

SÜZME MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ
VE MEYAN KÖKÜ EKSTRAKTININ
SÜZÜLMESİNE UYGULANMASI

Nimet (Uzunoglu) Karakoç

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç.Dr. Serap Kara

Mart-1987

NİMET KARAKOÇ'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "SÜZME MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ VE MEYAN KÖKÜ EKSTRAKTININ SÜZÜLMESİNE UYGULANMASI" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

30.3.1987

Başkan:

Prof. Dr. K. F. K. Can BAŞER

Uye : *[Signature]*
Doç. Dr. Serap Kaya (Doktora)
[Signature]

Uye : Doç. Dr. M. Ercengiz Yıldırım
[Signature]

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 1.4.1987
gün ve144/7..... sayılı kararıyla onaylan-
mıştır.

[Signature]
Rüstem Kaya
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yurdumuzda uzun yıllar halkın serinletici ve şifalı içecek maddesini hazırlamada kullanıldığı bilinen, bira ve kolalı içkilerin bileşimine girdiği gibi, sigara, şeker ve plastik sanayiinde de önemli bir katkı maddesi olan mayan kökü, Türkiye'nin en eski bitkisel ilaç hammaddelerinden biridir. Ham drogtaki etken maddelerin izole edilmesinde gerekli olan teknolojik işlemler dizisinde en sorunlu basamaklardan biri, droğun sulu ekstrelerinin süzülmesidir.

Bu çalışmada droğun, belirli bir oranda su ile karıştırılıp özütlenmesinden oluşan bulamacından, ilaç hammadresi olarak kullanıma hazır, istenen özellikleri taşıyan bir süzüntü elde etmek üzere, bir seri süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler, parçacık boyut dağılımının, uygulanan basınç farkının, işlem sıcaklığının, ortam olarak kullanılan malzemenin ve bazı süzme yardımcı maddelerinin, vakum koşullarında izotermik olarak gerçekleştirilen bir dizi sabit basınçlı kesikli kek süzme işlemlerinin aldığı süreye, kurutulmuş ekstrakttaki etken madde saflığına, süzülen bulamacın berraklığına ve kırılma indisine, sulu ekstrenin ve kurutulmuş ekstraktın verimlerine etkileri belirlenebilecek tarzda planlanmıştır. Ham deney verilerinden yararlanarak süzme direnci, geçirgenlik, gözeneklilik ve ortalama akış hızı gibi önemli süzme parametreleri de hesaplanmıştır.

Süzme öncesi uygulanan özütleme işleminin süresi ve filtre besleme bulamacının katı/sıvı oranı değişken parametreler olarak incelenmemiş, oluşan keklerde hiçbir yıkama yapılmamıştır.

Sonuçlar, ortam olarak mavi süzgeç kağıdı, süzme yardımcı maddesi olarak da kum kullanarak sıcakta sürekli süzme işlemi yapılmasının, belirtilen sistem için, çalışılan diğer koşullara kıyasla daha uygun olacağını göstermiştir.

SUMMARY

Glycyrrhiza Glabra, known to be used in our country for preparing public's healthy and coolant drink material for years is not only an important additive for cigarette, sugar and plastics industries as well as participating in the composition of beer and cola-containing drinks, but is one of the most ancient raw materials for plant-originated medicines in Turkey, as well. Of all the steps in the technological process to isolate the effective materials from the drug, the filtration of the water-extracts of the drug is one of the most problemful.

In this study, a series of filtration operations to obtain a filtrate, ready for use and having certain desired properties as medicinal raw material, from a slurry prepared first by mixing the drug with some preset amount of water and then extracting it, is established. The experiments have been planned in such a way that, the effects of particle -size-distribution, applied pressure differences, operational temperature, material used as medium and some filter-aids, on the time of filtration, purity of the effective material in the dried extract, and refractive index of the filtered slurry and the yields of the water-extract and dried-extract, could all be determined. Important filtration parameters such as filtration resistance, permeability, porosity and average flow rates are also calculated using the experimental raw data.

The time of extraction before the filtration process and the solid/liquid ratio of the filter's feed slurry are not investigated as variable parameters and no washing is made on the cakes formed.

The results showed that a continuous hot filtration using the blue-band filter paper as the medium and sand as the filter-aid, would be more suitable relative to the other conditions studied for the indicated system.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır.

Çalışmanın yürütülmesinde değerli zamanlarını ayırarak yardımlarını ve manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç.Dr. Serap Kara'ya en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Araştırmamıza, maddi, manevi destek veren Fen Fakültesi Dekanı Sayın Prof.Dr. Ercan Güven'e, Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Sayın Prof.Dr. Rüstem Kaya'ya, içten teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca manevi destek veren Fen Fakültesi Kimya Bölüm Başkanı Doç.Dr. Cemil Öğretir'e, Kimya Bölümü asistanlarına, parçacık boyut analizlerinin gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Yalçın Şahin ve Yrd.Doç.Dr. Hüseyin Mısırdalı'na, değerli zamanlarını ayırarak HPLC analizlerini gerçekleştiren, sulu ekstraktların kurutulmasında katkıda bulunan ve ayrıca ham droğu temin eden Tıbbî Bitkiler Araştırma Enstitüsü'nün tüm elemanlarına ve özellikle Kimya Mühendisi Berrin Bozan'a derin minnet borçluyum.

Tezimi özenle, sabırla ve tertemiz daktilo eden Sayın Serpil Göleci'ye teşekkür ederim.

Çalışmam süresince, maddi ve manevi hiçbir fedakarlığı esirgemeyen ailem ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

MART, 1987

Nimet (UZUNOĞLU) KARAKOÇ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Tanıtımı	1
1.2. Meyan Kökünün Çalışmadaki Önemi	16
2. GENEL BİLGİ	19
2.1. Süzme İşlemlerinin Çeşitleri	19
2.1.1. Ortam süzmesi	20
2.1.2. Derin yatak süzmesi	20
2.1.2.1. Hızlı filtrelerde parçacık uzaklaştırılması ile ilgili mekanizma	23
2.1.3. Kek Süzmesi	27
2.1.3.1. Parçacıkların sürtünme ile sürüklenmesi ve sıkıştırma basıncı	29
2.1.3.2. Sıkıştırma basıncının gözeneklilik, direnç ve geçirgenliğe etkisi	31
2.2. Süzme İşlemlerinde Aranan Özellikler	34
2.2.1. Bulamaç ve kek özellikleri	34
2.2.2. Bulamaç özelliklerinin değiştirilmesi	35
2.2.3. Ürün özellikleri	36
2.2.4. Kek yıkama	36
2.2.5. Kekteki akışkanın giderilmesi	37
2.2.6. Süzme cihazının seçimi	37
2.2.7. Çevrim analizi	37

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.8. Tasarım ve optimizasyon	38
2.3. Süzme Yardımcı Maddeleri ve Ortam Malzemeleri	38
2.3.1. Selüloz	42
2.3.2. Asbest	42
2.3.3. Diyatome toprağı	44
2.3.4. Genleştirilmiş perlit	45
2.3.5. Plastik ve benzeri tozlar	46
2.3.6. Kum	47
2.3.7. Karbon içeren maddeler	48
2.3.8. Killer ve seramik maddeler	50
2.3.9. Metalik malzemeler	50
2.3.10 Molekül elekleri	51
2.3.11 Membranlar ve diğerleri	51
3. KURAMSAL ANALİZ	54
3.1. Gözenekli Ortamlardan Akışkan Akımı ve Teorik Modeller	54
3.2. Süzme İşlemlerine Uygulanabilen Gözenekli Ortam Modelleri	59
3.3. Kek Süzme Teorisi	65
3.3.1. Sıkıştırılabilen kek süzmesi	68
3.3.1.1. Gözeneklilik değişimleri	69
3.3.1.2. Ortalama gözeneklilik değişimleri	71
3.3.1.3. Hacim akınının sabit olduğu durumlarda ortalama süzme direnci ve ortam direnci	73
3.3.1.4. Akış hızının gözeneklilik değişimlerine bağlı olarak değiştiğı durumlarda ortalama süzme direnci	75
3.3.1.5. Kesikli kek süzmesi	76
3.3.1.6. Sabit basınçlı kek süzmesi ..	77

İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.1.7. Sabit hızda süzme	79
3.3.1.8. Basınç ve hızın birlikte değiştiği durumlar	81
3.3.2. Kütle denklikleri	81
3.3.3. Temel süzme denklemlerinin eşdeğer şekilleri	84
3.3.4. Uygun süzme denklemlerinin seçimi	86
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	88
4.1. Deney Düzenegi ve Deneysel Koşullar	88
4.2. Deneyin Yapılışı	92
4.3. Deneysel Bulgular	97
4.3.1. Deney 16 için örnek hesaplama	101
4.3.2. Süzme direncinin uygulanan basınç farkıyla değişimi ve keklerin sıkıştırılabilirliği	109
4.3.3. Diğer bulgular	113
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR DİZİNİ	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Süzme işlemlerinde akış hızı-basınç ilişkisi	14
1.2. Glycyrrhizin (Glycyrrhizic asit)'in açık formülü	18
2.1. Genel bir filtrenin ana kısımları	19
2.2. Derin yatak süzmesinde parçacıkların yakalanma mekanizmaları	24
2.3. Sıkıştırma basıncı ve sürtünme ile sürüklenme	30
2.4. Süzme yardımcı maddesi miktarının akış debisine etkisi	41
4.1. Meyan kökünü süzülmesinde kullanılan deney düzeneği	89
4.2. Deney 16 için (a) zaman-filtrat hacmi, (b) dt/dV - Filtrat hacmi ilişkileri	107
4.3. Direncin uygulanan basınç farkıyla logaritmik değişimi	110
4.4. Geçirgenliğin uygulanan basınç farkıyla değişimi	114
4.5. Gözenekliliğin uygulanan basınç farkıyla değişimi	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Filtre tipleri ve bazı uygulama alanları	5
3.1. Çeşitli katıların akım dirençleri ile geçirgenlikleri	67
4.1. Deney koşulları	91
4.2. Ham deney verileri	93
4.3. Kütle denklikleri ve saflık analizi	99
4.4. Süzme parametrelerinin çalışma koşullarıyla değişimi	102
4.5. Kek gözenekliliği değerlerinin hesaplanması ..	104
4.6. Süzmede uygulanan basınç farkının kek direncine etkisi	111
4.7. Süzölmüş bazı sulu ekstrelerin kırılma indisi değerleri	116

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
A	Boş kule kesit alanı
A_s	Yataktaki parçacıkların toplam yüzey alanı
a	Ampirik sabit (2.1.3.2.1 denkleminde)
B'	Bir sabit grup (3.3.3.3 denkleminde)
B''	Kesim noktası (4.3.1.2 denkleminde)
B	Ampirik sabit (2.1.3.2.5 denkleminde)
B1	Blake sayısı (2.1.2.1.1 denkleminde)
b	Bir sabit grup (3.3.1.6.6 denkleminde)
c	Filtrat hacmi başına kuru kek kütlesi (3.3.1.5.2 denkleminde)
c''	Boyutsuz bir sabit (3.3.1 denkleminde)
c'	Bir sabit grup (3.3.2.12 denkleminde)
dp	Parçacık çapı veya Stokes çapı (2.1.2.1.1 denkleminde)
dm	Karakteristik uzaklık, ortam parçacığının çapı
d	Kanal çapı (3.2.9 denkleminde)
D	Yayınırılık katsayısı
D'	Bir sabit grup (3.3.3.6 denkleminde)
D_F	Filtre çapı
E	Ampirik bir sabit (2.1.3.2.3 denkleminde)
E'	Bir sabit grup (3.3.3.7 denkleminde)
F_s	Sıkıştırma veya sürüklenme kuvveti
$F(\epsilon)$	Gözenekliliğin bir fonksiyonu
F_D	Toplam sürüklenme kuvveti
F_v	Vizkoz kuvvet
F_I	Atalet kuvveti
g	Yerçekimi ivmesi
g_c	Birim çevirme faktörü
I	Sıkıştırma basıncının bir fonksiyonu (2.1.3.2.9 denkleminde)
J	Bir faktör (3.3.1.4.4 denkleminde)
k	Boltzman sabiti
K	Geçirgenlik veya 3.3.1.6.7 denkleminde bir sabit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simge	Açıklama
K_p	Eğim (4.3.1.2 denkleminde)
K_o	Sıkıştırılabilir bir kekin sıkıştırılamadığının varsayıldığı durumda ($s=0$) bulunan geçirgenlik
k_1	Sürüklenme teorisinin vizkoz terimindeki sabit
k_2	Sürüklenme teorisinin atalet terimindeki sabit
K''	Kozeny-Carman sabiti
K'	Darcy sabiti
L	Toplam yatak veya kek yüksekliği
L'	Gözeneklerden oluşan kanalların uzunluğu
m	Kuru kek kütlesi başına ıslak kek kütlesi
n	Ampirik sabit (2.1.3.2.1 denkleminde)
n'	Kapiler sayısı (3.2.4 denkleminde)
N_p	Parçacık sayısı
Pe	Peclet sayısı
P	Uygulanan basınç veya kekteki basınç düşmesi
P_L	Hidrolik basınç
P_s	Sıkıştırma-Sürüklenme basıncı
P_x	Yatağın ortamdaki x uzaklığındaki herhangi bir noktasında hidrolik basınç
P_i	Sıkıştırılabilir yataklarda sıkıştırma basıncının gözenek ve direnci etkilemediği en yüksek değeri
P_{s_0}	Deneysel olarak ölçülen bir sıkıştırma basıncı değeri
q	Süzme işleminde filtre yatağının akış doğrultusuna dik kesit alanı başına birim zamanda toplanan filtrat hacmi, filtratın hacimsel akışı veya boş kule doğrusal akım hızı
r_H	Hidrolik yarıçap
r	Kapiler yarıçapı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
R	Süzme direnci veya geçirgenliği tersi ($1/K$)
R_m	Ortam direnci
s	Sıkıştırılabilirlik katsayısı
s_b	Bulamaçdaki katıların kütleli kesri
s_c	Kekteki katıların ortalama kütleli kesri
St	Stokes sayısı
S	Özgül yatak yüzey alanı (şekli belirsiz parçacıklardan oluşan bir yatağın toplam hacmi başına yataktaki katıların toplam yüzey alanı veya 3.2.4 denkleminde n sayıda kapiler içeren yatağın özgül yüzey alanı)
S_p	Parçacık yüzey alanı
S'_p	Yataktaki parçacıkların özgül yüzey alanı (3.2.1.3 denkleminde)
Se	Sedimentasyon katsayısı
t	Zaman
T	Mutlak sıcaklık
u	Gözenekli bir ortamda boş kule doğrusal akım hızı
$\bar{u}$	Herhangi bir boş kanalda gerçek doğrusal ortalama akış hızı (Dupuit bağıntısı $\bar{u}=u/\epsilon$)
w	Kuru kek kütleli veya filtreye beslenen bulamaçtaki katı kütleli
w''	Kek-süspansiyon ara yüzeyinde w' değeri
w'	Birim filtre kesit alanı başına filtrede yığılan kuru katı kütleli
v	Filtrat hacmi başına biriken yağ kek kütleli (3.3.3.4 denkleminde)
V	Toplanan filtrat hacmi
V_p	Parçacık hacmi
V_s	Toplam katı hacmi

SİMGELELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)-

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
V''	Birim zamanda toplanan filtrat hacmi
V'	Filtre kesit alanı başına süzülen filtrat hacmi
V_0	Eşdeğer filtrat hacmi
α_i	P_i sıkıştırma basıncına karşı gelen direnç
α_{ort}	Ortalama süzme direnci (3.3.1.4.7 denkleminde)
α	Süzme veya kek direnci
α_0	Uygulanan basınç farkının (0) olduğu durumdaki süzme direnci
α_T	Akış hızının gözeneklilikle değiştiği durumlarda ortalama süzme direnci
β	Ampirik bir sabit (2.1.3.2.5 denkleminde)
ΔP	Yatak boyunca hidrolik basınç düşmesi
δ	Eşdeğer çap
ϵ	Yatak gözenekliliği veya yatağın katı madde ile kaplı olmayan hacimsel kesri
$1-\epsilon$	Yatakta katıların oluşturduğu hacim kesri
ϵ_{ort_0}	Deneysel olarak ölçülen bir P_{s_0} değerinde ölçülen ortalama gözeneklilik
ϵ_i	P_i sıkıştırma basıncına karşı gelen yatak gözenekliliği
ρ	Akışkan yoğunluğu
ρ_s	Katı madde yoğunluğu
σ	Yoğunluk oranı (ρ_s / ρ)
μ	Akışkan vizkozitesi
λ	Ampirik bir sabit (2.1.3.2.3 denkleminde)
$\emptyset$	Küresellik faktörü

SİMGELELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
ata	Atmosfer cinsinden mutlak basınç
atü	Atmosfer üzeri basınç
DLVO	Derjaguin -Landau-Verveey-Overbeek
EA	Elek altı
EÜ	Elek üstü
HPLC	High performance liquid chromatography
KSK	Kaba süzgeç kağıdı
MSK	Mavi süzgeç kağıdı
nm	Nanometre
PVC	Polyvinylchloride
PVG	Pressure-vakum-gravity
ppm	Parts per million
rpm	Revolution per minute
sg	Specifik gravity (özellik yoğunluk)
SRC	Solvent Refined coal

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanıtımı

Bir katıyı birlikte olduğu akışkanından ayırmak amacıyla akışkanın gözenekli bir ortamdan geçirilmesi işlemine "süzme", bu gözenekli ortamın yerleştirildiği aygıtta da "filtre" denir. Süzülecek karışımdaki akışkan sıvı ise işlem "katı-sıvı" süzmesi adını alır. Ayırıştırılacak karışımdaki katı miktarının sıvı faza oranla az olduğu veya katı ve sıvının bağıl yoğunlukları arasındaki farkın diğer metodlarla ayırmaya uygun olmadığı koşullarda genellikle bu süzme işlemine başvurulur (Banchemo and Badger, 1979; Foust, 1959; Perry and Chilton, 1973; Mc Cabe and Smith, 1976; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Jones, 1973; Hill, 1985 a; Warring, 1981).

Ayrılması istenen bir karışıma uygun olan süzme sisteminin tasarımı çok önemlidir. Ancak filtrelerin tasarım analizi ile ilgili genel bir yöntem henüz mevcut değildir. Endüstriyel süzme konusunda 1923 yılında Arthur Wright (Orr, 1977) tarafından yayınlanan kitaptan sonra günümüze dek, özellikle genç kimya, şeker ve metalurji endüstrilerinde karşılaşılan sorunları pratik açıdan çözümlemek üzere değişik tip birçok süzme cihazı geliştirilmiş olmakla beraber, bu süre içinde teori, deneylerin ve işletme verilerinin kullanılmasında yalnızca yardımcı bir rol oynamış, temelde ise çok az bir gelişme olmuştur (Chen, 1978; Brown, 1982). Katı-sıvı ayırıcı cihazların özelliklerini öğrenmek isteyen birçok mühendis, son ürün için hangi özelliklerin gerekli olduğunu bile genellikle bilmez. Katı-sıvı ayırma süreçlerinin tasarımı ile ilgili deneysel verilerin, ısı aktarımı ve distilasyon gibi temel işlemlerde olduğu şekilde literatür veya el kitaplarından kolayca bulunması imkânsızdır. Bu amaçla daha önce çalışılmış olan bir süzme tipine özgü süreç koşulları ile ilgili başlangıç verileri, bir cihaz veya filtre yardımcı maddesi imalatçısından sağlanabilir. Uygulama yeni

ve tekse veya mevcut verilerin denetlenmesi veya çoğaltılması gerekiyorsa laboratuvarında sistemli bir şekilde süzme deneylerinin yapılması şarttır (Çokadar, 1983; Tiller and Cooper, 1960; Chiang and Tien, 1985; Taygun, 1973; Gür ve Varol, 1977; Emneus, et al., 1969; Emneus, 1968).

Belirli bir amaca uygun olan filtre tasarımının seçimi önemli ölçüde ekonomik koşullara bağlı olup, ekonomik avantajlar aşağıda belirtilen etkenlerle değişir (Taygun, 1973; Kara, 1977; Kara ve Uzunoğlu, 1986; Orr, 1977; Amyx, et al., 1960):

- a. Katı parçacıkların özellikleri (boyut ve boyut dağılımı, şekil, taneciklerin birleşme eğilimleri, deforme olabilirlikleri, yoğunlukları).
- b. Akışkan özellikleri (yoğunluk, vizkozite, yüzey gerilimi, kimyasal tepkinlik).
- c. İşlenecek madde miktarı.
- d. Beslemedeki katı madde derişimi.
- e. İşlemin sürekliliği.
- f. Alıkonacak maddenin katı veya sıvıdan herhangi biri veya her ikisinin birlikte oluşu.
- g. Ayırıştırılan sıvı ve katı ürünlerin mutlak ve bağıl önemi ve değeri.
- h. İstenen ayırma derecesi.
- ı. Katı ürünün yıkama işlemi gerektirip gerektirmediği.
- j. Katı ürünün kuruluk derecesi.
- k. İşletme işçiliği, kapital, bakım ve harcanacak güçle ilgili bağıl maliyetler.

Tasarım için gereken süzme mekanizmasının (ortam, derin yatak ve kek süzmesi) ve süzme için gerekli yürütücü kuvvetin (yerçekimi, emiş, pozitif basınç ve santrifüj) kaynağının seçimi yukarda belirtilen faktörlere bağlıdır (Willis, et al., 1985; Shirato, et al, 1969; Edle

and Gooding, 1985; Emi, et al., 1982; Tiller and Green, 1973; Topacık, 1983).

Süzme işlemini kolaylaştırmak üzere, süzülecek bulamacın özellikleri süzme öncesinde bazı ön işlemlerle değiştirilir. Örneğin parçacık boyutunu arttırmak için yumaklaştırma veya pıhtılaştırma gibi kimyasal ön işlemler veya kristal büyütülmesi, dondurma veya süzme yardımcı maddesi ilavesi gibi çeşitli fiziksel ön işlemler uygulanabilir (Gündüz, 1979; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Purchas, 1971; Smith, 1967; Purchas, 1967; Cooke, 1984; Eberts and Ross, 1984; Balkan and Tolun, 1985; Balkan, 1982; Balkan et al., 1980; Pathwardhan and Tien, 1985; Çokadar ve Saatçi, 1980; Gürbüz, 1985).

Yine süzme işleminden önce, süzme cihazının yükünü azaltmak üzere bulamacın deriştirilmesi veya berraklaştırılması gerekebilir. Beslemeyi deriştirmek amacıyla bulamacın bir kısmı koyulaştırıcılardan veya hidrosiklonlardan geçirilir (Orr, 1977; Karacıgan, 1985).

Ön işlemleri takibeden süzme basamağı kek oluşumsuz derin yatak tipi granül veya kartuş filtrelerde veya değişik tip kek oluşumlu filtrelerde gerçekleştirilir. Ayırma işlemleri basınçlı, emişli veya gravite etkili (PVG) filtrelerde yürütülebildiği gibi, çöktürmeli veya süzgeçli tip santrifüj filtrelerinde de yürütülebilir (Gal, et al., 1985; Payatakes, et al., 1974; Tiller and Horng, 1983; Tiller and Yeh, 1985; Bollinger, 1985; Yeşilören, vd., 1986).

Derin yatak filtreleri genellikle az miktardaki küçük katı parçacıkların uzaklaştırılması için kullanılır ve genellikle kesikli çalışırlar (Payatakes, et al., 1974; Chiang and Tien, 1985; Kara, 1977; Akdeniz, 1985). Daha derişik ve iri taneli bulamaçlar için kek süzmesi uygulanır. Kek oluşumlu filtrelerde işlemler, kesikli, sürekli veya yarı sürekli olabilir (Kara ve Uzunoğlu, 1986; Tiller and Green, 1973; Tiller and Horng, 1983; Tiller and Yeh, 1985; Tosun, 1985).

Tüm süzme sürecinin veya süzme çevriminin son basamağını kekin yıkanması ve kekteki akışkanın giderilmesi ile süzüntünün parlatılmasından oluşan son işlemler teşkil eder. Kek yıkanması, kekteki parçacıkların akışkanla yer değiştirmesi veya yeniden bulamaçlaştırma yoluyla gerçekleştirilir. Yıkanan kekin akışkan miktarı daha sonra mekanik sıkma veya hidrolik akışkan giderme yöntemleriyle istenen kuruluk derecesine azaltılır. Süzüntünün parlatılması işlemlerinde ise çeşitli membranlarla ultrafiltrasyon yöntemleri uygulanır (Cheremisinoff, et al., 1984; Nakao, et al., 1979; Hill, 1985 b; Applegate and Pont, 1984; Altena and Belfort, 1984).

Süzme ile ilgili literatürde basınç düşmesi, kek direnci, ortam direnci, gözeneklilik, geçirgenlik, filtre katsayısı ve özgül yüzey terimlerine çok sık rastlanır (Dullien, 1975; Collins, 1973; Evranuz, 1985; Tiller and Yeh, 1985; Tiller and Cooper, 1960; Tiller and Green, 1979; Shirato, et al., 1969; Willis, et al., 1985; Schneider and Gelbin, 1985; Yörükoğulları, 1985). İşleyiş mekanizmalarının ve tipik kullanım alanlarının Çizelge 1.1'de özetlendiği filtrelerin uygun seçimi ve en uygun koşullarda çalışabilirlikleri, bu parametrelerin birleştirildiği modeller için yapılan varsayımlara bağlıdır. Ancak her amaca uygun tek bir filtrenin varolmadığı da bir gerçektir (Coşkun, 1975; Zuber, et al., 1984; Parmaksızoğlu, 1975; Shreve, 1985; Chen, 1978; Taygun, 1973; Warring, 1981; Gündüz ve Sökmen, 1984; Collins, 1979; Rafineri Tesis Bölge Müdürlüğü, 1972).

