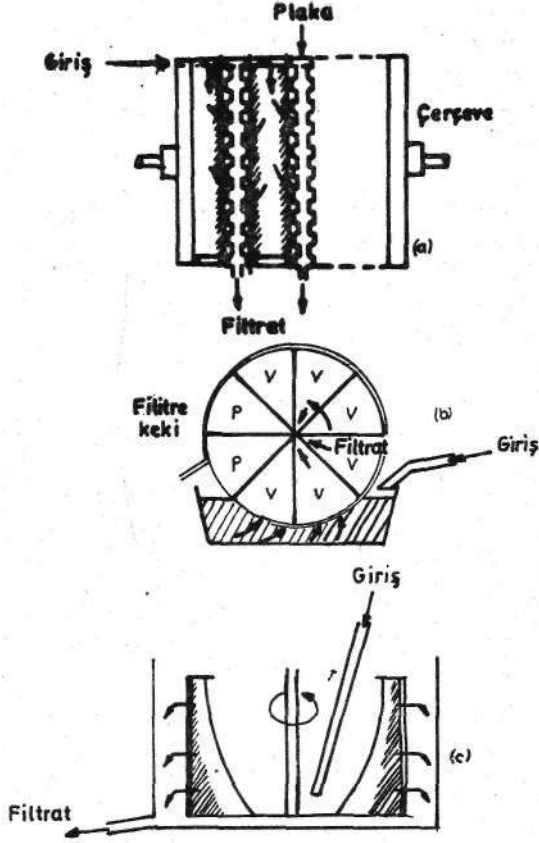
s = Kekin sıkışabilirlik katsayısıdır.

Bu (r) değeri filtrasyon eşitliklerinde örneğin hemen yukarıdaki eşitlikte kullanılabilir, (r') ve (s) değerleri değişik basınçlar altında deneyler yapmak suretiyle tayin edilebilirler.

8.4.4. *Filtrasyon Aletleri*

Bir filtrasyon aleti için gerekli temel parçaları; filtre ortamı için mekanik destek, filtreye giriş ve çıkış boruları ve filtre kekinin uzaklaştırılması için gerekli kısımlardır. Bazı durumlarda eriyik kalıntılarının uzaklaştırılması için filtre kekinin yıkanması gerekebilir. Sıvı girişine basınç veya sıvı çıkışına vakum uygulanabilir veya basınç ve vakum birlikte uygulanabilir.

Plakalı ve Çerçevesiz Filtre: Plakalı ve çerçevesiz filtrede filtre bezi veya eleği plakalar üzerine öyle yerleştirilirler ve plakalar o şekilde yapılmışlardırki biraraya getirildiklerinde hem filtre bezine destek sağlarlar hem de sıvının geçebileceği mümkün olduğu kadar büyük serbest alanlar oluştururlar. Aşağıda bir plakalı ve çerçevesiz filtrenin boyuna kesiti görülmektedir. Plakalar ve filtre bezleri yatay olarak yerleştirilip kullanılabilir. Fakat bunlar genellikle dik olarak ve yeterli yüzeyi sağlayacak sayıda olmak üzere paralel olarak yerleştirilir. Filtre keki giriş kısmında oluşur.



Şekil 24 Çeşitli Filtreler. a) Plaka ve çerçeveli filtre b) Vakumlu döner filtre c) Santrfüj filtre

Filtrasyonun ilk safhalarında filtre bezi enince basınç düşmesi küçüktür ve filtrasyon oldukça sabit bir hızda devam eder. Filtre keki arttıkça işlem daha sabit bir basınç altında devam etmeye başlar. Çerçeveler arasındaki boşluklar filtre keki veya kalıntısı ile dolunca filtrenin sökülüp temizlenmesi gerekir. Plaka ve çerçeveli filtreler ucuz aletlerdir ancak buna karşın istenilen büyük düzeye mekanize edilmeleri güçtür. Plakaların yıkamaya olanak verecek şekilde yapılmaları da mümkündür. Bu filtrelerin filtre kekinin kolay uzaklaştırılmasına imkan verecek tipleri geliştirilmiştir. Örneğin daire veya dikdörtgen şeklinde olabilen plakalar o şekilde yerleştirilir ki bunlar süzülecek sıvıyı içeren bir kap içerisine dalar. Tüm kap basınç altında tutulur veya filtre

bezinin çıkış tarafına vakum uygulanır. Vakum uygulanmasının avantajı filtre bezi üzerinde biriken kalıntının atmosferik basınç altında olması ve daha sonra kolayca uzaklaştırılabilmesidir. Vakum uygulanmasının sakıncalı yönü ise pahalıya malolması ve ulaşılabilecek en yüksek vakumun yaklaşık 80 kPa ile sınırlı olmasıdır. Basınçla filtrasyonda ise itici güç basınç eldesi ekonomisi ile ve aletin mekanik kuvveti ile sınırlıdır.

Döner Filtreler: Döner filtrelerde sıvı; üzerinden filtre kalıntısının filtrasyon devamınca sürekli olarak kazınarak alındığı üzeri filtre bezi ile kaplı döner bir silindirin içinden geçer. İtici gücü vakum veya basınç sağlar. Ancak en yaygın ve kullanışlı olan döner filtre tipi vakumlu döner filtredir. Bunda filtre bezi filtre edilecek sıvının bulunduğu bir kap içine daldırılmış olan yatay bir silindirin dış yüzeyi üzerine yerleştirilmiştir.

Silindirin iç kısmı bölmekli olup, filtre kalıntısının oluşacağı bölmelere vakum uygulanır. Vakum uygulanmasının bölmeler arasındaki dağılımının dikkatli bir şekilde ayarlanması ile asıl filtrasyonun olduğu bölmeler geçilince vakum kalkar ve basınç uygulaması başlar ve bu kısım da filtre kalıntısı kazınarak alınır. Filtrat, silindirin iç kısmından emilerek alınır. Vakumlu döner filtreler oldukça pahalı aletlerdir fakat büyük kolaylık sağlarlar ve yüksek bir mekanizasyon sağlarlar.

Santrfüj Filtreler: Bazı filtrelerde itici gücü sağlamak için santrfüj kuvvet kullanılır. Bu aletler gerçekte, üzerinde filtre bezini de ihtiva edebilen delikli bir silindire donatılmış santrfüjlerdir. Filtre edilecek sıvı bu silindirin iç kısmına geçer ve santrfüj kuvvetlerin etkisiyle filtre materyalinden süzülerek dışarı çıkar. Yukarıdaki şekilde bir santrfüj filtre şematik olarak görülmektedir.

Hava Filtreleri: Hava akımlarında bulunabilecek tozları ve küçük parçacıkları uzaklaştırmakta da filtreler yaygın olarak kullanılırlar. Hava veya gaz bir bez veya kumaştan geçirilerek tozlarından ayrılır. Bu filtreler özellikle çok küçük parçacıkların uzaklaştırılmasında yararlıdır. Torbalı filtrelerin bir tipinde 15-30 cm çapında birçok sayıda silindir şeklindeki kumaş torbalar dikine olarak bulunmaktadır ve hava bu torbalardan paralel şekilde geçer. Tozlu hava torbaya genellikle taban kısmından giriş yapar ve hava kumaştan geçer. Evlerde kullanılan elektrikli süpürgeler bu tip filtrelere aşina bir örnek teşkil eder. Modern sterilizasyon aletlerinde çapı 5 mikrondan daha küçük olan parçacıkların uzaklaştırılması için kağıt veya çok küçük gözenekli filtreler kullanılır. Bunlar bakteri hücrelerini ve sporlarını tutabilirler.

8.5. Eleme

Mekanik ayırma işlemlerinden biri de elemedir. Eleme ile sınıflandırılacak olan materyal küçük gözenekli elekler veya bezler üzerinde karıştırılır veya sarsılır. Sıvıyı teşkil eden hava, eleme işleminde göz önüne alınmaz ihmal edilir. Eleğin deliklerinden daha küçük olan parçacıklar ağırlıklarının etkisiyle deliklerden aşağı düşerler. Elekten geçme hızı birçok faktörlere bağlıdır.

Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

- 1) Parçacıkların yapısı ve şekli
- 2) Sarsmanın sıklığı ve şiddeti
- 3) Parçacıkların elek içerisinde topaklanmasını ve yapışmasını önlemek için kullanılan yöntemler
- 4) Elek materyalinin fiziksel yapısı ve direnci

Standart eleklerin göz açıklıkları 25 mm ile 0.6 mm arasında değişir. Seri halinde elekler kullanıldığında birbirini takip eden eleklerin delikleri uygun bir oran olan 2 /1 oranında küçülmelidir. Standart eleklerle ait bazı değerler ekli kısımlarda verilmiştir. Eleklerde mesih sayıları kabaca 1 inç yani 2.54 cm uzunlukta bulunan göz sayısıdır. Endüstriyel ölçüdeki elemelerde elemeye nadiren denge durumuna erişilinceye kadar devam edilir yani çok kesin bir sınıflandırma yapılmaz. Belirlenen büyüklükten daha küçük olup eleğin altına geçen parçacıkların oranına eleme etkinliği denir. Seri halindeki elekler biri diğerinin üzerine gelecek şekilde monte edilir ve mekanik sallayıcılar kullanılır. Endüstriyel elekler delikli veya üzeri delikli bezle kaplanmış yatay silindirler şeklinde de olabilir. Silindir döndükçe daha küçük parçacıklar aşağı geçer. Endüstride ekzantrik hareketle çalışan elekler de kullanılır. Çok sayıda değişik büyüklükte elekler kullanıldığında parçacıklar önce en büyük gözenekli eleğe verilir. Böylece eleme işlemi parçacığın geçemeyeceği büyüklükteki eleğe gelinceye kadar devam eder. Sarsak eleklerle elemelerde titreşimlerin sıklığı ve şiddeti erişilecek olan ayırma düzeyini önemli ölçüde etkiler. Eleklerin kapasiteleri birim alandan birim sürede geçen miktar olarak belirtilir. Endüstriyel olarak elenebilecek parçaların büyüklükleri 50 mikron ve daha üzeridir. Un üretiminde sürekli sarsılan elekler kullanılır. Bu eleklerin delik büyüklükleri giderek artar ve ince fraksiyon herhangi bir kademede ayrılarak alınabilir. Sarsma hareketi parçacıkların düşmesi için gerekli hareketi ve daha büyük parçacıkların diğer bir eleğe taşınmasını sağlar. Bazan eleklerin altında kepeğin ayrılması için hava ile sınıflandırma kullanılabilir.

9. ÖĞÜTME VE PARÇALAMA İŞLEMLERİ

Birçok gıda hammaddesi genellikle doğrudan kullanılmaya uygun olmamak üzere çok büyüktürler ve bu nedenle bunların küçültülmeleri gerekir. Küçültme işlemleri materyalin katı veya sıvı olmasına göre iki gruba ayrılırlar. Eğer katı maddelerin küçültülmeleri söz konusu ise yapılan işlem kırma, öğütme ve kesme olarak adlandırılır. Eğer işlenen sıvı materyal ise, işleme emülsifikasyon veya atomizasyon denir.

9.1. Öğütme ve Kesme

Öğütme ve kesme katı materyalleri mekanik etki ile küçük parçalara bölme ve böylece küçültmedir. Öğütme işleminin gıda endüstrisinde en fazla kullanıldığı alan hububatın una işlenmesidir. Öğütme işlemi mısır nişastası eldesi için mısırın öğütülmesinde, şeker öğütülmesinde, kuru sebzeler gibi bazı kurutulmuş gıdaların öğütülmesinde de uygulanır. Kesme işlemi büyük parçalar halindeki gıdaları daha sonraki ileri işlemler için uygun duruma getirmek üzere daha küçük parçalar haline kesmektir. Örneğin perakende satış için etlerin kesilip hazırlanması veya etlerin konserve et yapımı için hazırlanması veya sebze ve meyvelerin konserve yapımı için hazırlanması aşamalarında kesme işlemi uygulanır.