Matematiksel inceleme açısından süzme süreçleri basınç ve akış hızının zamanla değişimine bağlı olarak sınıflandırılır. Akım karakteristikleri genellikle pompalama mekanizması ile belirlenir. Bu açıdan aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir (Orr, 1977):

- a. Sabit basınçlı süzme işleminde hareketi sağlayan mekanizma sabit basınçta tutulan sıkıştırılmış bir gaz veya vakum pompasıdır.
- c. Sabit hızda süzme pistonlu pompalarla sağlanabilir.

Çizelge 1.1. Filtre tipleri ve bazı uygulama alanları
(Shreve, 1985; Orr, 1977; Warring, 1981;
Yeşilören, et al., 1986; Kirk-Othmer, 1966;
Perry and Chilton, 1973)

A. Kesikli Filtreler

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü Kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
1. Dikdörtgen dikey levhalı veya dikey hücreli filtrepresler <u>Levhali-çerçeve</u> Çerçevesiz ardışık plaka hücreli Carver hidrolik sıkıştırmalı otomatik kek çıkartmalı Granger tersinir hücreli Readco kısa devirli kayışlı kuru kek çıkartmalı Kraus-Maffei hücre plakalı	Yağlama yağları katkı maddeleri Aljinat tuzları Farmasotikler Reçineler Selüloz ksantat Şeker berraklaştırıcı çamurlar Metalürjik çamurlar Katalizör geri kazanımı Yenebilen (edible) yağlar Lağım (sewer) çamurları İnce süzme işlemleri	Basınç(2-6 atü)	Hava itişli ve kayışlı kuru deşarj Hidrolik ıslak deşarj Otomatik deşarj
2. Yaprak (Leaf) filtreler <u>Kelly dikey yapraklı yüksek basınçlı yatay tank</u> Leitz dikey yapraklı yatay tank	Alümina ve kükürt üretimi Atık su ve proses suyu Şeker çözeltileri	Basınç(4-16atü)	Yaş savak deşarj Ani şok, titreşim, basınçlı hava, santrifüj,

Çizelge 1.1. (Devam)

Filtre tipi	Uygulama Alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
Sweetland dikey yapraklı yatay tank	Kamış veya pancar şekeri yağlama yağı katkı maddeleri		fırçalama şeklinde kuru deşarj
Vallez dönen dairesel dikey yapraklı yatay tank	Biranın ilk parlatılması		
Funda, Chemap, Rodney Hunt yatay yapraklı dikey tank	Kostik klor tuzları		
Yatay yapraklı yatay tank	Nikel sülfat		
Dikey yapraklı dikey tank	Poliyetilen		
Yatay yapraklı dikey tank	Alüminyum sülfat		
	Kaplama (plating) çözeltileri		
	Naylon tuzları		
	Sodyum klorat		
	Melamin		
	Yenebilen yağlar		
Dikey boru yaprak elemanlı dikey tank			
Eimco-Burwell dönen dairesel çerçeveli dikey yapraklı filtre			
Emişli Moore tipi yaprak filtrelere	Titanyum dioksit üretimi	Vakum	Santrifüj
	Su işlenmesi		
	Karıştırılabilen bulamaçlar için kalınlaştırıcı (thickener)		
	Boru şekline dönüştürülmüş yapraklarla berraklaştırıcı (clarifier)		
	Uçucu sıvılar için kullanılamaz		
	Sıcaklık kontrolü yapılamaz		

Çizelge 1.1 (devam)

Filtre tipi	Uygulama alanı	Sürtükleyici kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
3. Yatay diskli kartuş filtrelere	Petrol yağları Domuz yağı (Lardoil) süzülmesi Yenebilen yağların geri kazanımı Yiyecek endüstrisi Farmasotik endüstrisi Kağıt endüstrisi yan ürün çamurları (tall oil) Reçine ve vernik endüstrisi Rum, votka ve benzeri içki endüstrisi	Basınç (20 atü)	
4. Bölmeli yatay tepsili filtreler Galigner eğilen tepsili Putsch-Teller hareketli tepsili eğik filtreler	Mineral işlemleri ve yüzdürme (floatation) konsantrelerinin süzülmesi Kıymetli metallerin geri kazanımı Alkid reçineleri Fosforik asit üretiminde oluşan alçıtaşının süzülmesi Tepsilerde katı maddeler çözündürülebilir veya eritilebilir Katı veya sıvı maddelerin tümü geri kazanılabilir Etkin kurutma sağlanabilir	Vakum	Tablaları ters çevirerek veya eğerek Hava üfleyerek

Çizelge 1.1. (devam)

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
5. <u>Torba (bag) filtreler</u> Graund-Pond (GP) basınçlı	Az katı içeren bulamaç- lar II. karbonatlama şeker çözeltisi Dekanter şeker şerbet- lerinin son süzmesi Boyalar dan büyük küt- lelerin uzaklaştırıl- ması Yağlama yağlarından kir- lerin uzaklaştırılması	Basınç (0,8- 2,5 atü) Gravite	Basınçlı hava Titreşim
6. Geçirgen doku, metal veya seramik borulu filtreler <u>Alfa Laval boru elemanlı</u> BMA kerzen boru elemanlı Yatay borulu yatay tank Burt dönen içi boş tek yatay boru	Sodyum hidroksit Kondensat ve atık su Tuzlu su çözeltileri (brines) Kaplama çözeltileri Şeker şerbetleri İnce süzme işlemleri Suların sterilizasyonu Farnasotik Filtrat parlatılması Metalürji endüstrisi Özütleme (extraction) atıkları Çinko sülfat bulamaçları Elektrolitik çinko rafi- nasyonu	Basınç (4-6atü)	Islak deşarj Gaz veya hava ile kuru deşarj

Çizelge 1.1. (devam)

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
7. Laboratuvar tipi filtreler Nutsche erleni Buchner hunisi Gooch krozesi 8. Putsch döner tambur	Laboratuvar denemeleri Akıcı kristalli maddeler Korozyon yapıcı maddeler I.karbonatlama şeker şerbeti	Basınç Gravite Vakum Basınç (3 atü)	Hava
1. <u>Tablalı ve eğilen tavalı</u>	B. Yarı Sürekli Filtreler Katı yüklemesinin fazla olduğu durumlar Yüksek hidrolik basınç gerektiren durumlar Demir cevheri konsantreleri Alümina trihidrat Fosforik asit Akışkan yatakta parçalama Katalizörler Granül halinde parçacıklar içeren maddelerin yıkamalı veya yıkamasız olarak suyunun giderilmesi (dewatering)	Gravite Vakum	Tavaları eğerek Çarklı (paddle) Boru tomarı (scroll) ile

Çizelge 1.1. (devam)

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
2. Kısa devreli veya sonsuz kayışlı filtreler			
Delpark konveyör tipi	Şeker sanayi Atık çamurlardan su giderme Toksik ve tutuşabilen maddelerin süzülmesi Makina parçaları soğutularının yeniden kazanımı (reconditioning) Püskürtme boyaların suyunun ayrılması Kaplama çözeltileri Konserve atıkları Yenebilen yağların ani soğutulması ve çekilmesi (drawing)	Vakum Basing Gravite	Kayışlı

Çizelge 1.1. (devam)

C. Sürekli Filtreler

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
1. Döner tambur filtreler (0,25-3.rpm) Oliver	Düşük direnç gösteren mad-Vakum(0,3-0,4ata)	Hava üfleme li	
Ferric	Mısır, glikoz ve yağların işlenmesi	Kazıyıcı bıçak- lı	
Merrill	Farmasotik ve antibiyo- tikler	Merdaneli(roller)	
Dorrco içten beslemeli tambur	Enzim üretimi Şeker sanayii Fabrika atıkları ve lağım çamurları Yağlama yağları ve katkı maddeleri Şarap üretimi Evsel atık sulardaki yağ- lar (slopoil) Meyva ve sebze suları Yiyecek asitleri Kamış şekeri berraklaş- tırma çamurları Metalürjik ziftler (slime) Kobalt sülfat gibi kim- yasal tuzlar Kireç (lime), kalsiyum sülfat ve tebeşir bulamaçları Mum giderme (dewaxing) Hızlı yığılan kekler ve	İplikli (string) Spiral borulu (coil) Kayışlı (belt)	

Çizelge 1.1. (devam)

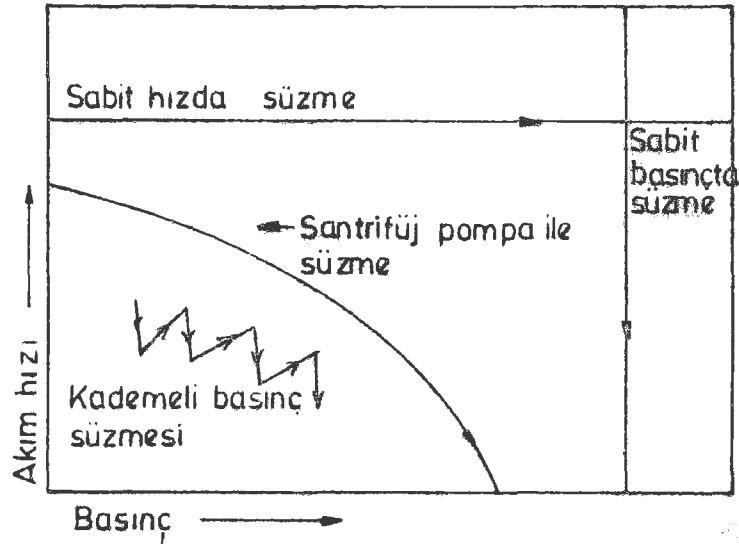
Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
Kraus-Maffei basınçlı döner tambur	iri taneli bulamaçlar oldukça kuru kek istenen haller Yüksek basınç ve sıcaklık gerektiren işlemler Borik asit ve benzeri çözücülerin süzülmesi Maden eritilmesi Çözücü ile rafine edilmiş kömür (SRC) ürünleri Mumlar Yağlar ve yağlı kirler (grease) Parafin Normal sıcaklıkta vizkoziteleri yüksek olan çözücüler	Basınç (2 atü)	
2. Disk filtreler	Dorr-Oliver Amerikan döner dikey disk yatay filtre Basınçlı Oliver tepsili (table) Dorr-Oliver yatay disk, dikey basınçlı tank	Basınç Vakum	

Çizelge 1.1. (devam)

Filtre tipi	Uygulama alanı	Yürütücü kuvvet	Kek uzaklaştırma şekli
3. Kayışlı filtreler Bantlı veya sonsuz yatay/kayışlı Lurgi kayış filtre	(orr dressing) Kağıt hamuru ve kağıt işlenmesi Kağıt üretimi (Fourdrinier) Boyalar maddeler (Pigment) Jips kristalleri Farmasotikler	Vakum	
4. Artizan kademeli ince kek filtreleri	Derişik süspansiyonlar Hızlı süzünü elde edi- lebilen koşullar	Basınç (24 atü)	Hareketli per- vane (vane) Bıçaklı
1. Guva kulesi iki sonsuz ortam kayışlı filtre	D. Özel Filtreler	Gravite	
2. ECC(English China Clay) içiçe iki boru filtre	Kuru kek istenen durumlar Dekanter çamuru süzülmesi	Basınç	Hidrolik memb- ran sıkıştır- malı Hava şişirmeli membran sıkış- tırmalı
3. VC(Vacum concentric)iç- teki döner içiçe iki silindirli boru filtre			
4. Kum filtreleri ve benze- ri derin yatak filtreleri	Su işlenmesi, bira endüstrisi	Gravite, basınç	Akışkanlaştırma üstten sıyırma
5. Gelman membran filtre- leri	Hava veya sudan mikroorganiz- maların süzülmesi	Basınç(5-10atü)	

- c. Bir santrifüj besleme pompası kullanıldığında geri basınç az da olsa değişeceğinden, süzme sırasında basınçla birlikte hız da değişir.
- d. Deneysel amaçlarla, değişik pompalama koşullarının etkilerinin incelenmesi için, süzme sırasında basınç elle değiştirilerek kademeli basınç süzmesi gerçekleştirilir.

Bu dört durum Şekil 1.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Okların yönü zaman artışını göstermektedir.



Şekil 1.1 Süzme işlemlerinde akış hızı-basınç ilişkisi (Orr'dan , 1977).

Endüstriyel veya laboratuvar ölçeğinde süzme işlemini yaparken uygun bir akım elde etmek üzere ya basınç düşüşü arttırılır veya akıma olan direnç azaltılır. Birçok endüstriyel uygulamalarda filtre cihazının toplam boyutunu arttırmadan süzme alanı yeterince geniş tutularak akım direnci azaltılabilir. Filtre çevrimi süresince toplam basınç düşüşü ise uygulanan işletme yöntemine ve kullanılan filtre tipine bağlıdır. Örneğin derin yatak kum filtrelerinde toplam basınç düşüşü filtre yatağı üzerindeki sıvı yüksekliği ile değişir. Bu basınç farkı döner vakum filtrelerinde bir atmosferden düşük değerlerde sabit kalır.

Filtre preslerde ve basınçlı yaprak filtrelerde basınç değiştirilebilir veya isteğe göre sabit bir değerde tutulabilir (Foust, et al., 1959; Warring, 1981; Kirk-Othmer, 1966).

Genellikle sabit bir akımla başlatılan kek süzme işlemleri, öngörülen bir basınç seviyesine erişilinceye kadar devam eder; daha sonra basınç sabit tutulur. Böylece başlangıçta gevşek örgülü bir tabaka oluşturularak süzme ortamının gözeneklerine en az seviyede katı itilmiş olur. Filtre, başlangıçta besleme pompasından gelen nisbeten düşük basınçlardaki tüm akışkanı kabul ettiği için bu metod aynı zamanda uygun bir işletme koşulu da sağlar. Kek biriktikçe besleme basıncı artırılır. Ancak santrifüj besleme pompalarıyla akış sağlandığı zaman filtredeki akış hızı az da olsa düşme gösterir. Ekonomik olarak en uygun veya emniyet açısından en yüksek basınca erişildiğinde işlemler besleme basıncını bu değerle kontrol ederek sürdürülür (Foust, et al., 1959).

Derin yatak süzmesinde ise parçacıklar önce sıvı akışına elverişli kanallar şeklinde bir geçit matriksi oluşturur ve tutulan parçacıklar bu geçitleri gittikçe daraltarak akışa engel olurlar. Süzme ortamlarının nisbeten temiz olduğu süzmenin başlangıç anlarında geçerli olan derin yatak süzmesinin dinamik davranışı ile ilgili iki özellik vardır. Bunlardan birincisi çıkan akımın kalitesinin geçmiş olup doğrudan birikim sürecinin etkinliğini yansıtır. İkincisi ise, süzme sırasında basınç düşüşünün artışıdır ve süzme işlemi dolayısıyla süzme ortamının gözenekli yapısının değişiminden ileri gelir (Kara, 1976, 1977).

Genel süzme konusu ile ilgili olarak yukarda kısaca değinilen kavramların önemli bir kısmı ilerdeki bölümlerde tekrar ele alınacaktır. Ancak bu çalışmanın amacı önce katı-sıvı süzmesi ile ilgili mevcut bilgileri ve günümüzdeki konumunu ve önemini özetle belirtmek ve sonra

konuyu sürükleyici kuvvetin vakum olduğu koşullarda, özellikle sabit sıcaklıkta yapılan kesikli kek süzmesi işlemlerini, uygulamada zorluklarla karşılaşıldığını gözlediğimiz meyan kökü ekstraktının süzülmesine uygulamaktır.

1.2. Meyan Kökünün Çalışmadaki Önemi

Türkiye'nin en eski bitkisel ilaç hammaddelerinden biri olan meyan kökü (*glycyrrhiza glabra*) yurdumuzda yıllardan beri halkın serinletici ve şifalı içeceğini hazırlamak için de kullanılmakla beraber, bu bitkinin teknolojik değerlendirilmesine ancak son yıllarda önem verilmeye başlanmıştır. İçerdiği saponozit ve flavanozitlerden dolayı farmakolojik etki gösteren meyan kökünün Türkiye'de yetişen varyetelerinin sulu ekstrelerinde bir saponozit olan glycyrrhizin miktarı, Avrupa'da yetişenlere kıyasla çok daha fazladır. Bu nedenle bitkisel droglar arasında meyan kökü Türkiye açısından önemli bir ihraç maddesidir. 1981 yılında Belçika, Amerika Birleşik Devletleri ve Fransa'ya toplam 543160 ton meyan kökü ihracından 44769841 Dolar gelir sağlanmıştır.

Bu droğun kurutulmuş sulu ekstresi veya izole edilen etken maddeleri çok eskiden halk arasında ve hekimler tarafından çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmış ve halen de aynı amaçla kullanılmaktadır. Meyan kökünün göğüs yumuşatıcı, balgam söktürücü, idrar artırıcı ve tad değiştirici etkileri vardır. Tablet hazırlanmasında kullanıldığı gibi sigara, şeker ve plastik sanayisinde de önemli bir katkı maddesidir. Bira ve kolalı içkilerin bileşimine girdiği gibi Anadolu'da halk arasında şerbet hazırlamada da kullanılmaktadır. Meyan kökünün sulu ekstrelerinin mide asidini azaltıcı ve ülser olasılığını düşürücü etkileri vardır. Meyan kökü bitkisinden elde edilen glycyrrhizin'in (*glycyrrhizic acid*) tuz ve bileşiklerinin tümör oluşumunu engellediği görülmüştür. Suda çözülebilen tuzları ile birlikte anjin ve üst solunum yolları hastalıkları tedavisinde kullanılmıştır. Ülkemizde "Meyan Şanlı" adlı pastil halen bu amaçla kullanılır.

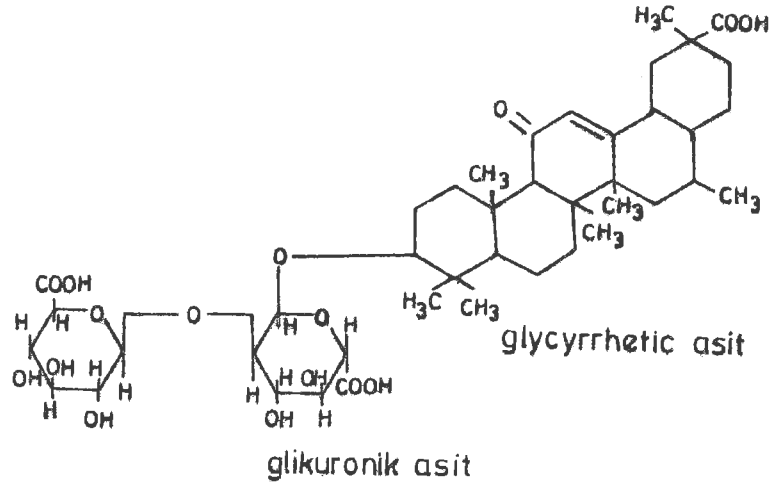
Glycyrrhetic asidin iltihap dağıtıcı, mikrop öldürücü ve özellikle spazm-giderici etkisi sindirim sisteminde kendisini gösterdiğinden ve mide ve bağırsak kasılmasını azalttığından, drastik mushillerle beraber ağrıyı azaltmak amacıyla bu drogtan yararlanılır.

Glycyrrhiza Glabra L. türünün kök ve rizomlarından oluşan meyan kökü, sarı renkli, lifli ve önce acımsı sonra tatlı lezzet verişli yanında, bol nişasta etrafında basit billur dizileri bulunan sklerenkima demetleri, odun boruları ve mantar dokusu parçaları ile mikroskopik olarak kolayca tanınır.

Akdeniz Bölgesi, Rusya, Yakın Doğu Ülkeleri ve Orta Amerika'da yaygın olan Glycyrrhiza türleri Türkiye'de Ege Bölgesinde Alaşehir, Söke ve Çine'de ve ayrıca Muş, Antalya, Urfa ve Erzincan yörelerinde bulunmaktadır. Kültürü ender yapılan bu drog yabancı bitkilerden elde edilir. Bileşiminde nişasta, şeker (glikoz, sakkaroz), zamk, reçine, acı madde, flavon glikozitleri ve triterpenik bir saponizit olan glycyrrhizin bulunur. Droğun başlıca etken maddesi kök ve rizomlarında % 10 oranında bulunan glycyrrhizin'dir. Bu etken maddenin açık formülü Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

Bitkide potasyum ve kalsiyum tuzu halinde bulunan glycyrrhizin kolay kristallenir ve özellikle sıcak suda çözünür. Glycyrrhizin hidroliz edilince bir molekül glycyrrhetic asit yanında şeker olarak da iki molekül glikuronik asit teşekkül eder.

Droğun elde edildiği türe göre köklerdeki glycyrrhizin miktarı % 5-13 arasında değişmektedir. Flavon glikozitlerinin toplam miktarı % 1 civarındadır. Bunlardan en önemlileri Liquirozit ve İsoliquirozit olarak bilinen yapılardır.



Şekil 1.2. Glycyrrhizin (Glycyrrhizic asit)'in açık formülü (Bozan'dan, 1986)

Glycyrrhiza varyetelerinin köklerinin sıcak suyla özütlenmesi, vakumda yoğunlaştırılması ve bal kıvamına gelince elle silindirik çubuklar haline getirilmesi suretiyle elde edilen meyan balında şeker, acı madde, zambak, nişasta ve glycyrrhizin vardır. Glycyrrhizin miktarı Avrupa hülâsalarında % 13-16, Anadolu hülâsalarında ise % 23-25 arasındadır. Türkiye'de İzmir, Söke ve Salihli'de meyan balı elde edilen tesisler kurulmuştur.

Meyan kökünün yukarıda kısaca özetlenen özellikleri, önemi ve işlenmesi ile ilgili geniş bilgi, Bozan (1986) tarafından yapılan çalışmadan sağlanabilir.

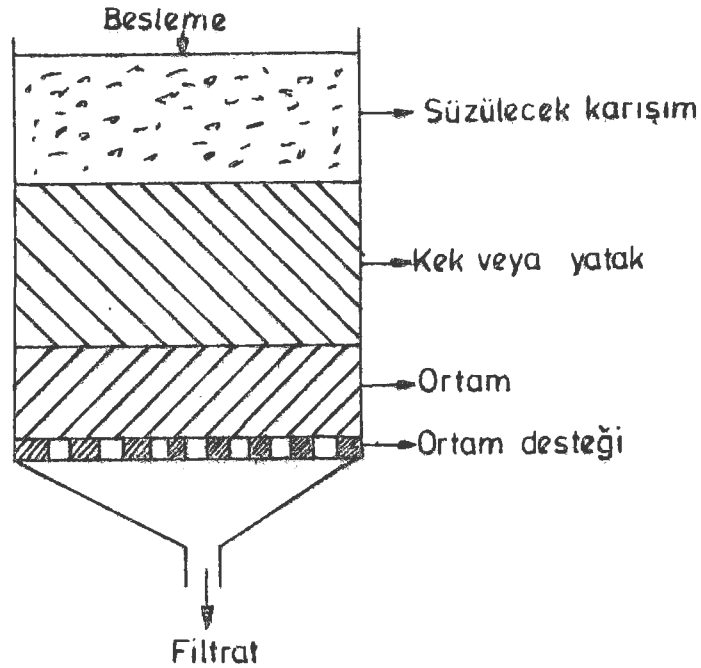
Ülkemiz için tıbbî ve ekonomik açıdan bu denli büyük önem taşıyan meyan kökünden tıbbî ilaç hammaddesi üretimi ile ilgili süreçte yer alan kimyasal işlemler ve fiziksel temel işlemler arasında en sorunlu basamaklar süzme ve su- lu ekstrenin suyunun uzaklaştırılmasıdır. Bu çalışmada süzme ile ilgili laboratuvar deneyleri yapılmış, sonuçlar mevcut kuramsal ve ampirik bağıntılar kullanılarak yorumlanmış ve süzmede önem taşıyan bazı parametreler hesaplanmıştır.

2. GENEL BİLGİ

Bu bölümde genel bir filtrenin değişik kısımlarının süzmede etkin olan mekanizmaya etkisi açısından çeşitli süzme işlemleri ve süzmede aranan özellikler tanıtılacak, süzme işlemlerinin özünü oluşturan gözenekli ortamlardan akışla ilgili önemli kavramlar belirtilerek kuramsal analizle ilgili bölümlere hazırlık yapılacaktır.

2.1. Süzme İşlemlerinin Çeşitleri

Bir filtrenin, her zaman birbirinden kesinlikle ayırt edilemeyen ana kısımları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu kısımların herbiri yine de kendi bireysel işlevini gerçekleştirerek, süzmede hakim olan mekanizmayı belirler.



Şekil 2.1. Genel bir filtrenin ana kısımları

Katı maddenin tutulma şekline bağlı olarak süzme işlemleri aşağıda belirtilen üç grupta incelenebilir. Bu gruplardan kek süzmesi çalışmanın asıl konusunu oluşturduğundan ve ilerde daha geniş şekilde tekrar ele alınacağından burada ancak kısa bir açıklama yapmakla yetinilecektir.