Öğütme işleminde maddenin boyutları kırma yoluyla küçültülür. Bu işlem sırasında madde öğütme makinasının elemanları tarafından sıkıştırılır. Başlangıçta sıkıştırma ile verilen enerji madde tarafından gerilme enerjisi olarak absorbe edilir. Sıkıştırılan maddenin yapısına bağlı olarak, gerilme enerjisi kritik seviyeye erişince madde içerisindeki zayıf hatlar boyunca kırılma olayı oluşur ve depolanmış olan enerji salınır. Enerjinin bir kısmı yeni yüzeylerin meydana getirilmesi için kullanılır fakat büyük kısmı ısıya dönüşür. Kırma işleminde zaman faktörü de etkili olur. Örneğin madde daha düşük konsantrasyonda bir sıkıştırmaya daha uzun bir süre için maruz bırakılırsa yine kırılır. Buna göre öğütme parçalanmayı takiben mekanik sıkıştırma ile elde olunur ve gerekli enerji miktarı materyalin sertlik durumuna ve kırılmaya karşı olan mey-

line yani kırılabilirlik durumuna göre değişir. Etkili ve verimli bir öğütme için maddeye uygulanan enerji maddeyi parçalamak için gerekli olan enerjiden az bir miktar daha fazla olmalıdır. Gereksiz yere kullanılan fazla enerji ısı olarak kaybedilir ve bu kayıp mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Öğütme işleminde üzerinde durulması gereken önemli faktörler; kullanılan enerjinin miktarı ve öğütme ile oluşan yeni yüzeylerin alanıdır.

9.2. Öğütmede Enerji Tüketimi

Öğütme, verimi çok düşük olan mekanik bir işlemdir ve kullanılan enerjinin mümkün olduğu kadar etkili bir şekilde kullanılması önemlidir. Fakat belirli bir parçalama işlemi için gerekli olan minimum enerjinin hesaplanması ne yazık ki kolay değildir. Kırma işleminin ve öğütme makinalarının yaygın kullanılmasına rağmen, kırma ile ilgili bir teorinin geliştirilmesi için yapılan bütün çalışmalar ve kırma makinalarının matematik formüllerle koordine edilmesi genel olarak başarısız olmuştur. Rittinger yasası ve Kick yasası adları ile bilinen iki ana yasa geliştirilmiştir. Ancak bu yasaların ikisi de herhangi bir öğütme makinasının çalışmasını tam olarak açıklamazlar.

Bu teoriler, sembolik L boyutundaki tanecikte dL değişikliğini oluşturmak için gerekli enerjinin, L nin kuvvet olarak basit bir fonksiyonu olduğu temel varsayımına dayanır.

$$d E / d L = K L^n$$

$$d E = \text{Gerekli enerji farkı}$$

$$d L = \text{Sembolik bir boyuttaki değişme}$$

$$L = \text{Uzunluk olarak sembolik bir boyutun değeri}$$

$$K, n = \text{Katsayılar}$$

Kick, bir maddeyi küçültmek için gerekli enerjinin küçültme oranı olan (d L/L) ile doğru orantılı olduğunu kabul etmiştir. Bu kabulden, yukarıdaki eşitlikteki (n) değerinin (-1) olması gerektiği anlaşılır.

$$\text{Eğer } K = K_k f_c \text{ ise,}$$

$$K_k = \text{Kick katsayısı}$$

$$f_c = \text{Materyalin ezilmeye karşı direnci. Yukarıdaki verilerden}$$

$$d E / d L = K_k f_c L^{-1} \text{ eşitliği elde olunur. Bu eşitlikten}$$

$$E = K_k f_c \log_e (L_1 / L_2)$$

elde olunur. Bu eşitlik Kick yasasının ifadesidir. Bu eşitlik bir maddeyi parçalamak için örneğin 10 cm den 5 cm ye indirmek için gerekli enerjinin aynı maddeyi 5 mm de n2.5 mm ye indirmek için gerekli olan enerji ile eşit olduğunu belirtir.

Diğer taraftan Rittinger parçalama işlemi için gerekli olan enerjinin direk olarak uzunluk boyutundaki değişikliklerle değil, yüzey büyüklüğündeki değişikliklerle orantılı olduğunu kabul etmiştir. Bu durumda $dE / dL = K L^n$ eşitliğindeki (n) yerine, alan uzunluğun karesi ile orantılı olduğundan (-2) değerini koymak gerekir.

$$K = K_r f_c$$

$$K_r = \text{Rittinger katsayısı}$$

K ve n = -2 değerleri eşitlikte yerine konup integral alınırsa aşağıdaki eşitlik elde olunur.

$$E = K_r f_c (1/L_2 - 1/L_1)$$

Bu eşitlik Rittinger yasası olarak bilinir. Bir parçacığın birim kütesinin yüzeyinin alanı yani özgül alanı 1 /L ye orantılı olduğundan hemen yukarıdaki eşitlik bir parçacık kütesinin L değerini 10 cm den 5 cm ye indirmek için gerekli enerjinin aynı kütledeki 5 mm lik parçacıkların 4.7 mm ye indirilmesi için gerekli enerjiye eşit olduğunu gösterir. Bu; Kick yasası ile öngörülenden çok daha küçük bir ufaltmadır.

Birim kütledeki yüzey artışının nispeten küçük olduğu kaba parçacıkların öğütülmesinde Kick yasasının makul derecede yaklaşık sonuçlar verdiği deneysel olarak bulunmuştur. Diğer taraftan ince öğütüklerin daha da küçültülmesinde büyük alanlı yeni yüzeyler yaratılacağından Rittinger yasası deneysel sonuçlarla daha iyi uyum gösterir.

Daha sonra Bond, n = - 3/2 olacak şekilde her iki yasaya göre ortada olan bir çözüm önermiştir. Buna göre,

$$E = E_i (100 / L_2)^{3/2} (1 - 1 / L_1^{1/2})$$

Bond E_i miktarını bu eşitlikle belirlemektedir. Bu eşitlikte L mikron olarak ölçülür. E_i , birim kütle maddeyi son derece büyük parçacık büyüklüğünden 100 mikron parçacık büyüklüğüne indirmek için gerekli enerji miktarıdır. Küçültme oram q ile ifade edilmektedir ve $q = L_1 / L_2$ dir.

Unutmamak gerekir ki yukarıdaki eşitliklerin tümü boyutlu eşitliklerdir ve eğer çeşitli katsayılar için evvelce belirtilen değerlerin kullanılması gerekirse, boyutlar uygun birimlere dönüştürülmelidir. Bond

eşitliğinde L mikron olarak alınırsa bu E_i , yi belirler. Bu değer Bond tarafından "iş indeksi" diye adlandırılmıştır.

Problem: % 80'i 0.500 mm lik standart elekten geçen kristallerden şeker öğütülüyor. Öğütülmüş şekerin % 80'i 88 mikronluk eleği geçiyor ve bu öğütme için 5 BG gücünde bir motor yeterli bulunuyor.

Eğer öğütülmüş şekerin % 80'nin 104 mikron luk eleği geçmesi yeterli görülüp öğütük miktarının % 50 arttırılması istenirse mevcut motor öğütücüyü çalıştıracak yeterli güce sahip olacak mıdır?

9.3. Öğütme İle Oluşan Yeni Yüzey

Eşit büyüklükte olan bir parçacıklar kütlesi öğütüldüğünde ilk öğütmeden sonra meydana gelen parçacıkların iriliği büyükten küçüğe ve hatta toz durumuna kadar değişecektir. Öğütme ilerledikçe kaba parçalar tekrar küçülecek fakat küçük parçacıkların durumunda daha az değişiklik olacaktır. Dikkatle yapılan analizler göstermiştir ki, öğütme sırasında belli büyüklükte parçacık oluşumuna bir meyil vardır ve bu büyüklükteki parçacıkların karışımdaki oranı artar ve sonunda karışımın büyüklük yönünden baskın olan fraksiyonunu oluşturur. Örneğin buğday ilk öğütmeden sonra kaba unda çok değişik büyüklükte parçacıklar verir. Fakat daha sonraki öğütmeyi takiben 250 mikron elekten geçen fakat 125 mikron elekten geçmeyen kısım çoğunluğu oluşturur. Öğütme ne kadar uzun süre devam ederse etsin kullanılan makine yani valsler aynı olduğu sürece bu fraksiyon toplanmaya devam eder.

İnce parçacıklar halindeki materyalin yüzey alanı önemli olabilir ve özgül yüzey yani birim kütlenin yüzeyi çok büyük olabilir. Pek çok reaksiyon ulaşılabilen yüzey genişliği ile bağıntılıdır ve özgül yüzey materyalin özellikleri üzerinde oldukça etkili olabilir. Örneğin buğday daneler halinde kuru olarak depo edildiğinde uzunca bir süre oldukça stabildir fakat un haline öğütülürse değirmencilikte iyi bilindiği üzere şiddetle patlayabilir. Bunun nedeni oksidasyondur.

Bir maddenin birim kütlesinin yüzey alanını hesaplamak için parçacık büyüklüklerinin dağılımını ve aynı zamanda parçacıkların şekilsel faktörünü bilmek gereklidir. Parçacık büyüklüğü tipik boyut (D_p) olarak adlandırılabilir bir boyut verir. Bunun yüzey alanı ile bağıntılandırılması gerekir. Rastgele şöyle yazılabilir.

$$V_p = \rho D_p^3 \text{ ve } A_p = 6 \rho D_p^2$$

$$V_p = \text{parçacığın hacmi}$$

A_p = parçacık yüzey alanı

D_p = parçacığın tipik boyutu

p ve q = parçacık geometrisi ile ilgili faktörler

Örneğin bir küp için hacim D_p^3 tür ve yüzey alanı $6 D_p^2$ dir. Küre için hacim $(\pi/6) D_p^3$ tür ve yüzey alanı πD_p^2 dir. Her iki durumda da yüzey alanının hacme oranı $6/D_p$ dir.

Şekil faktörü $q/p = \lambda$ olarak belirlenir. Küp ve küre için $\lambda = 1$ dir. Bir materyal öğütüldüğünde sonuçta elde olunan parçacıklar için şekil faktörü deneysel olarak yaklaşık 1.75 bulunmuştur ve bu, öğütülen materyal için yüzey alanının hacme oranının küp veya küre için olan oranın yaklaşık iki katı olduğu anlamına gelir.

Yüzey alanının hacme oranı

$$A_p/V_p = 6 q/p D_p = 6 \lambda / D_p \text{ dir.}$$

Böylece eğer w kütlede ve ρ_p yoğunluğunda parçacıklar söz konusu ise, parçacıkların sayısı $w/\rho_p V_p$ dir ve her bir parçacığın yüzey alanı A_p dir. Buradan,

$$A_t = (w/\rho_p p D_p^3) (6 q D_p^2)$$

$$A_t = 6 \lambda w / \rho_p D_p$$

A_t = Parçacık yığınının toplam yüzey alanı

Bu eşitlik parçacık yığınının toplam yüzey alanını belirlemek için, yapılan elek analizlerinin sonuçları ile kombine edilebilir.

Problem: Öğütülmüş bir tuzun elek analizinde toplam tuzun % 38 inin 7-mesh elekten geçtiği fakat 9- mesh eleğin üzerinde kaldığı görülmüştür. Daha ince kısımlardan birinin % 5 i 80- mesh elekten geçmekte fakat 115- mesh elek üzerinde kalmaktadır. Eğer tuzun yoğunluğu 1050 kg/m^3 ve şekil faktörü 1.75 ise 5 kg örnekte bu iki kısımdan herbiri için yüzey alanını bulunuz?

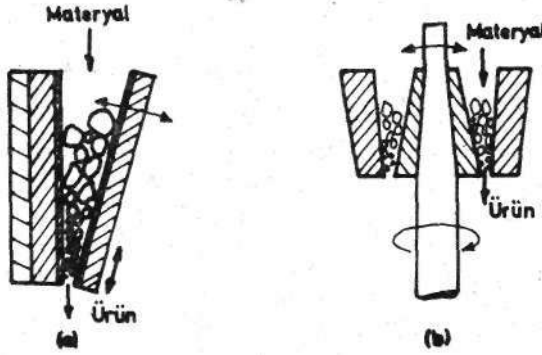
9.4. Ezme, Kırma ve Öğütme Aletleri

Bu konudaki aletler eziciler ve öğütücüler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Ezicilerde ağırlık taşıyan hareket basınç yapıcı, sıkıştırıcı kuvvetlerdir. Öğütücülerde ise kesme ve vurma, sıkıştırıcı kuvvetlerle kombine durumdadır.

Eziciler

Çeneli ve döner eziciler oldukça ağır aletlerdir ve gıda endüstrisinde pek yaygın olarak kullanılmazlar.

Çeneli ezicide materyal birisi sabit olan iki ağır çene arasından verilir. Diğer çene ise hareketlidir. Verilen hammadde gittikçe daralan bir boşluğa dolar ve ilerledikçe ezilme meydana gelir. Döner ezicilerde konik bir dış gövde ve içerisinde dönen ezici kafa bulunur. Ezici kafa aşağıya doğru genişleyen koni şeklindedir ve ezilecek hammadde dıştaki sabit ve içteki dönen koniler arasında tutulup gittikçe daralan aşağı kısma doğru sürüklenir. Aşağıdaki şekilde çeneli ve döner eziciler şematik olarak gösterilmiştir.

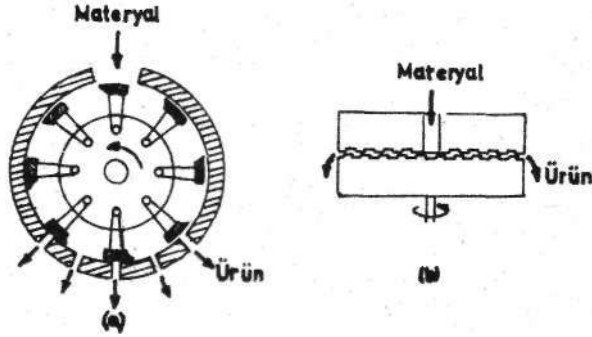


Şekil 25 Eziciler a) Çeneli b) Döner.

Ezici merdaneler birbirine paralel olarak monte edilmiş iki ağır silindirden ibarettir. Bu silindirler birbirine ters yönde olmak üzere dönerler ve materyal iki silindirin arasından geçerken ezilme olur. Bazan her iki silindir de aynı hızda döndürülür, bazen farklı hızlarda olmak üzere döndürülürler ve bazan da silindirin yalnız birisi döndürülür.

Öğütücüler

Çekiçli Değirmenler: Çekiçli bir değirmende dönen çekiç başlıkları sert bir gövdenin içerisinde yüksek hızla dönen bir rotor üzerine monte edilmişlerdir. Öğütülecek materyal çekiçler veya gövde arasında ezilerek dağıtılır ve alttaki elekten dışarıya çıkabilecek ölçüye küçülene dek değirmen içerisinde kalır. Bu tip değirmenlerde hem kırılabilir hem de lifli maddeler öğütülebilir. Aşağıda çekiçli ve plakalı değirmenlerin çalışma esasları gösterilmiştir.



Şekil 26 Öğütücüler a) Çekiçli Değirmen b) Plakalı Değirmen

Sabit Başlıklı Değirmenler: Öğütülecek materyalin aralarında yalnızca ince bir açıklık bulunan sabit bir gövde ve döner başlık arasında baskıya maruz kaldığı değirmenler çeşitli yapılarda olmak üzere mevcuttur ve kullanılır.

Plakalı Değirmenler: Plakalı değirmenlerde materyal birisi sabit diğeri ise dönen iki dairesel plaka arasına verilir. Madde dönme eksenine yakın bir yere gelir ve plakaların kenar kısımlarına doğru giderken ezilir ve incelir.

Üzerinde yivler bulunan plakalar hububat öğütmede kullanılan eski taş değirmenlerde olduğu gibi yatay olarak veya dikey olarak monte edilebilir. Plakalı değirmenlerdeki gelişmeler kolloid öğütmeye olanak vermiştir. Aralarında çok az aralık bulunan ve çok yüksek hızla dönen plakalı değirmenler kolloid boyutunda parçacıklar üretir.

Döner (Valsli) Değirmenler : Bunlar döner ezicilere benzer yapıdadırlar. Ancak döner değirmenlerin düz veya ince yivli silindirleri vardır ve farklı hızlarda dönerler.

Un öğütmede çok yaygın olarak kullanılırlar. Basit geometrileri dolayısıyla silindirler arasından geçebilecek parçacıkların maksimum büyüklükleri ayarlanabilir. Eğer silindirler arasındaki sürtünme katsayısı ve kullanılacak materyal biliniyorsa silindirler arasında ufalanacak en büyük parçacık boyutu hesaplanabilir.

Diğer Çeşitli Değirmenler: Birçok tipte öğütme aletleri vardır. Yatay bir silindir içerisinde materyalin çok sayıda doğal çakıltaşı, suni taşlar veya çelik toplarla döğülerek öğütüldüğü "toplular değirmenler" de bunlara dahildir. Bu tip değirmenler gıda endüstrisinde çok sınırlı uygulama alan bulur. Bunlar daha çok gıda boyalarının öğütülmesinde kul-

lanılır. Dış parçası dönen değirmen, dairesel bir oluk etrafında dönen ağır ve geniş bir tekerlekten ibarettir ve çukolata ve şekerleme öğütmede kullanılır. Çok çeşitli tipte değirmenler belli endüstri dallarında kullanılmaktadır ve elde olunan ürün için gerekli olan bazı karakteristik gereksinimleri karşılamıştır.

9.5. Emülsiyon Hazırlama

Emülsiyonlar birbirinde erimeyen iki sıvıdan oluşmuş ve sıvılardan birinin diğer sıvı içerisinde stabil durumda olduğu süspansiyonlardır. Emülsiyonun stabilitesi bir sıvının çok küçük zerrecikler halinde diğer bir sıvı içerisinde dağıtılması ile sağlanır. Küçük zerrecikler halinde dağıtılan faza dispers faz ve öteki sıvı fazına ise sürekli faz denir. Emülsiyon; uzun süre içinde değişiklik olmadan kalıyorsa, zerrecikler kümeleşmiyor, çökmüyor veya yukarı çıkmıyorsa stabildir. Bir emülsiyonun stabilitesi iç yüzey kuvvetleri ile, dispers faz damlacıklarının büyüklükleri ile, sürekli fazın viskozluk özellikleri ile ve iki faz arasındaki yoğunluk farkları ile değişir yani kontrol edilir.

Yüzey etkileri iki fazı oluşturan materyallerin özelliklerine bağlıdır. Fakat çoğunlukla eklenen üçüncü bir bileşken yüzey etkileri üzerinde etkilidir. Bu eklenen üçüncü bileşken iç yüzeyde absorbe haldedir ve damlacıkların birbirleriyle birleşmesini önlemeye yardımcı olur. Bu ilave edilen maddelere emülsifikasyon katkıları denir. Bunlara örnek olarak fosfatlar ve gliserin monostearat gösterilebilir.

Dispers fazdaki damlacıkların büyüklükleri önemlidir ve bunlar genellikle 1-10 mikron çapındadır. 0,1 mikron çapın altında damlacıklar içeren dispersiyona kolloidal çözelti denir. Parçacıkların büyüklüğü bu kadar küçük olunca dispersiyonun sürekli stabilitesine, sürekli fazdaki molekül hareketleri de yardımcı olur. Dispers faz damlacıklarının birleşmesi sürekli fazdaki sıvının artan viskozitesi tarafından da engellenir. Sıvıların yoğunluklarının birbirine yakın olması da yerçekiminin etkisiyle oluşacak ayrılmayı azaltır.

Emülsiyonun stabilitesi üzerinde etkili olan fiziksel faktörlerin kalitatif görünümü Stokes yasası ile belirmektedir. Çünkü yerçekimi kuvvetlerinin etkisi altında parçacıkların birbirlerine göre farklı akışları emülsiyonu kırabilir. Buradan görülmektedir ki düşük çökme hızları emülsiyonun stabilitesini artıracaktır. Stokes yasası olan

$$v = D^2g (\rho_p - \rho_f) / 18 \mu \text{ eşitliğinden}$$

D^2 dolayısıyla parçacık büyüklüğünün etkisi görülmektedir. Eşitlikten ayrıca, yoğunluk farkları az olunca emülsiyonların neden stabil olduk-

ları ve sürekli fazın viskozitesi yüksek olunca emülsiyonların yine neden stabil oldukları görülmektedir. Bunların hepsi yukarıda değinilen çökme hızlarını etkileyecektir.

9.5.1. *Emülsiyonların Hazırlanması*

Bir emülsiyondaki önemli kriter dispers faz damlacıklarının küçük- lüğüdür. Bu ise dispers duruma sokulacak sıvı üzerine çok yüksek kesici, bölücü güçlerin uygulanması ile sağlanır ve bu bölücü güçler maddeyi çok sayıda ince parçacıklara böler.

Parçalanma genellikle sıvının bir yüksek basınç pompasından geçirilip 7000 k P a basınca kadar yükselttilip sonra sıvının küçük bir memeden geçirilip aniden genişletirilip boşaltılması ile sağlanır. Çeşitli şekillerde yapılmış memeler bu amaç için tatmin edici sonuçlar vermektedir.

Parçalama işi için santrifüj kuvvetler de kullanılabilir. Yüksek hızla dönen diskler, üzerinden akan sıvıda şiddetli parçalama etkisi yapar. Ayrıca birbirine ters yönde dönen diskler arasından akıtmada emülsiyon hazırlamada kullanılabilir. Alalarında çok az bir açıklık bulunan sabit disk ile yüksek hızla dönen bir plaka veya dönen konik bir disk şekilleri de kolloid değirmenleri diye adlandırılırlar. Sıvı içerisinde oluşturulan ultıasonik titreşimler emülsiyon hazırlama için diğer bir enerji kaynağını oluşturur.

Mevcut emülsiyonlar damlacıkların büyüklükleri azaltılarak daha ileri derecede stabilize edilebilirler. Bu işlem emülsiyonun daha fazla bölünmesi işlemi ile olur ve homojenizasyon diye bilinir. Homojenizasyon sonucunda damlacıklar daha küçük ve tekdüze hale gelir. Buna örnek olarak sütün homojenizasyonu gösterilebilir. Süt, yağın süt içerisindeki emülsiyonudur ve kendi halinde bekletildiğinde krema ve yağsız süt kısımları ayrıldığından stabil değildir. Homojenizasyondan sonra bu ayrılma oluşmaz. Homojenizasyon yağın şeker çözeltisindeki dispersiyonu olan dondurma karışımlarında ve ayrıca margarin üretiminde kullanılır.