2.1.1. Ortam süzmesi

Bu mekanizmada parçacıklar süzme ortamının gözeneklerinden daha büyüktür ve bu nedenle filtre bir elek görevi görür. Bu durumun yalnız büyük parçacıkların elenmesi için geçerli olduğu düşünülebilirse de, işlemde membran (geçirgen zar) veya örgü metal kumaşlar kullanılarak çok küçük parçacıkların tutulması da mümkündür (Hill, 1985 b; Nakao, et al., 1979; Banchemo and Badger, 1979). Pek alışlagelmemiş olan bu süzme tipinde gözeneklerin tıkanmasına neden olan katı yükleme sınırı ve uygulanabilen basınç farkı düşük olduğundan, ortam filtreleri az miktarlarda katının uzaklaştırılması için uygundur (Orr, 1977; Su and Perlmutter, 1985). Belirli bir boyuttan daha iri taneciklerin geçmesinin kesinlikle istenmediği durumlarda genellikle bu süzme şekline başvurulur. Diğer tüm süzme şekillerinde belirli bir boyut aralığındaki parçacıkların ortamdan geçme olasılığı vardır. Ancak iyi bir filtre tasarımında bu olasılığın sifıra yakın olması istenir.

2.1.2. Derin yatak süzmesi

Berraklaştırmak amacıyla sıvıların parçacıklardan veya liflerden oluşan bir yataktan geçirildiği ve ayırmanın yalnızca yatak içinde gerçekleştiği bu süzme şeklinde süzülecek parçacıklar genellikle yataktaki taneciklerden çok daha küçüktür. Örneğin suda rastlanan tipik bir yosun hücresinin çapı 10-30 mikron iken, filtre yatağı olarak kullanılan kum parçacıklarının çapı 500 mikron kadardır. Bir derin yatak filtresinde parçacıklar ortam yüzeyinde kek oluşturarak birikmez, fakat ortam içinde dağılırlar. Düzgün şekilli olmayan biçimsiz (tortuous) çok sayıda kanallardan oluşan bir ortamda süzmenin gerçekleştirilmesi için mevcut parçacıkların kanal çeperlerine çarpıp orada bazı kuvvetlerle tutunabilmesi gerekir. Kanal çeperlerine çarpabilen taneciklerin, akışkanın akım çizgilerini (streamlines) terketmeleri gerekir. Bu olayın hızı parçacıklara etkiyen atalet (eylemsizlik veya inertia) ve

sürüklenme kuvvetlerinin dengelenmesine bağlıdır. Uzaklaştırılması istenen parçacıkların tutunması, en fazla ortamın giriş tarafında olduğundan, parçacıklar yatakta biriktikçe, bu noktada bir tıkanma olabilir. Ortam ömrünün uzun olması için günümüzde derin yatak tipi filtreler genellikle ortam boyunca gözenekliliğin değişeceği biçimde imal edilir. En dar gözeneklerin en altta yer alması sağlanır. Parçacıklardan oluşan ortamlarda bu durum farklı parçacık boyut aralıkları kullanarak sağlanır. Tıkanma oluşumuna neden olabilecek katı yükleme sınırı düşük olduğundan, ortam filtreleri gibi derin yatak filtreleri de az miktarlarda katının uzaklaştırılması gereken durumlarda uygulanır. Gözeneklerde tıkanmaya yol açan birikim nedeniyle derin yatak süzmesi, litresinde 500 miligramdan daha fazla katı içermeyen ve katı miktarı genellikle bu değerden çok daha düşük olan katı-sıvı karışımlarının süzülmesi için kullanılır. Örneğin su muamelesinde filtreye verilen katı derişimi, çok ince dağılmış katı parçacıklar için 1×10^{-8} gr/cm³ (0,01 mg/lt) mertebesinde (Orr, 1977; Kara, 1977; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Chiang and Tien, 1985; Payatakes, et al., 1974).

Derin yatak ortamı granül halindeki maddelerden oluşabildiği gibi, gözenekli bir katıda olabilir. İlkine örnek olarak derin yatak kum filtreleri ve kaba delikli bir levha üzerinde desteklenmiş diyatome toprağı veya benzeri maddelerden oluşan bir yatağın ortam olarak kullanıldığı ön kaplama filtreleri; ikincisine örnek olarak da keçe veya sinterleşmiş metal filtreler verilebilir (Edle and Gooding, 1985; Gal, et al., 1985).

Bu süzme şeklinin en sık uygulandığı durumlar, suyun temizlenmesi ve saflaştırılması ve üçüncül atık muamelesidir. Bu amaçla filtre ortamı olarak genellikle kum kullanılır (Vaughan, 1982; Akdeniz, 1985; Gürbüz, 1985). Ancak günümüzde başka ortamlarda denenmektedir.

Yapıları pek farklı olmamakla beraber derin yatak

filtreleri katıları ayırma mekanizmaları açısından büyük farklılık gösteren iki sınıfa ayrılır (Orr, 1977):

a. Yavaş Filtreler: Süzme hızlarının düşük ($\sim 244,4 \text{ cm}^3/\text{gün-cm}^2$ veya $\sim 60 \text{ gal/gün-ft}^2$) olması nedeniyle büyük hacim ve alan gerektiren yavaş filtrelerin bu açıdan maliyeti de yüksektir. Bu tip filtreler, genellikle, bir kimyasal ön işlem yapılmaksızın suların işlenmesinde kullanılır. Su, 30,48 cm (1 ft) çakıl üzerinde desteklenen 91,44-121,82 cm (3-4 ft) kalınlığındaki kum yataktan süzülür. Aslında süzme yatağın üst yüzeyinde gerçekleşir. Parçacıklar, ortam taneciklerinin aslında biyolojik yapıları olan yüzey tabakalarında tutularak uzaklaştırıldığından, tutulan parçacıkların yatakta az da olsa ilerlemesi (penetration) söz konusudur. Onun için ayda bir kez veya buna yakın sürelerle kumun üst tabakasını uzaklaştırmak veya üst tabakayı yerinde yukardan yıkayarak temizlemek gerekir.

b. Hızlı Filtreler: Yavaş filtrelere kıyasla yaklaşık 30 kat daha hızlı süzme yapabilirler. Suyun süzülmesi için kullanılan kumun kalınlığı genellikle yavaş filtrelerinkinden daha azdır. Ayrıca kumun tanecik boyutu daha büyük, tanecik boyut dağılımı ise daha dardır. Kum yatağının bu özellikleri nedeniyle hızlı süzme için gereken geçirgenlik de önemli ölçüde fazla olur. Uzaklaştırılması istenen katılar yatakta tutulur. Akım hızının ve katı birikim hızının daha fazla oluşu nedeniyle bu filtrelerin toplam işlem (çevrim) süresi günler değil, saatler mertebesinde dir. Yatak, geri yıkama ile akışkanlaştırılarak temizlenir. Bu yıkama bazı hallerde sisteme hava göndererek desteklenir. Akışkanlaşma süreci ve takibeden parçacık çökmesi nedeniyle, temizleme işlemi sonunda ince parçacıklar yatağın üst tabakalarında yoğunlaşır. Akımın yukardan aşağıya doğru yerçekimi doğrultusunda olduğu işlemlerde böyle bir boyut sınıflanması istenmez. Parçacıkların böyle boyutlarına göre sınıf-

lanmasını önlemek için bazı filtrelerde farklı yoğunlukta maddeler kullanılır.

2.1.2.1 Hızlı filtrelerde parçacık uzaklaştırılması ile ilgili mekanizma

Hızlı filtrelerde parçacıkların sıvıdan uzaklaştırılması (Mc Cabe and Smith, 1979; Orr, 1977; Kara, 1977) için önce bu parçacıkların yataktaki taneciklere çarpması ve sonra o parçacığa yapışması gerekir. Çarpma mekanizması hem sıvı hem de gaz süzmesi (Ushiki and Tien, 1985; Albert and Tien, 1985; Bisset, 1984) süreçleri için yeterince çalışılmış ve iyi anlaşılmıştır. Hızlı süzme koşullarında akım laminer olup gözenek çeperinde sıfırdan başlayarak gözenek merkezi yakınında en yüksek değere ulaşan bir hız değişimi (gradient) vardır. Gözenek şeklinin düzgün olmaması nedeniyle daire şeklindeki bir kanaldakinden daha karmaşık olan akım, değiştirilmiş Reynolds (veya Blake) sayısıyla

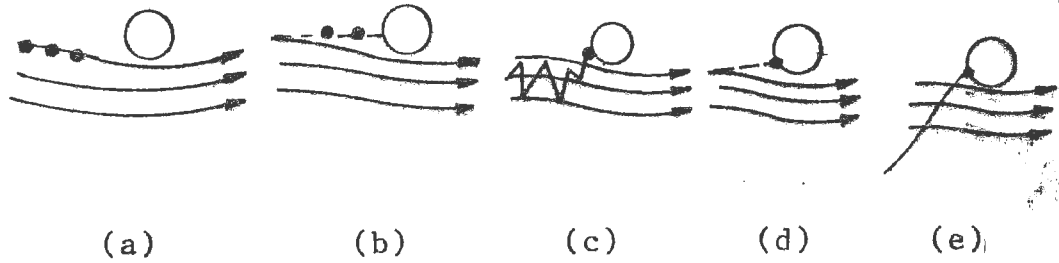
$$Bl = \frac{6 d_{up}}{(1-\epsilon)\mu} \quad (2.1.2.1.1)$$

şeklinde tanımlanır. Blake sayısının tipik değeri 0,2' dir (Perry and Chilton, 1973).

Derin yatak filtrelerinde parçacıkların yakalanması ile ilgili mekanizmalar Şekil 2.2'ye paralel olarak aşağıda kısaca açıklanacaktır.

a. Kesişim: Diğer kuvvetlerin yokluğunda parçacıklar akışkanın akım çizgileri ile birlikte yataktan geçeceklerdir. Yatakta akım laminer olduğundan, akım çizgileri, ortamdaki bir parçacığın çevresinden geçebilmek ve sürekliliği sağlamak üzere önce uzaklaşacak ve parçacığı geçtikten sonra yeniden birleşecektir. Akım çizgisinde sürüklenen bir parçacığın merkezi ile etrafından geçtiği ortam parçacığının merkezi arasındaki uzaklık, herhangi bir anda, çarpışma çapından $[(d_p+d_m)/2]$ daha az ise kesişim gerçekleşecek-

tir (Mc Cabe and Smith, 1976; Orr, 1977; Perry and Chilton, 1976; Amyx, et al., 1960). Bu durumun gerçekleşme olasılığı dp/dm oranı ile ilişkilidir.



Şekil 2.2. Derin yatak süzmesinde parçacıkların yakalanma mekanizmaları (Orr'dan, 1977). a. Kesişim (interception); b. Eylemsizlik (inertia); c. Yayınlılık (diffusion); d. Yerçekimi (gravity); e. Hidronamik etkiler

b. Eylemsizlik: Bir parçacığın yoğunluğu, içinde dağıldığı akışkanınkinden daha fazlaysa, bu parçacık atalet kuvvetlerinin etkisinde kalacak ve böylece ortamdaki bir parçacığa ulaşmadan önce akım çizgisinden ayrılırken (diverge) akışkanın akım çizgilerini kesecektir (Perry and Chilton, 1976; Mc Cabe and Smith, 1976; Amyx, et al., 1960; Orr, 1977). Bu eylemsizlik etkisi Stokes sayısı olarak bilinen

$$St = \frac{(\rho_s - \rho)dp^2\bar{u}}{18 \mu dm} \quad (2.1.2.1.2)$$

şeklindeki boyutsuz bir grupla ilişkilidir.

Stokes sayısı büyüdükçe, eylemsizlik kuvvetlerinin parçacığa etkisi de artar. Gaz filtrelerinde lifler (fibers) üzerinde parçacıkların yakalanması ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalarından, Harrop ve Stenhouse

yakalanma veriminin (efficiency) St ve dp/dm ile bağdaştırılabileceğini göstermişlerdir (Orr, 1977).

c. Yayınırılık: Dağılmış ufak parçacıklar, dağıtıcı akışkanın molekülleriyle çarpışma sonucu enerji aktarımı dolayısıyla gelişigüzel yayınırılık hareketleri gösterirler. Bu mekanizmada Brown yayınırılığı ile ilişkili D yayınırılık katsayısı önem taşır.

$$D = \frac{k T}{3\pi \mu dp} \quad (2.1.2.1.3)$$

Çapları 1.10^{-4} cm (1 mikron) veya daha küçük olan parçacıklar ve doğal atmosfer sıcaklığındaki sulu süspansiyonlar için Brown yayınırılığı önemlidir (Perry and Chilton, 1976; Mc Cabe and Smith, 1976; Orr, 1977; Amyx, et al., 1960).

d. Yerçekimi etkisiyle çökme (sedimentation): Çapları 2-10 mikron olan parçacıkların yerçekimi etkisiyle çökme hızlarının, hızlı süzmede önemli olduğu Ison ve Ives tarafından gösterilmiştir (Orr, 1977). Bu etkinin önemi, Stokes çökme hızını parçacıkların yaklaşma (approach) hızıyla bağdaştıran ve sedimantasyon katsayısı (Se) adı verilen

$$S.e = \frac{(\rho_s - \rho) dp^2 g}{18 \mu \bar{u}} \quad (2.1.2.1.4)$$

şeklindeki boyutsuz bir grupla karakterize edilebilir oluşudur (Mc Cabe and Smith, 1977; Orr, 1977; Perry and Chilton, 1976; Amyx, et al., 1960).

e. Hidrodinamik etkiler: Kayma değişim hızının (shear gradient) varolduğu bir sıvıda dağılmış olan parçacıklar, akışkanın akım çizgilerini geçmelerini zorlayan kuvvetlerle karşılaşır. Silindirik gözeneklerde akan akışkanlardaki parçacıkların net hareketi (resultant motion)

birçok etkinin etkileşiminden (interaction) dolayı henüz tam olarak anlaşılamamıştır (Zinatullin, et al., 1976).