Gıda endüstrisinde çok rastlanan emülsiyonlara örnek olarak;

- Süt (yağ, süt içerisinde dispers durumdadır)
- Tereyağ (su, yağ içerisinde dispers durumdadır)
- Mayonez (yağ su içerisinde)
- Dondurma (yağ, su içerisinde ve sonra dondurulmuş) gösterilebilir.

Sıvı emülsiyonlarında etkili olan aynı yüzey etkileri, katıların sıvılardaki dispersiyonlarında ve sıvıların katı veya gazlardaki dispersiyonlarında da etkilidir. Eğer parçacık büyüklüğü yaklaşık 0,1 mikronun altına düşürülürse koloidal çözeltiler elde olunabilir ve stabilite yine materyalin yüzey özelliklerine bağlıdır. Aerosoller örneğin atmosferdeki sis, duman gayet stabil olabilirler.

9.5.2. *Emülsiyonların Kırılması*

Emülsiyonların kırılması ve fazların ayrılması için gerekli koşullar, emülsiyonların hazırlanması ve stabilitesi için gerekli koşullardan çıkartılabilir. Örneğin yüzey katkıları ortamdan uzaklaştırılabilir veya etkisiz hale getirilebilir ve yüzey elektrik yükleri nötralize edilebilir. Yoğunluk farklarına dayanan ayırıcı kuvvetler, santrfüj kuvvetlerin uygulanması ile büyük ölçüde azaltılabilir. Emülsiyonların kırılmasında kullanılan standart teknik, bir santrfüj den geçirmedir.

10. KARIŞTIRMA

Kariőtirma, paçal yapma veya harman yapma bir maddenin diğer bir madde içerisinde dağıtılmasıdır. Gıda endüstrisinde kariőtirma sayısız örnekleriyle karşımıza çıkar ve belki de en fazla kullanılan bir işlemdir. Buna rağmen kariőtirma çok az anlaŐılmıŐ iŐlemlerden bilidir. Ancak kariőtirmanın ölçülebilen bazı hususları vardır ve bunlar kariőtirma işleminin planlanmasında ve düzenlenmesinde yardımcı olurlar.

Bir kariőtirma işlemi ideal olarak, bir kap içerisinde bulunan fakat o anda birbirinden ayrı kısımlar halinde bulunan bileşken maddelerle başlar. Eğer kaptan küçük miktarda örnekler alınırsa bunlar her seferinde hemen hemen yalnız saf bir bileŐkenden ibaret olacaktır. Kariőtirma ilerledikçe örnekler artan bir Şekilde daha fazla sayıda madde iereceklerdir ve bu maddelerin oranları kapta bulunan bütün maddelerin toplamı içerisindeki oranlarına yakın olacaktır. Buna göre tam kariőtirma alınan tüm örneklerin, kaptaki maddelerin herbirinden aynı oranları içerdiği zaman olacaktır. Bu duruma gerçekte yalnızca bazı belli grup maddelerle ulaŐılabilir. Bu duruma pratik bir kariőtirma işleminde erişmek çok zordur. Örneklerdeki maddelerin belli oranlarda olduğu bir tam karışımı belirleyen diğer bir yaklaşım istatistiksel sapmanın, orijinal maddelerin istatistiksel tesadüfi dağılımının aynı olmasıdır. Böyle bir dağılım tesadüfi kariőtirma işleminin en iyisini temsil eder. Bu yaklaşım kariőtirma konusunun incelenmesine istatistik ve örnek analizlerinin dahil edilmesini gerekli kılar.

10.1. Örnek Analizleri

Kariőtirma, örnek bileşiminin ölçülmesi yoluyla karakterize edilmelidir. İlk karşılaşılan problem seçilecek örnek büyüklüğüdür. Eğer örnek miktarı çok büyük tutulursa karışımın tümünü kapsayabilir ve dolayısıyla örnek bileşimi ortalama bileşim olur artık kariőtirma yapmaya gerek kalmaz. Öte yandan örnek miktarını çok küçük ölçüde örneğin moleküler ölçüde tutmak mümkün olsa idi her örnek yalnızca saf

durumdaki maddelerden birini veya diğeri içerecekti ve ne denli karıştırma yapılırsa yapılsın fark etmeyecekti. Bu iki uç durum arasında pratik örnek miktarları bulunmaktadır ancak buradaki önemli husus sonuçların örnek miktarına bağlı olacaktır.

Birçok pratik karıştırma uygulamalarında uygun örnek büyüklükleri işlem koşulları tarafından veya istenen ürün için amaçlanan özellikler tarafından belirlenir. Örneğin eğer sofr tuzunun % 1 oranında magnezyum karbonat içermesi gerekiyorsa 990 kg tuza 10 kg magnezyum karbonat ilave edilmesi gerekli şartın sağlanmasını karşılar. Ancak eğer tuz 2 kg lık paketlerde satılacaksa pratik gereksinim her paketin küçük bir sapma ile 20 gr magnezyum karbonat içermesidir ve yeterli bir karıştırma yapılmalıdır. Bir ton karışım içeren karıştırıcıdan alınacak uygun örnek büyüklüğü 2 kg olacaktır. Karıştırma ilerledikçe alınacak örneklerin bileşimi % 99 tuz ve % 1 magnezyum karbonat olmaya doğru meyleder.

Yukarıdaki açıklamalardan görülebilirki; örnek bileşiminin, tüm karışımın ortalama bileşiminden sapma derecesi karıştırma işleminin ölçüsünü teşkil eder. Karıştırma ilerledikçe bu sapma azalır. Bu sapmanın ölçülmesinde en iyi yol "standart sapma" denilen istatistik değerin kullanılmasıdır. Örnek bileşiminin, ortalama bileşimden standart sapması aşağıdaki eşitlikle verilir

$$s^2 = 1/n [f(x_1 - x)^2 + (x_2 - x)^2 + \dots + (x_n - x)^2]$$

s = Standart sapma

n = Alınan Örnek sayısı

$x_1, x_2 = x$ maddesinin 1. ve 2. örneklerdeki oranları $x = x$ maddesinin tüm karışımdaki ortalama oranı

Bu eşitliği kullanarak ve karıştırma işleminin herhangi bir safhasında (n) sayıda örnek olarak ölçülen örnek bileşimlerinden (s) değerleri hesaplanabilir. Bazı şartlarda (s^2) yi kullanmak (s) yi kullanmaktan daha uygundur ve (s^2) örnek bileşimi oranlarının ortalama bileşimden değişimi (varyans) olarak bilinir.

Problem: 990 kg tuz ve 10 kg magnezyum karbonatın karıştırıcıda belli bir süre karıştırılmasından sonra herbiri 200 gr olan 10 örnek alınıyor ve magnezyum karbonat miktarları analizle saptanıyor. Örneklerdeki magnezyum karbonat ağırlıkları sırasıyla 2, 30-1, 72-1, 63-1, 73-2, 10-1, 82-2, 32-2, 20-2, 10 ve 2, 13 gr dır. Örnek bileşimlerinin ortalama bileşimden standart sapmasını bulunuz ?

Farkların ortaya çıkarılması işlemi külfetli olabilir. Bu durumda standart sapma değerleri matematiksel bağıntıların kullanılmasıyla daha çabuk bulunabilir. Bu konuda daha açıklayıcı bilgi herhangi bir istatistik kitabında bulunabilir.

$$s^2 = 1/n [\sum (x^2_1) - \sum (\bar{x})^2]$$

$$s^2 = 1/n [\sum (x^2_1) - n (\bar{x})^2]$$

$$s^2 = 1/n [\sum (x^2_1)] - (\bar{x})^2$$

10.2. Katı Parçacıkların Karıştırılması

Eğer katı parçacıklar ayrılmış gruplardan başlayarak maddelerin rastgele dağılımıyla sonuçlanacak şekilde karıştırılacaksa örnek bileşiminin varyansları yani ortalama örnek bileşiminden farklılığı (s^2) hesaplanabilir.

P maddesinden p miktar ve Q maddesinden q miktar içeren bir ikili karışımı düşünelim. Karıştırma işleminden önce alınacak her küçük örnek ya saf P maddesinden veya saf Q maddesinden oluşacaktır. Eğer çok sayıda örnek alınırsa örneklerin p kısmı saf P maddesinden içerecektir. Bu örneklerin ortalama bileşimden farklılığı (1-p) olacaktır çünkü, saf P yi içeren örnek, P bileşkeninin ancak 1'i kadardır. Benzer olarak örneklerin q kısmı saf Q maddesinden içerecektir. Bu; P maddesi yönünden olmak üzere kısmi bileşimin 0 olduğunu ve ortalama değerden farklılığın (0-p) olduğunu ifade eder. $p + q = 1$ olduğunu unutmaksızın, yukarıdaki bilgileri P maddesinin kısmi bileşiminin terimleri olarak özetlediğimizde

$$s^2_0 = 1/n [pn(1-p)^2 + (1-p)n(0-p)^2], n \text{ örnek için}$$

$$s^2_0 = p(1-p)$$

Karışım tamamen dağıtıldığında yani karıştındığında maddelerin hacim olarak kendi toplam oranlarına göre dağıldığı kabul edilir. Herhangi bir parçacık tesadüfi olarak seçildiğinde bunun Q olma ihtimali q olacaktır ve Q olmama ihtimali de (1-q) olacaktır. Bunu N sayıda parçacık içeren örneklere yaydığımızda ihtimal teorisi kullanılarak gösterilebilir ki

$$s^2 = p(1-p)/N = s^2_0/N \text{ dir.}$$

Bu eşitlikteki bütün parçacıkların ister saf P olsun veya saf Q olsun eşit büyüklükte olduğu kabul edilmiştir. Örneğin bu eşit büyüklükteki şeker ve süttozu parçacıklarının karıştırılması olabilir. (0) ve (r) terimleri s^2 nin başlangıçtaki ve tesadüfi değerlerini göstermek için kullanılır.

mıştır. Yukarıdaki iki eşitliğin incelenmesi karıştırma işleminde s^2 değerinin P (1-0) değerinden bu değer 1/Ni değerine düştüğünü gösterir. Karıştırmanın ilerlemesini göstermede s^2_0 ve s^2_r arasındaki orta değerlerin kullanılabilceği önerilmiştir. Buna dayalı olarak örneğin aşağıdaki gibi, bir karıştırma indeksi için önerilerde bulunulmuştur.

$$(M) = (s^2_0 - s^2_r) / (s^2_0 + s^2_r)$$

Bu eşitlikteki (M) karıştırma işlemi boyunca 0'dan 1'e doğru değişir ve bu değer parçacıkların karışımı için ve koyu kıvamlı karışımlar için kullanılabilir.

10.3. Karışma Düzeyi

Karışma düzeylerinin tartışılması uygun bir karışma ölçüsü bulununca mümkün hale gelir. Karışma indeksinin öyle olması gerektiği kabul edilir ki herhangi bir zamandaki karışma düzeyi, sabit çalışma şartları altında örneğin sabit hızla çalışan bir mikserde olduğu gibi bu zamandaki karıştırma süresiyle orantılı olmalıdır. Yani

$$dM/dt = K(1 - M)$$

M = karıştırma indeksi

K = katsayı

Bu eşitliğin M nin 0'dan 1'e 0 = 0 dan 0 = 0 ya gittiği sürede integrali alınırsa

$$(1 - M) = e^{-Kt}$$

$$\text{veya } (M) = 1 - e^{-Kt} \text{ bulunur}$$

Bu bağıntı (M) yi karıştırma indeksi olarak kullanarak M'nin en az iki veya üç büyüklüğü üzerinde yapılan pek çok deneysel incelemede uygulama bulmuştur. Bu gibi durumlarda K katsayısının karıştırma aleti ve koşulları ile bağıntıları kurulur ve örneğin verilen bir karıştırma düzeyine ulaşmak için gerekli karıştırma süresinin önceden belirlenmesinde kullanılabilir.

Problem: Bir hazır çorba karışımı hazırlamak için mikserde nişasta ve kurutulup toz haline getirilmiş sebzenin karıştırılmasında, başlangıçta kurutulmuş sebzenin nişastaya oram 60: 40 tır. Eğer 5 dakikalık karıştırılmadan sonra örnek bileşimlerindeki varyans (değişim) ölçülmüş ve nişastanın kısmi bileşim terimi olarak 0.0823 bulunmuşsa, 0.02 lik maksimum örnek bileşim varyansına erişebilmek için karıştırma ne kadar süre daha devam etmelidir?

10.4. Sıvıların Karıştırılması

Sıvı karışımlarından da katı karışımlarında olduğu gibi örnek alınabilir ve analiz edilebilir. Sıvıların karıştırılması hakkında en çok pervaneli veya pedallı karıştırıcılar kullanıldığında gerekli güç ihtiyacı ile ilgili bilgi bulunabilmektedir. Bu tip karıştırıcılarda sıvılar bir kaba konur ve karıştırıcı döndürülür. Ölçümler, güç tüketimini etkileyen tüm fiziksel faktörleri kapsayan boyutsuz oranlarla yapılır. Sonuçlar aşağıdaki eşitlikte birbirleriyle korele edilmiştir.

$$(Po) = K (Re)^n (Fr)^m$$

Bu eşitlikte

$$(Re) = (D^2 N \rho / \mu) = \text{Reynolds sayısı}$$

$$(Po) = (P / D^5 N^3 \rho) = \text{Power sayısı}$$

$$(Fr) = (DN^2 / g) = \text{Froude sayısı}$$

D = pervanenin çapı

N = pervanenin dönüş hızı, devir/dakika

ρ = sıvının yoğunluğu

μ = sıvının viskozitesi

P = pervanenin harcadığı güç

Burada dikkat edilecek husus, Reynolds sayısının pervanenin ucunda gerçek hızdan faktörü kadar farklı olan hız için DN yi kullanmasıdır

Froude sayısı yerçekimi kuvvetlerinin etkilerini korele eder ve yalnızca pervanenin sıvı yüzeyimde karıştırdığı durumlarda önemli olur. Reynolds sayısı 300 ün altında olduğunda Froude sayısının etkisi yoktur. Buna göre eşitlik aşağıdaki şekli alır.

$$(Po) = K (Re)^n .$$

Bununla birlikte karıştırma işleminin genel formülleri henüz elde olunamamıştır. Deneysel sonuçlar büyük ölçüde kullanılan özel pervane şekilleriyle bağındı kalmaktadır. Eğer deneysel eğriler elde olunabilirse bunlar hemen yukarıdaki eşitlikteki (n) ve (K) değerlerini bulmakta kullanılabilir. Örneğin salınımı çapına eşit bir pervane için Rush-ton n = - 1 ve K = 4 1 değerlerini vermektedir. Deneysel sonuçların elde edilmediği durumlarda pervaneli karıştırıcılardaki güç gereksinimini önceden tahminde en iyi yaklaşım modeller kullanıp faktörleri tayin etmek ve sonra yukarıdaki eşitliklerden birini kullanmaktır.

Problem: Melas içerisine vitamin konsantresi karıştırılmak isteniyor ve yeterli karıştırma düzeyi 30 cm çapında 3 kanatlı pervane kullanılarak ve dakikada 450 devir yaptırılarak 60 cm çapında ve 75 cm derinliğindeki küçük bir tankta sağlanabiliyor.

Eğer 180 cm çapında tank kullanacak olan daha büyük bir tesisin dizaynı gerekiyorsa ve küçük tanktaki karıştırma şartları aynen korunmak isteniyorsa tank için seçilecek olan uygun derinlik, pervane çapı ve dönüş hızı ne olmalıdır? Pervaneyi döndüren motor için güç gereksinimi ne olacaktır? Melasın viskozitesi 6,6 N. san/m² (6600 cP) ve yoğunluğu 1520 kg/m³ tür.

10.5. Karıştırma Aletleri

Çok değişik şekillerde olmak üzere karıştırma aletleri yapılmış olup gıda endüstrisinin çeşitli dallarında karıştırma aletlerinin standardizasyonunda hayli ilerleme sağlanmıştır. Karıştırma aletlerini sınıflandırmanın en kolay şekli bunları sıvıları, kuru toz durumundaki maddeleri veya koyu hamur ve pastaları karıştırıcılar olarak gruplara ayırmaktır.

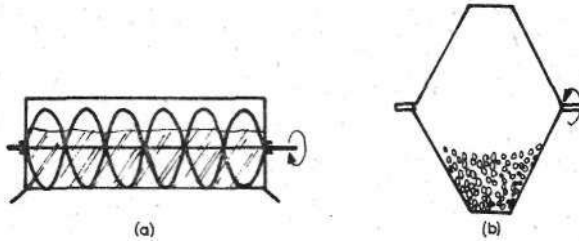
Sıvı Karıştırıcıları

Sıvıların karıştırılmasında en yaygın ve kullanışlı karıştırıcılar pervaneli karıştırıcılardır. Pervaneli karıştırıcıların kullanılmasında, özellikle silindirik tanklarda olduğu gibi sıvının pervane etrafında sürekli bir akım oluşturarak karıştırmayı önlemesinden sakınılmalıdır. Bu tür akımların oluşmaması için ya silindir kenarlarına plakalar yerleştirilir veya pervane asimetrik olarak monte edilir. Çeşitli şekilde plakalar kullanılabilir ve bunların yerleştirme durumları karıştırmanın etkinliğine çok farklı derecelerde etki ederler. Karıştırıcının enerji tüketimi ile gerçekleştirilecek karıştırma düzeyi arasında bağıntı kurmak oldukça ilgi çekicidir fakat böyle bir bağıntı üzerinde düşünmek pek de gerekli değildir. Çünkü çok az etkili olabilen bir karıştırıcının büyük miktarda enerji tükettiği de görülmektedir.

Arzu edilen düzeyde bir karıştırmayı amaçlayarak sıvıların dalgalı bir akımda veya bir pompadan geçerek şiddetli bir şekilde karıştırıldığını düşünelim. Akım yollarında bu amacı gerçekleştirecek veya boru hatlarında böyle dalgalı bir akımı oluşturacak bir alet, sıvıların aktarılması sırasında yan işlem olarak boru sistemlerinde pek çok şekilde dizayn edilebilir ve yeterli derecede karıştırma sağlanabilir.

Toz ve Parçacık Karıştırıcı Aletler

Bu karıştırıcılarda önemli koşul, karışımlarda bulunacak maddelerin bir kısmının diğerleriyle karşılıklı olacak şekilde yer değiştirmesidir. Aşağıda görülen karıştırıcı, bir şaft üzerinde birbirinin aksi yönde dönen iki helezon şeklinde elemanı olan bir alettir. Şaft döndüğünde kanştırılacak toz durumundaki maddeler aksi yönlerde hareket ederler ve birbirlerine göre yüksek hızla yer değiştirirler. Toz durumundaki maddeler için yaygın olarak kullanılan bir karıştırıcı çift kovalı karıştırıcıdır. Bunda iki kova açık tarafları birbirine çakışacak şekilde monte edilmiştir ve orta kısımdaki bir eksen etrafında döner. Aşağıda böyle bir karıştırıcı görülmektedir.



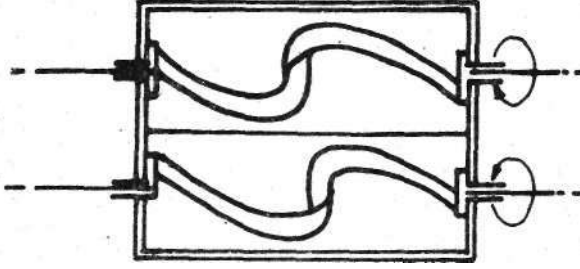
Şekil 27 Karıştırıcılar a) Şaftlı b) Çift-kovalı

Büyüklik ve yoğunluk yönünden büyük ölçüde farklılıklar gösteren toz durumundaki maddelerin karıştırılması yerçekimi kuvvetlerinin bunları yoğunluklarına ve büyüklüklerine göre ayrılmaya meyllettirmesinden ötürü bazı problemler arzeder. Örneğin böyle bir durumda başlangıçtaki karışma işlemini belli bir süre sonra karışmama durumu takip eder. Bu sebeple karıştırma süresi gayet kritik olabilir.

Kanştırılacak maddeler eşit miktarlarda olduğu zamanlarda karıştırma en basittir. Çok küçük miktarda bir maddenin büyük miktardaki diğer bir madde içerisine karıştırılacağı durumlarda en iyi çözüm karıştırmanın kademeler halinde yapılmasıdır. Örneğin bir maddenin diğer bir madde içerisinde 50 ppm miktarında bulunması isteniyorsa bunu tek karıştırıcı içerisinde karıştırmak başarısız sonuç verecek bir işlemdir. Bu durumda çözüm karıştırmanın dört ayrı kademede ve her kademede 30:1 oranında karıştırılması olabilir. Karıştırma işleminin planlanmasında her karıştırma kademesinde örnek alınarak analiz edilmesi gerekebilir. Fakat bir kez karıştırma süresi tesbit edilince yalnızca son karıştırma ürününde kontrol analizleri yapmak yeterli olur.

Hamur ve Pasta Karıştırıcıları

Hamur ve pastalar ağır ve güçlü olması gereken makinalarda karıştırılırlar. Yüksek güç gereksinimi ve kullanılan bir gücün karıştırılan maddede ısı olarak açığa çıkıp maddeyi büyük ölçüde ısıtmasına neden olacağı göz önünde tutularak bu makinalarla yapılan karışırtmalarda amaca yeterli düzeyde karıştırma ile yetinilir. Bu tip makinalarda oluşan ısının uzaklaştırılması için soğuk su ceketine gerek duyulabilir. Bu makinaların en yaygın şekilde kullanılanı hamur yoğutma makinası olarak bilinen ve aşağıda şematik olarak görülen alettir.



Şekil 28 Yoğurucu

Bunda birbirinin aksi yönlerde dönen bükük şekilli iki kol bulunur. Bu kollar birbirlerinden yaklaşık 3:2 oranında farklı hızda olmak üzere dönerler. Bu makinaların çok sayıda kollar ihtiva eden, tekne şekilleri değişik ve karıştırılan materyalin sürekli yol aldığı değişik tipleri vardır.

Modern sürekli karıştırıcılar kapalı bir silindir içerisinde kancalar arasında dönme ve salınma hareketi yapan kesikli vidalardan ibarettir. Bu makinalardaki önemli prensip, karıştırılacak maddenin mümkün olduğu kadar çok sayıda bölünmesi, katlanıp bükülmesi ve yeni düzeylerin karşı karşıya gelebileceği şekilde yer değiştirmesinin sağlanmasıdır.