Eylemsizlik çarpması, hidrodinamik hareket ve çökme etkileri parçacık boyutunun artmasıyla arttığı ve yayınlılık ise parçacık boyutunun küçülmesiyle fazlalaştığı için, derin yatak süzme süreçlerinin veriminin, bu mekanizmalara hakim olan boyutlar arasındaki bir parçacık boyutunda en düşük etkinlik göstermesi beklenebilir. Bu minimum, gaz süzmesinde iyi bilinmektedir (Albert and Tien, 1985; Ushiki and Tien, 1984; Bisset, 1984). Hızlı süzme deneylerinde, bu minimumun bir mikron plastik parçacıklar için gerçekleştiği gösterilmiştir (Orr, 1977).

Hızlı filtreler, genellikle, artan akım hızı ile azalan bir verim gösterdiğinden, hızı, yataktaki parçacıkların kalış süresi (residence time) ile orantılı olan yayınlılık çarpmasının, hakim olan mekanizma olduğu ve eylemsizlik çarpmasının nisbeten önemsiz olduğu sonucu çıkarılabilir. Yayınlılık çarpması hızıyla kalış süresi arasındaki bağıntı Peclet sayısı ile

$$Pe = \frac{dp \bar{u}}{D} \quad (2.1.2.1.5)$$

şeklinde verilir.

Parçacıklar ortamla bir kez çarpışınca, çekim kuvvetlerinin etkisiyle orada tutulurlar. Hızlı filtrelerde parçacıkların yakalanması, kolloit kararlılığı ile ilgili DLVO teorisinde dikkate alınmıştır (Orr, 1977). Bu ve benzeri çalışmalar, gözlenen tutunma (retention) için Van der Waals kuvvetlerinin yeterli olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda parçacıklarla süzme ortamı arasında polielektrolit köprülenmesi (bridging) de olur.

Temizleme (detergency) ve bununla ilgili olaylara ilişkin deneylerden, parçacık kuvvetleriyle hidrodinamik etkilerin etkileşimi nedeniyle akışkan sürtünmesi

(fluid shear) uygulayarak bir yüzeyden parçacıkların uzaklaştırılmasının çok zor olduğu anlaşılmıştır. Hızlı filtrelerin temizlenmesinde bu sorunu yenmek için yatak akışkanlaştırılır. Böylece ortam parçacıkları arasında aşınma (attrition) olur ve yüzeylerine yapışan (adhering) maddeler uzaklaştırılır.

2.1.3. Kek süzmesi

Kek süzmesi, kolayca çökmeyecek boyuttaki ufak katı taneciklerin, içinde dağıldıkları sıvıdan, yalnızca bu sıvıya geçirgen olan bir ortam yüzeyinde toplanarak ayrılması işlemidir. Bu süzme şeklinde katı madde ortamın üzerinde birikerek kısa bir başlangıç süresi sonunda süzme, biriken katıların oluşturduğu yatakta gerçekleşir. Süreç ilerledikçe başlangıçta ortam üzerinde oluşan katı tabakası üstünde daha fazla parçacık birikerek keki oluşturur ve herhangi bir anda sıvı birikmiş olan bu kek tabakasından geçerek akar (Tosun, 1985; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Evranuz, 1985; Banchero and Badger, 1979; Orr, 1977; Shirato, et al., 1969; Tiller and Yeh, 1985; Tiller and Horng, 1983; Kara ve Uzunoğlu 1986).

Süreç, kek boyunca basınç düşmesinin ekonomik veya teknik nedenlerle sınırlandığı en yüksek değere ulaştığı veya kullanılabilir boşluğun dolduğu ana dek sürer. Süreç endüstrilerinde geniş çapta uygulanan bu süzme metodu derişik süspansiyonların süzülmesi ve çok miktarda katının kazanılması için uygundur.

Kek süzmesinde en önemli faktörler filtre kekinin gözenekliliği, geçirgenliği ve direnci'dir. Süzme direnci maddenin boyut dağılımını veya bununla birlikte katı parçacıkların birleşme durumunu değiştirerek ve bazen de başka bir katı ekleyerek kısmen denetlenebilir.

Kek üzerindeki basınç farkı arttırıldıkça geçirgenlik ve gözeneklilik değerleri değişme gösteriyorsa bu

keklerle "sıkıştırılabilen", bu değerler sabit kalıyorsa "sıkıştırılamayan" kekler denir. Gerçekten sıkıştırılamayan bir kekin geçirgenliği ve gözenekliliği kekteki basınç farkından ve akışkanın akım hızından bağımsız olan birer sabittir. Ancak hemen tüm filtre keklerinde bu iki parametre süzme koşullarının değişmesiyle değişim gösterir.

Geçirgenlik değişimleri süzme basıncını değiştirerek izlenir. Deneyler geçirgenlikle basınç arasındaki ilişkinin

$$K = K_0 (\Delta P)^{-s} \quad (2.1.3.1)$$

şeklindeki bir ampirik bağıntıya uyduğunu göstermiştir. Sıkıştırılabilme katsayısı olarak tanımlanan s , sıkıştırılamayan kekler için sıfır değerini alır. Bu parametrenin büyümesi maddenin daha fazla sıkıştırılabildiğini gösterir.

Kek gözenekliliği, süzme sonunda kekte kalan akışkan miktarının bir ölçüsü olduğundan ve gözeneklilik değişimleri en kolay şekilde kekteki nemlilik değişmelerinden izlenebileceğinden filtre tasarımı önemli rol oynar. Bu açıdan maddenin bir dereceye kadar sıkıştırılabilmesi istenir. Çünkü bu durumda süreci ekonomik olmaktan uzaklaştırmayacak seviyede bir akım hızıyla yeterince düşük bir nem içeriği elde edilebilir. Kimyasal süreç endüstrilerinde ıslak keklerin kurutulması maliyeti arttırdığından, kekte kalan akışkanın ısı olmayan metodlarla mümkün olduğunca giderilmesi istenir. Bu nedenle son yıllarda filtre keklerinden akışkan giderme işlemleri artan bir önem kazanmıştır (Tiller and Horng, 1983; Orr, 1977).

Sıkıştırılamayan bir kekin nem içeriği süzme basıncını artırarak azaltılamaz. Ancak bazı hallerde süzme basıncının arttırılması son kekin kuruluşunu arttırabilir. Yeterince yüksek basınç uygulayarak istenen sınırlara ulaşılabilirse başka bir tekniğin kullanılmasına

gerek kalmaz. Ancak kek hala ıslaksa hidrolik akışkan giderme veya mekanik sıkıştırma teknikleri uygulanabilir. Yalnız, çok fazla sıkıştırılabilen bir çamur en düşük basınç farklarına bile yüksek direnç gösterdiğinden, kötü bir süzme hızı ve yüksek nem içeriği ile süreci ekonomik olmaktan çıkarır. Bu gibi durumlarda çamur üretim sürecinin değiştirilmesi veya süzme yardımcı maddesi ilavesi gibi farklı önlemler uygulayarak sıkıştırılabilirliğin azaltılması sağlanır.

2.1.3.1. Parçacıkların sürtünme ile sürüklenmesi ve sıkıştırma basıncı

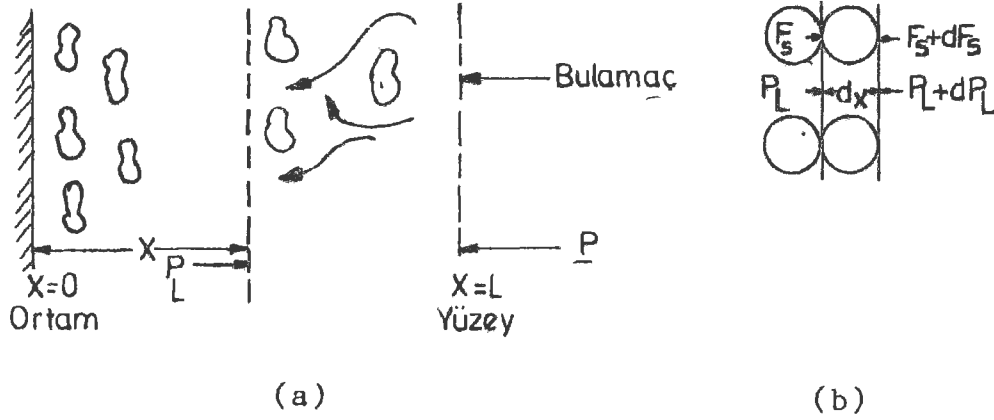
Bir akışkan içinde süspansiyon halinde dağılmış olan parçacıklar kek oluşturarak biriktikçe, sıvı, kabaca, bir akışkanın içi boş düzgün borulardan akışına benzer şekilde, sıkıştırılabilir bir yatağın arası boşluklarından (intersticies) azalan hidrolik basınç doğrultusunda akar. Bilindiği gibi, katılar bir elek (screen), kumaş, gözenekli metal veya zar (septum) gibi süzme ortamı olarak kullanılan yapılarda tutulur. Keki oluşturan katılar ortamda sıkışık ve oldukça kuru, kek-bulamaç arayüzeyinde ise ıslak ve bulanık (soupy) görünümlü koşullardadır.

Gözeneklilik, ortamdan uzaklığın sıfır olduğu ($x = 0$) kek-ortam arayüzeyinde en düşük, sıvının girdiği ve kek kalınlığının $x = L$ olduğu üst yüzeyde en fazladır. Bir parçacığa etkiyen sürüklenme bu parçacıktan bir diğerine iletilir. Sonuçta, parçacık ortama yaklaştıkça net katı sıkıştırma basıncı artacağından gözeneklilik azalır. Bu durumda eylemsizlik kuvvetlerinin ihmal edilebileceği düşünülerek kekin x ve L uzaklıkları arasında kalan kesimi için

$$F_s + AP_L = AP \quad (2.1.3.1.1)$$

kuvvet dengesi kurulabilir. Uygulanan basınç (P) zamanın bir fonksiyonu olabileceği halde, x uzaklığından bağımsız-

dır. Şekil 2.3. te de belirtildiği gibi, F_s , parçacıklara etkiyen sürüklenmeyi simgelemekte ve bu sürüklenme etkisi, parçacıkların temas noktalarında iletilmektedir.



Şekil 2.3. Sıkıştırma basıncı ve sürtünme ile sürüklenme a) Kekte basınç-uzaklık etkileri; b) Diferansiyel bir kek diliminde etkin kuvvetler

Alan yerine nokta temasında olan parçacıklar için hidrolik basıncın (P_L) kekin tüm kesit alanında (A) etkin olduğu düşünülebilir. 2.1.3.1.1. denklemini A ile bölüp, sıkıştırma-sürüklenme basıncını $P_s = F_s/A$ şeklinde tanımlayarak

$$P = P_L + P_s \quad (2.1.3.1.2)$$

yazılabilir. Parçacıklara etkiyen net sürüklenme yüzey (skin) ve şekil (form) sürüklenmesinin bir bileşimidir (Mc Cabe and Smith, 1976) ve parçacıkların yüzeylerinde oluşan sürtünmeden meydana gelir. Kesit alanı, parçacıkların yüzey alanına veya temas alanına eşit olmadığından, parçacıkların temas noktalarında birbirlerine iletilen bu sürüklenmeden doğan P_s basıncı hipotetik bir basınçtır.

Basıncın uzaklıkla değişiminin, bir dizi yarı-durgun (quasistatic) hallerden oluştuğu varsayılarak, son denklemin kek içinde x uzaklığına göre türevi alınabilir.

$$\frac{dP}{dx} = 0 = \frac{dP_s}{dx} + \frac{dP_L}{dx} \quad (2.1.3.1.3)$$

Uygulanan basınç ortamdan uzaklığın bir fonksiyonu olmadığına göre hidrolik basınç azaldıkça, ortama yaklaşma yönünde sürüklenme basıncı artacaktır.

2.1.3.2. Sıkıştırma basıncının gözeneklilik, direnç ve geçirgenliğe etkisi

İlerde de belirtileceği gibi, süzme işlemleri ile ilgili tasarım denklemlerinde gözeneklilik-basınç, geçirgenlik-basınç veya direnç-basınç ilişkilerinin çok sık kullanılması gerekir. Deneysel olarak bulunması gereken bu ilişkiler, sıkıştırma-geçirgenlik (compression-permeability) hücrelerinde yapılan ölçümlerden elde edilir. Bu cihazda, kek üzerine yerleştirilen gözenekli katı bir tıkaç üzerine uygun ağırlıklar koyarak, kek, mekanik yükleme (consolidation) basıncı altında sıkıştırılır. Daha sonra filtrat düşük hidrostatik basınç (head) altında kekten geçirilerek, kek geçirgenliği direncin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Filtre kekinin görünür sıkıştırma basıncının (apparent compressive pressure veya $P_s = P - P_x$) hücrede uygulanan mekanik sıkıştırma basıncına denk olduğu varsayılır (Schneider and Gelbin, 1985; Amyx, 1960; Orr, 1977).