11. İŞLEM MÜHENDİSLİĞİNİN GIDA ENDÜSTRİSİNDEKİ BAZI UYGULAMALARI

Gıda işlem mühendisliğinin endüstrideki uygulamasını bize açıklayabilecek dört önemli gıda endüstri dalında işlem mühendisliği konularının hangi safhalarda yer aldığı aşağıda verilmiştir. Bu asrın başına kadar bu endüstriler gerek büyüklük gerekse teknik yönden ve küçük birimler durumundan oldukça büyük fabrikalar haline gelmiştir. Bugün ise bu endüstrilerin büyük ölçüde reorganize edildiğini fabrikalarda modern teknoloji ve işlem mühendisliğinin uygulandığını görüyoruz. Bu değişimler sadece eski yöntemlerin terkedilmesi değil, aynı zamanda üretilen yeni ürünlerin sayısal artışı olarak karşımıza çıkıyor. Et endüstrisini ele aldığımızda hayvan ve ondan ele edilen ürünler günümüzde hammadde yani protein, karbonhidrat, yağ, mineral maddeler, hormonlar, enzimler ve vitaminlerin hammaddesi olarak görülmektedir. Bu ürünlerin daha fazla artırılması imkanları ise sınırsızdır.

11.1. Et Endüstrisi

Et endüstrisi canlı hayvan ve kesim işlemi ile başlar. Önce hayvanı oluşturan kısımlar birbirinden ayrılır. Başlangıçtaki ürünler, karkas et, kan, sakatat, hormon, salgı bezleri, deri (post), yün, saç, kemik ve tırnaklardır. Et soğutulduktan veya dondurulduktan sonra doğrudan kullanılabilir veya işlenebilir. Kan; hayvan yemi, yapıştırıcı, gübre veya kan albumini üretiminde kullanılır. Bazı sakatat doğrudan kullanılabilir, bazdan ise değişik gıda maddelerine işlenir veya hayvan ve bitki besini olarak yüksek proteinli materyal veya yağ üretmede kullanılabilir. Hormon bezlerinden ve diğer organlardan hormon ve enzim preparatları hazırlanır. Post, yün, saç, deri, kemik ve tırnaklar jelatinin yenilebilir olduğunun uzun zamandır bilinmesine rağmen gıda olarak halen çok küçük kullanma alanına sahiptir.

İşlem mühendisliğinin bazı uygulamalarının bu ürünlere uygulanması oldukça ilgi çekicidir.

Akışkanların Akımı

Bu konu dondurma ve soğutmada, etin ve yan ürünlerinin yıkanmasında, sıcak su ve buhar şeklinde enerji temininde, işlem odalarının ısıtılma ve soğutulmalarında yer alır. Büyük bir et işleme tesisi hergün 4-5 milyon litre su kullanabilir. Et endüstrisinde akışkan akımının modern kullanımı öğütülmüş artık maddelerin işleme tesislerine pompalanmasında görülür.

Isı İletimi

Isı iletimi et muhafazasının modern yöntemleri olan soğutma ve dondurmaya kapsar. Et endüstrisinde hemen tüm işlemlerde taşıma, kurutma, sterilizasyon, kutulama ve diğer bir çok işlemlerde ısıtma veya soğutma şeklinde ısı iletimi söz konusu olur.

Kurutma

Kurutma bir et muhafaza yöntemi olup et hava ile, döner kurutucuda veya dondurularak kurutulabilir. Endüstride soğuk depolamada etin hemen hemen kaçınılmayan kendiliğinden kuruması, önemli ekonomik problemler yaratmaktadır. Gübreler, stok besinler, jelatin ve kan bunların tümü kurutulmalıdır. Bu işte kullanılan kurutucu aletler silindir kurutucular, sprey kurutucular, döner kurutucular, vakum kurutucular ve çok değişik tipte diğer kurutuculardır.

Buharlaştırma

Buharlaştırma etin konserveye işlenmesinde ve temizleme işleminde meydana gelen pişirme sıvılarının konsantre edilmesinde kullanılır. Tek veya çok kademeli buharlaştırıcılar kullanılabilir.

Ayırma İşlemleri

İşletme suyunun klorlanmasında ve artık suların havalandırılmasında gaz absorpsiyonu görülür. Çözünür proteinlerin elde olunması için hammadde, proteinleri çözmek üzere su içerisinde kaynatılarak ekstrakte edilir. Ete olduğu kadar sosis gömleklerine, yağlara ve benzeri maddelere yaygın şekilde yıkama işlemi uygulanır. Yağların ekstraksiyonu için kullanılan çözücülerin tekrar kazanılmasında destilasyon işlemi görülür. Destilasyon yağların kokularının giderilmesinde, yağ asitlerinin ayrılmasında ve bazı ilaç hammaddelerinin hazırlanmasında da kullanılır.

Yağlar hazırlanmalarındaki koşullara bağlı olarak daha büyük veya daha küçük boyutlarda kristalleşir. Bu kristalizasyonun kontrolü domuz yağı gibi ürünlerin hazırlanmasında çok önemlidir.

Mekanik Ayırmalar

Temizleme işlemlerinden sonra su ve yağı katı maddelerden ayırmak için filtrasyon uygulanır. Bununla birlikte modern işletmelerde yatay santrifüjler gibi diğer tip mekanik ayırma yöntemleri uygulanır. Filtrasyon çökmüş kandan suyun bir kısmını ayırmak içinde uygulanabilir. Artık sulardan katı maddelerin ayrılmasında, donyağı da denilen mum yağının berraklaştırılmasında çöktürme işlemi uygulama bulur. Öğütme işlemleri ile ilgili olarak siklonların kullanımı da yaygın olarak görülür. Kemik unu üretiminde olduğu gibi ince öğütülmüş ürünlerin ayrılmasında torba tipi filtreler kullanılır. Temizleme işlemlerinde ortaya çıkan sıvılardan katıların ayrılmasında filtrasyon çöktürme ve eski tip santrifüjlerin kullanılması yerine sürekli santrifüjlerin kullanılması çok uygun bir yöntem olarak hızla yerleşmektedir.

Öğütme

Et endüstrisinin pek çok yan ürünü toz şeklindedir. Bu sebepten öğütme gerekli olur. İşlenmiş etin pek çok şeklinde kıyma ve soslerde olduğu gibi öğütme gerekir.

Karıştırma

Hayvan beslenmesinde kullanılan yemler hazırlanırken önceden tarımlı maddelerin iyi karıştırılması çok önemlidir. Etin tasfiye işlemleri sırasında ve dokulardan yağların ayrılması sırasında iyi bir ısı aktarımı sağlayabilmek için de etkili bir karıştırma gereklidir.

11.2. Süt Endüstrisi

Süt endüstrisi hammadde olarak çoğunlukla inek sütü olmak üzere ham süt alır. Sütte protein, karbonhidrat, yağ, mineral maddeler ve su bulunur. En basit süt ürünü sütün kendisidir. Fakat bu dahi ısıtma işlemine, pastörizasyona gerek gösterir.

Diğer bilinen sütçülük ürünleri krema, tereyağ, kurutulmuş normal ve yağsız süt, koyulaştırılmış süt, peynir, kazein, laktoz ve laktoalbumindir. Bu maddelerin verimli bir şekilde üretilmelerinde işlem mühendisliğinin uygulanması çok önemli duruma gelmiştir.

Akışkanların Âkımı

Ham madde ve süt endüstrisinin pek çok ürünü sıvı durumundadır. Bu yüzden akışkanlar konusu süt endüstrisinde çok yaygın olarak görülür.

Isı İletimi

Sütte var olabilecek mikroorganizmaları tahrip etmek gerektiğinden süre ısı aktarımı çok önemlidir. Çünkü sütün ısıtılması süte kolayca, arzu edilmeyen pişmiş aromasını verir. Bu yüzden ısı uygulamanın kontrolü çok dikkatli yapılmalıdır. Isıtma ve soğutma kurutmada olduğu gibi diğer sütçülük işlemlerinde de kullanılır.

Kurutma

Pek çok süt ürünü toz şeklinde olduğundan kurutma işlemi gerekli olur. Bazı durumlarda örneğin kazeinde olduğu gibi bu ürünler havalı kurutucularda kurutulur veya peynirlerde olduğu gibi kurutma odaları kullanılır. Bazende sütün kurutulmasında olduğu gibi silindir kurutucular veya kurutucular kullanılır.

Buharlaştırma

Büyük miktarlarda süt tek veya çok kademeli buharlaştıncılar kullanılarak konsantre edilir. Buharlaştırılan sütler konserve edilir veya kurutulmak üzere kurutuculara gönderilir.

Ayırma İşlemleri

Tereyağ ve kazein yabancı maddelerden arıtılmak üzere yıkanır. Kremaya, tereyağa işlenmeden önce kötü tad ve kokularının uzaklaştırılması amacıyla damıtma uygulanır. Kristalizasyon, tereyağının, koyulaştırılmış sütün ve hazır süt tozlarının özellikleri üzerinde çok etkisi olan bir işlemdir.

Mekanik Ayırma İşlemleri

Peynir pıhtısından suyun ayrılmasında filtrasyon uygulanır. Süt ve kremadan yabancı maddelerin ayrılmasında, laktoz ve kazein gibi ürünlerin kurutulduğu kurutuculardaki hava akımlarından toz parçacıklarının ayrılmasında da filtreler kullanılır. Kazein ve diğer çökeleklerin

konsantre edilmesinde sedimantasyondan yararlandır. Süt tuzu ve kazein gibi kurutulmuş toz şeklinde olup çeşitli irilik fraksiyonlarına ayrılması gereken ürünlerde sınıflandırma ve ekleme uygulanır. Sütten kremanın ayrılması, laktoz ve kazein çökeltisinin sudan ayrılması için santrifüjler kullanılır.

Öğütme

Katı süt ürünlerinin çoğunun ince toz haline gelebilmesi için öğütme gereklidir. Kazein, laktoalbumin, süt tozları ve kurutulmuş peynir altı suyu, bunların tümü öğütülebilir. Kremanın sütün üzerinde toplanmasını önlemek için uygulanan homojenizasyon endüstride çok yaygınlaşmış olup, yağ küreciklerinin küçültülmesini sağlayan bir işlemdir.

Karıştırma

Sürekli aynı nitelikte ürün üretebilmek için karıştırma ve paçal işlemleri gerek süt fabrikasına gelen sütlerin harmanlanmasında olduğu gibi sıvılara, gerekse hammadde ve işlem şartlarındaki küçük farklılıkları gidermek amacıyla katılara uygulanır.

11.3. Hububat Ürünleri Endüstrisi

Hububat ürünleri endüstrisi denilince akla önce un, makarna ve bisküvi sanayii dalları gelir. Bu sanayi dallarında işlemler amaca uygun buğday çeşitlerinin satın alınması ile başlar. Bunu buğdayların temizlenip sınıflandırılması takip eder. Daha sonra öğütme, un ve diğer fraksiyonların ayrılması işlemi gelir. Hazır un alınıp kullanıldığında ise bu işlemlere gerek kalmaz.

Akışkanlıkların Akımı

Ekmek, makarna ve bisküvi üretiminde hamurun hazırlanması sırasında gerekli suyun temininde, fermantasyon odasının ve fırının nemlendirilmesinde söz konusudur.

Isı İletimi

Ekmekçilikte fırının ısıtılmasında, fermantasyon odasının 28-30 °C'ta tutulmasında, bisküvi üretiminde malt ekstraktının hazırlanmasında, bisküvilerin pişirilmesinde makarna preslerinin ısıtılması ve makarnaların kurutulmasında ısı iletim işlemleri yer alır.

Kurutma

Ekmeğin pişirilmesi aynı zamanda kurutma işlemini de kapsar ve hamurun su miktarı % 60'tan yaklaşık % 37'ye indirilir. Preslenmiş ve şekillendirilmiş makarnaların kurutulması ise büyük ölçüde kurutma işlemi ile ifade edilebilir ve hamurun su miktarı % 35'ten % 13'e düşer. Bisküvilerin pişirilmesinde ise su miktarı % 35-40'tan % 8-10'a düşürülür.

Buharlaştırma

Bisküvi üretiminde kullanılan şurupların ve malt ekstraktının ko-yulaştırılması buharlaştırma işlemine örnek teşkil eder.

Mekanik Ayırma İşlemleri

Un fabrikalarında buğdayların elenerek sınıflandırılması, yabancı maddelerinden ayrılması, ekme ve bisküvi fabrikalarında unun elenerek temizlenmesi, makarna fabrikalarında irmiklerin sınıflandırılması ayırma işlemlerine girer.

Öğütme

Un fabrikalarında buğdayın öğütülmesi, bisküvi fabrikalarında maltın ve ıskarta bisküvilerin öğütülmesi, makarnacılıkta sert buğdayın öğütülerek irmik elde olunması keza ıskarta makarnaların tekrar öğütülmesi bu işlem kapsamına girer.

Karıştırma

Her üç üretim dalında da unun veya irmiğin su ve diğer katkı maddeleri ile karıştırılarak yoğurulması bir karıştırma işlemidir.

12. EKLER

Ek. 1

BİRİMLER ÇEVİRİM ÇİZELGESİ

Uzunluk

$$1 \text{ inç} = 0.0254 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

Alan

$$1 \text{ ft}^2 = 0.0929 \text{ m}^2$$

Hacim

$$1 \text{ gal (Imp)} = 0.004546 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ gal (US)} = 0.003785 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ litre} = 0.001 \text{ m}^3$$

Ağırlık

$$1 \text{ Lb} = 0.4536 \text{ kg}$$

Yoğunluk

$$1 \text{ Lb/ft}^3 = 16.01 \text{ kg/m}^3$$

Hız

$$1 \text{ ft/san.} = 0.0348 \text{ m/san.}$$

Basınç

$$1 \text{ Lb/m}^2 = 6894 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ torr} = 133.3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Viskozite

$$1 \text{ cP} = 0.001 \text{ N san./m}^2$$

$$1 \text{ Lb/ft san.} = 1.488 \text{ N san/m}^2$$

Enerji

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ kal} = 4.186 \text{ J}$$

Güç

$$1 \text{ k W} = 1 \text{ kJ/san.}$$

$$1 \text{ B.G.} = 745.7 \text{ k W}$$

Isı İletim Katsayısı

$$1 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{saat. F}^\circ = 5.678 \text{ J/m}^2 \cdot \text{san. C}^\circ$$

Termal İletkenlik

$$1 \text{ Btu/ft. saat. F}^\circ = 1.731 \text{ J/m. san. C}^\circ$$

Bazı Katsayılar

$$\sigma = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$e = 2.7183$$

$$R = 8.314 \text{ m}^3 \text{ kPa/mol. K}$$

$$R = 8.314 \text{ J/K. mol.}$$

Sıcaklık Derecesi

$$F^\circ = 5/9 (C^\circ)$$

Ek. 2

GAZLARIN BAZI ÖZELLİKLERİ (Atmosfer Basıncında)

	Termal İletkenlik J /m. san. C°	Özgül ısı kJ/kg C°	Yoğunluk kg /m ³	Sıcaklık Derecesi C°
Hava	0.024 0.031	1.005 1.005	1.29 0.94	0 100
Karbon dioksit	0.015 0.022	0.80 0.92	1.98 1.46	0 100
Refrigerant 12 (diklorodiflorometon)	0.0083 0.014	0.92 -	0 -	- 100
Azot	0.024 0.031	1.05 -	1.3 -	0 100

Ek. 3

SIVILARIN BAZI ÖZELLİKLERİ

	Termal İletkenlik J /m. san. C°	Özgül ısı kJ/kgC°	Yoğunluk kg/m ³	Viskozite Nsan. /m ²	Sıcaklık Derecesi C°
Su	0.57	4.21	1000	1.79x10 ⁻³	0
		4.18	987	0.56x10 ⁻¹	50
	0.68	4.21	958	0.28x10 ⁻¹	100
Sakaro: % 20 çöz.	0.54	3.8	1070	1.92x10 ⁻¹	20
	-	-	-	0.59x10 ⁻¹	80
% 60 çöz.	-	-	-	60,2x10 ⁻¹	20
	-	-	-	5.4x10 ⁻¹	80
	-	-	-	3.7x10 ⁻¹	95
NaCl: % 22 çöz.	0.54	3,4	1240	2.7x10 ⁻¹	2
Asetik Asit	0.17	2,2	1050	1.2x10 ⁻¹	20
Etil Alkol	0.18	2.3	790	1.2x10 ⁻¹	20
Gliserin	0.28	2.4	1250	830x10 ⁻¹	20
Zeytinyağı	0.17	2.0	910	84x10 ⁻¹	20
Kolza yağı	-	-	900	118x10 ⁻¹	20
Soya yağı	-	-	910	40x10 ⁻¹	30
Parafin	-	-	900	18x10 ⁻¹	65
Süt	0.56	3.9	1030	2.12x10 ⁻¹	20
Yağsız süt	-	-	1040	1.4x10 ⁻¹	25
Krema: % 20 yağlı	-	-	1010	6.2x10 ⁻¹	3
% 30 yağlı	-	-	1000	13.8x10 ⁻¹	3

Ek. 4

KATI MATERYALLERİN BAZI ÖZELLİKLERİ

	Termal İletkenlik J/m. san. C°	Özgül ısı kJ/kg C	Yoğunluk kg/m ³	Sıcaklık Derecesi C°
1. Metaller				
Alüminyum	220	0.87	2640	0
Pirinç	97	0.38	8650	0
Dökme demir	55	0.42	7210	0
Bakır	388	0.38	8900	0
Yumuşak çelik	45	0.47	7840	18
Paslanmaz çelik	21	0.48	7950	20
2. Metal olmayan				
Asbest levha	0.17	0.84	890	51
Tuğla	0.7	0.92	1760	20
Mukavva	0.07	1.26	640	20
Beton	0.87	1.05	2000	20
Selüloit	0.21	1.55	1400	30
Ham pamuk	0.04	1.26	80	30
Mantar	0.043	1.55	160	30
Kauçuk	0.04	-	72	0
Kontrplak	0.052	-	240	21
Cam, sodalı	0.52	0.84	2240	20
Buz	2.25	2.10	920	0
Polietilen	0.55	2.30	950	20
Polistiren köpük	0.036	-	24	0
Poliüretan Köpük	0.026	-	32	0
Polivinil klorür	0.29	1.30	1400	20
Odun talaşı	0.09	2.5	150	0
Tahta	0.28	2.5	700	30

Ek. 5

HAVA VE SUYUN BAZI ÖZELLİKLERİ

Sıcaklık Der. C°	Termal iletkenlik J/m. san. C°	Viskozite Nsan./m ²	Özgül ısı kJ/kgC°	Yoğunluk kg/m ³
HAVA				
-73	0.0189	1.36x10 ⁻¹	0.996	1.76
-18	0.0230	1.65x10 ⁻⁵	1.000	1.38
0	0.0242	1.73x10 ⁻⁵	1.005	1.29
38	0.0267	1.91x10 ⁻⁵	1.005	1.14
93	0.0301	2.15x10 ⁻⁵	1.009	0.96
149	0.0334	2.40x10 ⁻⁵	1.017	0.83
204	0.0367	2.60x10 ⁻⁵	1.026	0.74
SU				
0	0.57	1.87x10 ⁻¹	4.23	1000
4	0.57	1.53x10 ⁻¹	4.23	1000
16	0.59	1.16x10 ⁻¹	4.19	1000
27	0.61	0.87x10 ⁻³	4.19	998
38	0.62	0.68x10 ⁻¹	4.19	992
66	0.66	0.43x10 ⁻¹	4.19	977
93	0.68	0.30x10 ⁻³	4.19	965

Ek. 6

BAZI GIDALAR İÇİN TERMAL DEĞERLER

	Donma noktası C°	% su	ÖZGÜL ISI		Erime gizli ısısı kJ /kg
			Donma noktası üzerinde kJ/kg C°	Donma noktası altında kJ/kg C°	
1. Meyveler					
Elma	-2	84	3.60	1.88	280
Muz	-2	75	3.35	1.76	255
Greyfrut	-2	89	3.81	1.93	295
Şeftali	-2	87	3.78	1.93	289
Ananas	-2	85	3.68	1.88	285
Karpuz	-2	92	4.06	2.01	306
2. Sebzeler					
Kuşkonmaz	-1	93	3.93	2.01	310
Taze fasulye	-1	89	3.81	1.97	297
Kabak	-1	92	3.93	1.97	306
Havuç	-1	88	3.60	1.88	293
Mısır	-1	76	3.35	1.80	251
Bezelye	-1	74	3.31	1.76	247
Domates	-1	95	3.98	2.01	310
3. Etler					
Sığır eti	-2	75	3.22	1.67	255
Balık	-2	70	3.18	1.67	276
Koyun eti	-2	70	3.18	1.67	276
Domuz eti	-2	60	2.85	1.59	197
Dana eti	-2	63	2.97	1.67	209
4. Çeşitli					
Bira	-2	92	4.19	2.01	301
Ekmek	-2	32-37	2.93	1.42	109-121
Yumurta	-3	-	3.20	1.67	276
Dondurma	(-3)-(-18)	55-66	3.30	1.88	222
Süt	-1	87.5	3.90	2.05	289
Su	0	100	4.19	2.05	335

Ek. 7
BUHAR ÇİZELGESİ

Sıcaklık Derecesi. C°	Basınç kPa	Entalpi (doy. buh.) kJ/kg	Gizli Isı kJ/kg	Özgül hacım m ³ /kg
0	0.611	2501	2501	206
1	0.66	2503	2499	193
2	0.71	2505	2497	180
4	0.81	2509	2492	157
6	0.93	2512	2487	138
8	1.07	2516	2483	121
10	1.23	2520	2478	106
12	1.40	2523	2473	93.8
14	1.60	2527	2468	82.8
16	1.82	2531	2464	73.3
18	2.06	2534	2459	65.0
20	2.34	2538	2454	57.8
22	2.65	2542	2449	51.4
24	2.99	2545	2445	45.9
26	3.36	2549	2440	40.0
28	3.78	2553	2435	36.7
30	4.25	2556	2431	32.9
40	7.38	2574	2407	19.5
50	12.3	2592	2383	12.0
60	19.9	2610	2359	7.67
70	31.2	2627	2334	5.04
80	47.4	2644	2309	3.41
90	70.1	2660	2283	2.36
100	101.35	2676	2257	1.673
105	120.8	2684	2244	1.42
110	143.3	2692	2230	1.21
115	169.1	2699	2217	1.04
120	198.5	2706	2203	0.892
125	232.1	2714	2189	0.771
130	270.1	2721	2174	0.669
135	313.0	2727	2160	0.582
140	361.3	2734	2145	0.509
150	475.8	2747	2114	0.393
160	617.8	2758	2083	0.307
180	1002	2778	2015	0.194
200	1554	2793	1941	0.127
7.0	1.0	2514	2485	129
9.7	1.2	2519	2479	109
12.0	1.4	2523	2473	93.9
14.0	1.6	2527	2468	82.8
15.8	1.8	2531	2464	74.0
17.5	2.0	2534	2460	67.0
21.1	2.5	2540	2452	54.3
24.1	3.0	2546	2445	45.7
29.0	4.0	2454	2433	34.8
32.9	5.0	2562	2424	28.2
40.3	7.5	2575	2406	19.2
45.8	10.0	2585	2393	14.7
60.1	20.0	2610	2358	7.65
75.9	40.0	2637	2319	3.99
93.5	80.0	2666	2274	2.09
99.6	100	2676	2258	1.69