Bu teknikle elde edilen sonuçlar, sıkıştırılabilir kek teorisinde, genellikle yerel gözeneklilik ve akım direncinin yalnız sıkıştırma basıncının bir fonksiyonu olarak alınabileceğini göstermiştir. Sıkıştırma-geçirgenlik hücreleri kullanılarak alınan ölçümlerden ve yapılan deneylerden, 51,7 mmHg (1 psi) civarındaki düşük bir P_1 basıncına erişilinceye kadar akım direncinin (α) ve göze-

nekliliğin (ϵ) sabit kaldığı, bu P_i basıncının üstündeki basınçlarda ise verilerin kuvvet fonksiyonları şeklinde yaklaşık denklemlerle belirlenebileceği anlaşılmıştır (Orr, 1977; Willis, et al., 1985).

$$\alpha = aP_s^n \quad P_s \geq P_i \quad (2.1.3.2.1)$$

$$\alpha = \alpha_i = aP_i^n \quad P_s \leq P_i \quad (2.1.3.2.2)$$

$$\epsilon = EP_s^{-\lambda} \quad P_s \geq P_i \quad (2.1.3.2.3)$$

$$\epsilon = \epsilon_i = EP_i^\lambda \quad P_s \leq P_i \quad (2.1.3.2.4)$$

Geçirgenlik (K) ve $(1-\epsilon)$ değerlerinin de benzer bir ampirik fonksiyonla sıkıştırma basıncı cinsinden yazılması mümkündür.

$$1-\epsilon = BP_s^\beta \quad P_s \geq P_i \quad (2.1.3.2.5)$$

$$1-\epsilon = 1-\epsilon_i = BP_i^\beta \quad P_s \leq P_i \quad (2.1.3.2.6)$$

$$K = \frac{1}{\rho_s \alpha (1-\epsilon)} = \frac{1}{\rho_s (aP_s^n) (BP_s^\beta)} = \frac{P^{-n-\beta}}{\rho_s aB} \quad (2.1.3.2.7)$$

B, değeri 0-0,25 arasında değişen bir sabittir (Orr, 1977).

Filtre tasarımı ile ilgili denklemlerde aşağıdaki iki integrale sık rastlanır.

$$\int_0^{P_s} \frac{dP_s}{\alpha} = \int_0^{P_i} \frac{dP_s}{\alpha_i} + \int_{P_i}^{P_s} \frac{dP_s}{aP_s^n} \quad (2.1.3.2.8)$$

$$= \frac{P_i^{1-n}}{a} + \frac{P_s^{1-n} - P_i^{1-n}}{a(1-n)} = \frac{P_s^{1-n} - n P_i^{1-n}}{a(1-n)} \quad P \geq P_i$$

Denklemden n'nin değeri 0,5 ve daha küçükse, 517 mmHg (10 psi) üzerindeki basınçlarda P_i terimi ihmal edilebilir. Bu sabitin değeri 0,7 gibi büyük bir rakamsa P_i terimi ihmal edilemez. Bu durumda kuvvet fonksiyonu yaklaşımı pek doğru olmayacağından nümerik integrasyon gerekir.

Kek süzmesinde P_s yerine, kek boyunca basınç düşmesini veren $P - P_L$ terimi kullanılır.

Yine tasarımda önem taşıyan $\int dP_s / \alpha(1-\epsilon)$ teriminin integrali de benzer tarzda bulunabilir.

$$\begin{aligned}
 I &= \int_0^{P_s} \frac{dP_s}{\alpha(1-\epsilon)} = \int_0^{P_l} \frac{dP_s}{\alpha(1-\epsilon_l)} + \int_{P_l}^{P_s} \frac{dP_s}{aBP_s^{n+\beta}} \\
 &= \frac{P_l}{\alpha_l(1-\epsilon_l)} + \frac{1}{aB} \frac{P_s^{1-n-\beta} - P_l^{1-n-\beta}}{1-n-\beta} \\
 &= \frac{1}{aB} \frac{P_s^{1-n-\beta} - (n+\beta) P_l^{1-n-\beta}}{1-n-\beta} \quad P \gg P_l \quad (2.1.3.2.9)
 \end{aligned}$$

Basıncın 258-517 mmHg (5-10 psi) ve daha yüksek ve $n+\beta < 0,7$ olduğu durumlarda P_l içeren terim ihmal edilerek

$$I = \frac{P_s^{1-n-\beta}}{aB(1-n-\beta)} \quad (2.1.3.2.10)$$

yazılabilir.

Bölüm 2.1'de belirtilen hususları özetleyecek olursak; gerçek süzme işlemlerinin niteliği karmaşıktır ve süzme mekanizmalarından bir kısmı veya tümü eşanlı veya ardışık şekilde gerçekleşebilir. Örneğin, kek süzmesinde, kekin, çok önemli olan başlangıç tabakası, ortam yüzeyinin üzerinde ortam süzme mekanizması ile tutulabileceği gibi, ortamdaki gözenek boyutları, önce ortam süzmesinin ve sonuçta kek süzmesinin gerçekleşebileceği boyutta daralıncaya dek derin yatak süzmesi de gerçekleşebilir. Ayrıca ortam olarak kağıdın kullanıldığı kartuş filtrelerin çoğunda kağıt kendi kendini destekler ve başka bir ortam desteğine gerek kalmaz.

Süzme işlemleri, genellikle, ilgili faktörlerin matematiksel analizindeki uygunluğa bağlı olarak sınıflandırıldığı halde, hemen tüm süzme işlemlerinde bu mekanizmaların birden fazlası birlikte gerçekleşebilir. Bu durumda ya matematiksel analiz uygun tarzda ayarlanır veya hakim olan mekanizmaya bağlı şekilde basitleştirici varsayımlar yapılır.

2.2. Süzme İşlemlerinde Aranılan Özellikler

Bir süzme sisteminin tasarımı ile ilgili olarak verilmesi gereken kararlarda aşağıdaki özellikler önemli rol oynar.

2.2.1. Bulamaç ve kek özellikleri

Tasarımda bulamaç özelliklerinin mutlaka bilinmesi gerekir. Ayırma işlemleri bulamaçtaki parçacık özelliklerine doğrudan bağlı olduğundan öncelikle parçacık boyut aralığının bilinmesi veya yarı kantitatif tahminlerle bulunması istenir. Örneğin 0,1-1 μm aralığındaki boyutlarda % 0,05 oranında kil ve 10-50 μm boyut aralığında % 2 lifler içeren bir bulamaçla, 5-75 μm boyut aralığında tek düze olarak dağılmış parçacıklardan oluşan bir maddenin süzülmesi tümüyle farklı işlemler görür (Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Patwardhan and Tien, 1985; Collins, 1973; Emneus, et al., 1969; Gal, et al., 1985; Taygun, 1973). İlkinde iki basamaklı bir işlemle önce lifler ayrılır ve kil, süzme yardımcı maddesi yardımıyla veya geri yıkamalı derin yatak granül filtreleriyle ayrılır (Gal, et al., 1985; Chiang and Tien, 1985; Cooke, 1984). Tam doğru bir parçacık boyut analizi mevcut değilse, çökme(sedimentation) deneyleri yardımıyla kalitatif bir fikir edinmek mümkündür (Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Patwardhan and Tien, 1985; Banchero and Badger, 1979). Yoğunluk verileri olmaksızın, katı ve sıvının yoğunlukları arasındaki farkla doğrudan orantılı olan doğrusal hızlarla (velocity) ilgili ancak kaba tahminler yapılabilir. Örneğin, eğer bulamaç saatlerce veya günlerce bulanık bir görünümde

olursa, bu karışımda mikron altı parçacıkların varolduğu anlaşılır.

Ayrıca bulamaç veya kekteki katıların kütleli (s_b ve s_c) ve hacimsal kesirleri, basıncın ve süzme hızının kek büyüme hızına etkileri, kapiler basınç, buhar basıncı, yüzey gerilim, korozyon yapıcı etkiler ve süzme yardımcı maddeleri ile etkileşim gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal faktörlerin de göz önünde bulundurulması gerekir.

Genellikle bir bulamaçtaki katının kütleli kesri ($\bar{s}_b$) bilinir. Ancak ortalama kek gözenekliliğinin veya kekin sıvı içeriğinin belirlenmesi için yeterli çaba harcanmaz. Bu amaçla kaba bir tahmin için yine çökme deneylerinden yararlanılabilir. Parçacıklar bir bulamaçtan çökerek ayrılırsa, bu çökeleğin gözenekliliğinin, en düşük süzme basıncında elde edilen en gevşek düzenlemeye yakın olacağı söylenebilir. Basınç altında oluşan keklerden daha hassas tahminler elde edilebilir. Süzme deneyleri yapılırken, kekin ortalama sıvı içeriğinin de rutin bir basamak olarak bulunması gerekir.

2.2.2. Bulamaç özelliklerinin değiştirilmesi

Süzme işlemine başlamadan önce, bulamaçtaki katı parçacıkların daha kolay süzülmesini sağlamak ve filtre üzerindeki aşırı yüklemeyi azaltmak amacıyla bir takım ön işlemler uygulanır.

Kimyasal ön işlemlerde yumaklaştırma veya pıhtılaştırma sağlanır (Gündüz, 1979; Gür ve Varol, 1977; Schneider and Gelbin, 1985; Banchemo and Badger, 1979; Tosun ve Şahinoğlu, 1985). Ayrıca bulamacı kalınlaştırmak amacıyla yerçekimi etkili çökme, gecikmiş kek oluşumu veya hidrosiklon işlemi uygulanır (Jones, 1973). Diğer bir seçenek de süzme yardımcı maddesi ilavesidir (Cooke, 1984; Uzunoğlu, 1984; Banchemo and Badger, 1984; Purchas, 1969; Smith, 1967; Taygun, 1973; Çokadar ve Saatçi, 1980; Tosun ve Şahinoğlu, 1985).

Bulamaçtaki parçacıkların gevşekliği ve orijinal veya yumaklaşmış parçacıkların pompalama, karıştırma veya mekanik işlemler sırasında parçalanma olasılıkları sürecin tasarımında önemli bir faktördür (Tosun, 1985).

2.2.3. Ürün Özellikleri

Süzme ürünlerinden filtratın görünürde berrak olması veya belirli bir sınırın altında bulanıklık (Tyndall veya Jackson (Fluorayn)) derecesine sahip olması ve süzmeden sonra belirli bir süre doğal sıcaklıkta bu berrak görünümünü koruması istenir (Kara ve Uzunoğlu, 1986; Tosun ve Şahinoğlu, 1985). Bu da süzüntüde müsaade edilen parçacık boyutuna ve miktarına ve ayrıca kek veya filtrattaki safsızlık derecesine bağlıdır. Bu bilgiler olmadan uygun bir süzme ortamı veya önkaplama maddesinin seçimi mümkün değildir. Filtratın membranlar yardımıyla parlatılması da gerekebilir (Altena and Belfort, 1984; Applegate, 1984; Hill, 1985 b; Nakao, et al., 1979). Genellikle bir filtratın 1-2 μm membran disk üzerinde eser miktarda katı bırakması istenir. Filtratta çözünmemiş madde derişimi mg/lt veya ppm cinsinden belirli bir derişimin üstünde olmamalıdır.

Kekte bulunan safsızlıklar, çözünebilen maddeler ve kek veya yatakta tutulan sıvı miktarı süzüntünün kalitesini ve verimini etkileyen önemli faktörlerdir.

Meyan kökü süzmesinde olduğu gibi kolay kristallenebilen maddelerin süzülmesinde, süzme esnasında uygulanan vakum veya soğuma etkisiyle bir kısım ürün kristallenip kekte kalarak filtrat veriminin düşmesine neden olur. Bu durumlarda optimum bir sıcaklıkta süzme yapılması gerekebilir.

2.2.4. Kek yıkama

Katıların ayrıldığı yatağın temizlenmesi veya saflaştırılması amacı ile kek veya yatak, ters akım veya paralel akım şeklinde bir yıkama ile yeniden koyu bir bulamaç haline getirilebilir (repulping) veya yer değiştirme (displacement)

işlemi uygulanabilir (Banchemo and Badger, 1979; Mc Cabe and Smith, 1976).