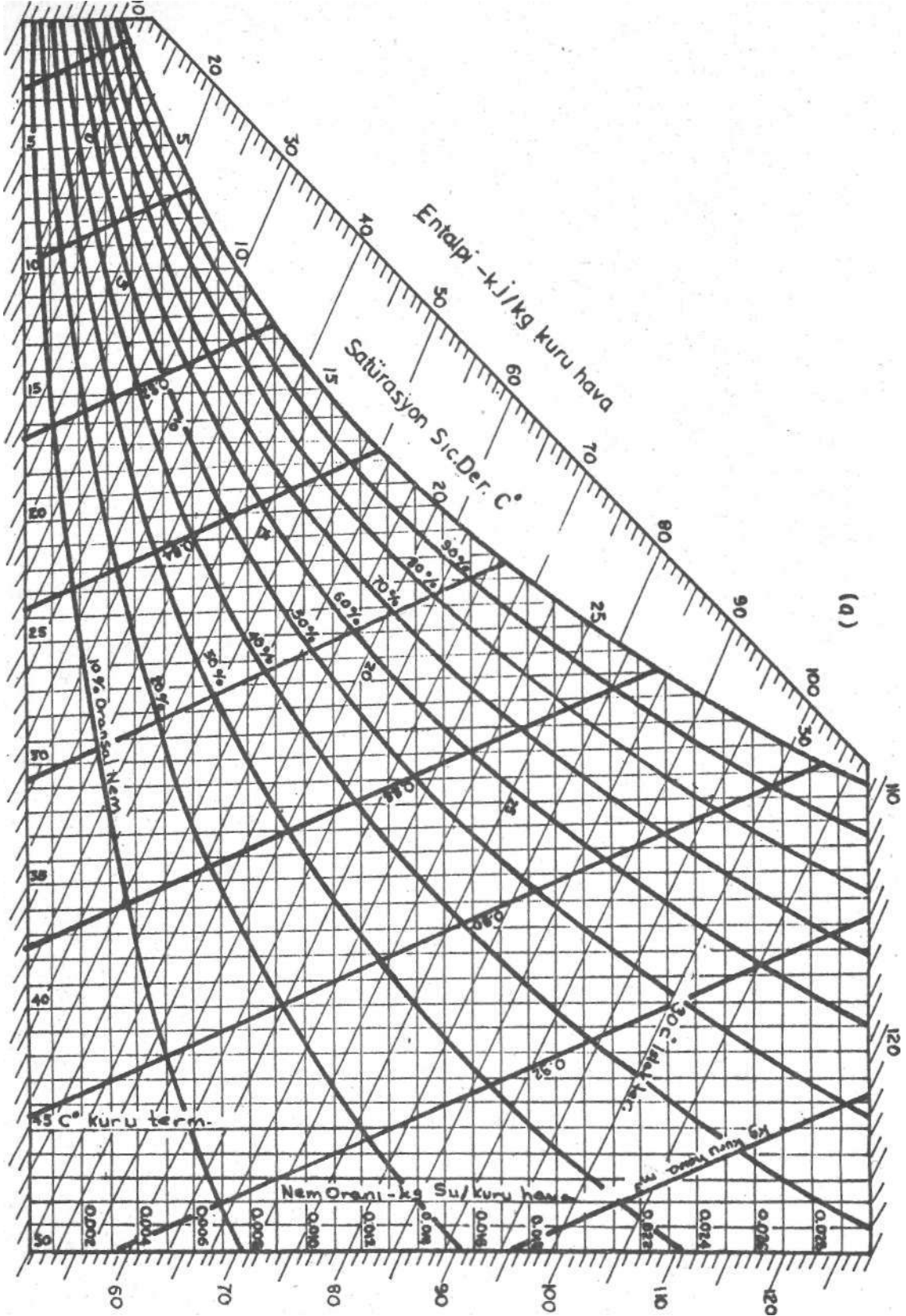
102.3	110	2680	2251	1.55
104.8	120	2684	2244	1.43
107.1	130	2687	2238	1.33
109.3	140	2690	2232	1.24
111.4	150	2694	2227	1.16
113.3	160	2696	2221	1.09
115.2	170	2699	2216	1.03
116.9	180	2702	2211	0.978
118.6	190	2704	2207	0.929
120.2	200	2707	2202	0.886
127.4	250	2717	2182	0.719
133.6	300	2725	2164	0.606
138.9	350	2732	2148	0.524
143.6	400	2739	2134	0.463
147.9	450	2744	2121	0.414
151.9	500	2749	2109	0.375
167.8	750	2766	2057	0.256
179.9	1000	2778	2015	0.194

Ek. 8
STANDART ELEKLER

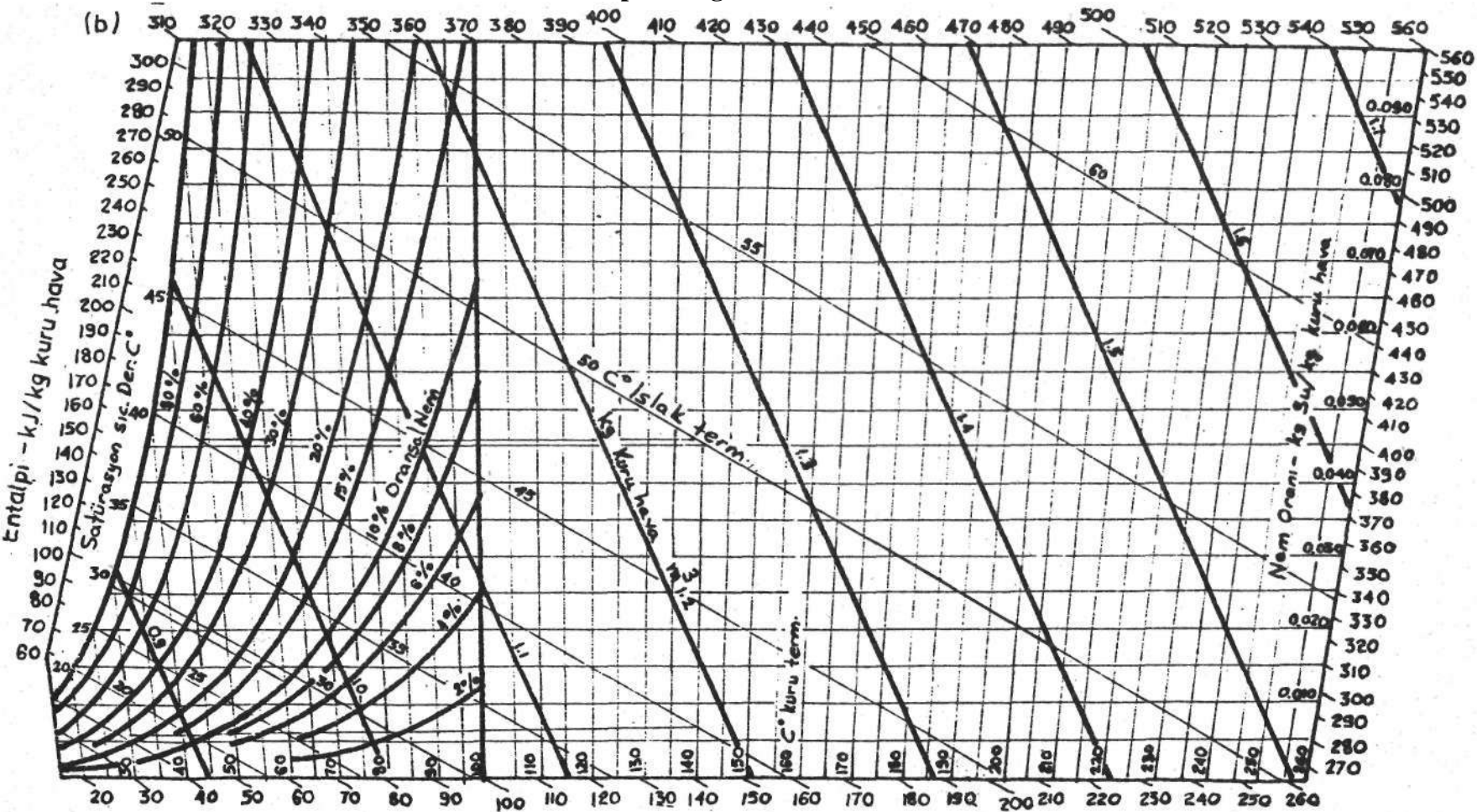
İNGİLİZ STANDART ELEKLER		TYLER STANDART ELEKLER	
Mesh	Göz çapı (inç)	Mesh	Göz çapı (mm)
5	0.1320	3	6.680
6	0.1107	4	4.699
7	0.0949	6	3.327
8	0.0810	8	2.362
10	0.0660	10	1.651
12	0.0553	14	1.168
14	0.0474	20	0.833
16	0.0395	28	0.589
18	0.0366	35	0.417
22	0.0275	48	0.295
25	0.0236	65	0.208
30	0.0197	100	0.147
36	0.0166	150	0.104
44	0.0139	200	0.074
52	0.0116		
60	0.0099		
72	0.0083		
85	0.0070		
100	0.0600		
120	0.0049		
150	0.0041		
170	0.0035		
200	0.0030		

13. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Akman, A.V.** ve **T. Yazıcıoğlu.** 1962. *Fermantasyon Teknolojisi I. Kitap.* A.Ü.Z.F. Yayın No. 51, A.Ü. Basımevi, Ankara. 378 s.
- Banchero, J.T.** ve **Badger, W.L.** 1979. *Kimya Mühendisliğine Giriş I-II.* Çeviren İ. ÇATALTAŞ, İnkılap ve Ata Basımevi, İstanbul. 888 s.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D.** ve **A.E.V. Lilly.** 1981. *Food Engineering Operations.* Applied Science Publishers Limited, London, England. 532 s.
- Diñçer, H.** ve **M. Ayık.** 1984. *Süt Teknolojisi Makineleri.* A.Ü.Z.F. Yayınları: 890, Ders Kitabı: 1, Ankara. 231 s.
- Earle, R.L.** 1966. *Unit Operations In Food Processing.* Pergamon Press, New York, USA. 342 s.
- Earle, R.L.** 1983. *Unit Operations In Food Processing.* Second Edition. Pergamon Press, New York, USA. 207 s.
- Kadayıfçılar, S. 1980. *Gıda Teknolojisi Makinaları.* Ders Notu. A.Ü.Z.F. Teksir No. 39. 194 s.
- Kılıç, O.** 1981. *İşlem Mühendisliği - II.* Ders Notu. A.Ü.Z.F. Teksir No. 76, Ankara. 123 s.
- Parker, M.E.** 1954. *Elements of Food Engineering I-II-III.* Reinhold Publishing Corp., New York, USA. 987 s.
- Tekeli, S.T.** 1965. *Ziraat Sanatları.* Ders Kitabı. A.Ü.Z.F. Yayın No. 237. A.Ü. Basımevi, Ankara. 729 s.
- Toledo, R.T.** 1980. *Fundamentals of Food Process Engineering.* AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, USA. 409 s.



Entalpi'-kJ/kg kuru hava



Entalpi-kJ/kg kuru hava