2.2.5. Kekteki akışkanın giderilmesi

Kekte tutulan katıların özellikleri, çözünebilir maddelerden arıtılmış oluşuna ve ortalama akışkan içeriğine bağlıdır. Keklerdeki akışkan miktarı, akışkanın akım yönünü değiştirerek, yüksek süzme basıncı veya mekanik sıkıştırma uygulayarak veya hava ve su buharı üfleyerek düşürülebilir. Ancak değişik filtrelerin ekonomisi düşünülmezsin kekdeki ortalama gözenekliliğin ve buna bağlı olarak akışkan miktarının düşük tutulması imkânsızdır. Genellikle kuru kek üretimindeki ek maliyetle ısı gereksinimlerin dengelenmesi gerekir.

Bu işlemde süzme basıncının ve mekanik basıncın gözenekliliğe ve ilgili hesaplamalara etkisi dikkate alınmalı, kapiller basıncın rolü unutulmamalıdır. Döner vakum filtrelerinde oluşan kekdeki akışkan miktarının süzme basıncını arttırarak, mekanik sıkıştırma uygulayarak veya hava ve su buharı yardımıyla düşürülmesi ancak ortalama çapı 10 μm nin üzerinde olan parçacıklar için geçerlidir. Çapı 1 μm olan parçacıklar için kapiller basınçlar, bu parçacıkların oluşturduğu kekten hava ve subuharı geçişini zorlaştıracak derecede büyüktür. İşlem için döner vakum tambur filtrelerin seçilmesi halinde, mekanik sıkımayı sağlayacak bir ek birim kullanılmadıkça, bu küçük parçacıklardan oluşan kek- te gözeneklilik azalması sınırlı kalacaktır (Banchemo and Badger, 1979; Kara ve Uzunoğlu, 1986).

2.2.6. Süzme cihazının seçimi

Üretim hızları, fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki sınırlamalar, pompalama şekli, ortam veya önkaplama ve uygulanacak kek boşaltma işlemleri gözönünde bulundurularak süzme cihazının seçimine karar verilir (Bkz. Çizelge 1.1).

2.2.7. Çevrim Analizi

Bir süzme sürecinin tam çevrimi önışlem, süzme, yıkama, akışkan giderme ve kurutma işlemlerinden oluşur.

Sürecin maliyeti, kapasite veya çevrim süresini etkileyen değişkenlerin tümüne bağlıdır. Bu nedenle kapasitenin, çevrim süresi, tamburların dönüş hızı veya kayış hızları gibi çeşitli dış değişkenlerin de fonksiyonu olarak belirlenmesi gerekir.

2.2.8. Tasarım ve optimizasyon

Yukarda açıklanan değişik basamaklar için kritik olan verilerin çoğunlukla deneysel yoldan elde edilmesi gerekir. Ancak bu veriler sağlandıktan sonra filtre tasarımı işlemi ve en uygun koşullar belirlenebilir. Önce kekin birikim hızına dayanarak geçici bir genel cihaz seçimi yapılır. Genellikle hızlı kek birikimi için vakum altında çalışan sürekli veya yarı sürekli döner tambur, yatay kayış veya disk tipi filtrelerin uygun olduğu söylenebilir. Geçirgenlikleri düşük olan katılar için ise genellikle kesikli çalışan filtrepress, yaprak, tepsi ve levha tipi basınçlı üniteler bir seçenek olur ve bu koşullarda süzme genellikle yavaştır. Hacimca % 0,1'den daha az oranda katı içeren seyreltik bulamaçların berraklaştırılması amacıyla derin yatak tipi kartuş veya granül yatak filtreler kullanılabilir (Chen, 1978).

2.3. Süzme Yardımcı Maddeleri ve Ortam Malzemeleri

Süzme etkinliğini arttırmak, yani süzme ortamının gözeneklerinin tıkanmasını önlemek, yüksek basınçlı sistemlerde süzme işleminin güçleşmesine neden olan yüksek direnci düşürmek, süzmeyi hızlandırmak ve berrak bir süzuntu elde etmek amacıyla kullanılan maddelere "süzme yardımcı maddeleri" denir (Evranoz, 1985; Hill, 1984 a; Banchemo and Badger, 1979; Taygun, 1973; Purchas, 1967).

Her süzme yardımcı maddesi, süzülecek her madde için uygun olmadığından, bir süzme yardımcı maddesinde belirli özellikler aranır. Bu tür maddeler, öncelikle, çok gözenekli (% 85-90) bir kek oluşturmali ve böylece hem sıvı akışını kolaylaştırmalı ve hem de süzülen bulamaçtaki katı taneciklerini kolaylıkla tutabilmelidir.. Ayrıca, akışa

karşı gösterilen direnç, taneciklerin yüzey alanı ile orantılı olduğundan, bu yüzey alanı yeterince küçük tutularak akış hızının artması sağlanmalıdır. Yüzey alanı ise tanecik büyüklüğüne bağlı olup, bu büyüklük arttıkça yüzey alanı küçülür.

Taneciklerin boyut dağılımı da önemli bir faktördür. Geniş yüzey alanına sahip çok küçük tanecikler süzüntü akışını önlerken, çok iri tanecikler de süzüntünün berraklığını bozar. Bu nedenle süzme yardımcı maddesi olarak kullanılan taneciklerin boyut aralığının mümkün olan en dar sınırlar arasında bulunması istenir. Etkin süzme yapabilmek için bu yardımcı maddelerin süzülecek karışımla kimyasal tepkimeye girmemesi ve sıvıda çözünmemesi gerekir.

Endüstride süzme yardımcı maddeleri "önkaplama (precoat)" ve "dozajlama (body aid)" teknikleri kullanılarak uygulanır (Taygun, 1973; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Banchemo and Badger, 1979; Purchas, 1967, 1971).

Önkaplama yönteminde, süzme işlemine başlamadan önce, süzme destek levhası, uygun bir süzme yardımcı maddesi tabakası ile belirli kalınlıkta kaplanır (Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Purchas, 1967).

Bu metodda, kullanılacak süzme yardımcı maddesinin boyutları, boyut aralığı, miktarı ve oluşturacağı kalınlık çok önemlidir. Süzülecek karışımdaki katıların önkaplama üzerinde kolayca uzaklaştırılabilen bir kek oluşturulabilmesi açısından, süzme yardımcı maddesinin boyutlarının süzülecek karışımdaki katı madde boyutlarından daha küçük olması istenir. Ayrıca bu tabaka, süzülecek karışımda bulunan çok ince tanecikleri gözeneklerinde tutarak, bu taneciklerin süzme ortamının gözeneklerinde birikip ortam direncini arttırmasını da önler. Böylece filtrenin daha uzun aralıklarla temizlenmesi ve akış debisinin arttırılması mümkün olur. Ön kaplanacak maddeler önce uygun bir sıvıyla (su gibi) % 0,3-0,6 oranında karıştırılıp 5-15 da-

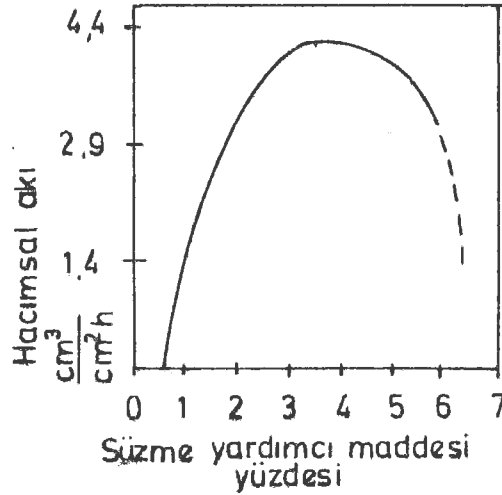
kika süre ile tekrar dolaştırılır. Bu işlem sonunda elde edilen sıvı berrak, oluşan kekin kalınlığı ise her noktada aynı olmalıdır. Ancak istenen bu tekdüze kalınlık her zaman sağlanmayabilir. Süzme yardımcı maddesinin oluşturacağı önkaplama kalınlığının seçimi için belirli bir kural olmamakla beraber, bu kalınlık, karışımdaki katı parçacıkların ve sıvının elektriksel ve iyonik özelliklerine ve kek yoğunluğu gibi diğer çeşitli niteliklerine bağlı olarak genellikle deneme-yanılma yoluyla belirlenir. Çoğunlukla 3,17-9,25mm (0,125-0,375 inç) aralığındaki bir tabakanın yeterli olduğu görülür (Purchas, 1967, 1971).

Ancak bazı hallerde kalınlık yerine filtre kesit alanı başına kütesel katı yüklemesi [$0,049 \text{ gr/cm}^2$ - $0,246 \text{ gr/cm}^2$ (10 lb/100 ft^2 - 50 lb/100 ft^2)] temel alınır ve bu durumda kek kalınlıkları 5,08 cm veya daha yüksek değerlere ulaşabilir.

Şeker fabrikalarında ham karbonatlama şerbetlerinin süzülmesinde kullanılan BMA Kerzen (Eskişehir'de) ve CHEMAP (Turhal'da) tipi filtrelerde bu tür önkaplama işlemleri uygulanmaktadır (Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Yeşilören, vd., 1986).

Dozajlama yönteminde ise yardımcı madde, süzülecek bulamaca belli bir oranda karıştırılıp normal süzme işlemlerinde olduğu şekilde filtreye pompalanır. Sanayide daha çok tercih edilen bu yöntemle, kekte gözenekli bir yapı oluşturulmuş ve katı parçacıkların bir arada sıkı bir şekilde paketlenmesi de engellenmiş olur (Banchero and Badger, 1979; Tosun ve Şahinoğlu, 1985; Purchas, 1967; Taygun 1973).

Şekil 2.4, en uygun akış hızlarının, süzme yardımcı maddesinin süzülecek karışıma, bu karışımdaki katı miktarının en fazla ağırlıkça % 10 oranında karıştırılması durumunda elde edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 2.4. Süzme yardımcı maddesi miktarının akış debisine etkisi (Purchas'dan, 1967).

Her iki metodun birlikte kullanılmasının tercih edilebileceği durumlar da mevcuttur (Purchas, 1967,1971).

Sanayide birçok değişik özel yardımcı süzme maddesi kullanılır. Ancak fiziksel ve kimyasal çalışma koşulları her zaman özel bir süzme yardımcı maddesinin kullanılmasını gerektirmez. Maliyeti düşük olan talaş, kül, kireçtaşı gibi maddeler de bireysel olarak veya diğer süzme yardımcı maddelerine belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir (Purchas, 1967; Akdeniz, 1985; Gürbüz, 1985).

Selüloz (pamuk, ağaç), asbest, cam pamuğu gibi çeşitli lifli maddeler ve kum, kizelgur, diatome toprağı, perlit, kil, kömür (odun, kemik) gibi granül veya toz halindeki maddeler uygulamada en sık kullanılan ticari süzme yardımcı maddelerdir (Purchas, 1967; 1971; Treybal, 1968; Orr, 1977; Kirk-Othmer, 1966; Yörükoğulları, 1985).

Gevşek lifli maddeler ince bir önkaplama yüzeyi oluşturmak üzere veya biradan çok ince taneciklerin uzaklaştırılmasında olduğu gibi derin yatak ortamı olarak kullanılırlar. Ancak kullanımlarının, sıvıda dağıtılmalarının ve destek levhasından uzaklaştırılmalarının daha kolay olması açısından granül halindeki maddeler daha fazla tercih edilir.

Bu maddelerden bazılarının belirgin özellikleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

2.3.1. Selüloz

Genellikle bira endüstrisi gibi mayalama yoluyla içki yapan endüstrilerde süzme yardımcı maddesi olarak kullanılan selüloz oldukça saf olup (% 99,5) Fe, Cu, Ca ve Mg gibi safsızlıkları ancak 0,02-4 ppm mertebesinde içerir ve kül miktarı yaklaşık % 0,1'dir. Seyreltik alkali ile yeniden bulamaçlaştırarak yıkamak suretiyle temizleyip belirli bir süre tekrar kullanılmaları mümkündür. Selüloz lifleri suyu absorplayarak şişer. Bu nedenle kullanımlarında süzülecek sıvının sulu veya organik oluşu önem taşır. Asidik ve bazik koşullara, silisli diatome toprağı ve perlitten daha dayanıklıdır. Bu açıdan kazan besleme sularının süzülmesi için de daha uygundur. Çünkü silisli maddeler az da olsa suda çözünebildiğinden kazan yüzeylerinde bir kabuk oluşturlar. Selüloz lifleri bazı hallerde geniş delikli destek levhalarından ilk sızmayı önlemek için diyatome toprağı altına tabaka halinde de yerleştirilebilirler.

2.3.2. Asbest

Asbest lifler de selüloz lifler gibi ve bazen de diatome toprağı ve perlitle önceden karıştırılarak veya keçeleştirip kumaş haline getirilerek kullanılır. Asbestin süzmede en sık kullanılan türü kimyasal yapısında kristal suyu içeren bir magnezyum silikat olan krizotil (chrysotile)'dir. Volkanik kökenli kayaların damarlarında yer alır. Lifleri insan saçından daha ince olup uzunlukları 1,59-3,81 mm'den 30,48 cm'ye kadar değişir (Purc-hās, 1967,1971). Süzme amacıyla kullanımındaki önemi yüzeyinin pozitif elektrostatik yüklü oluşundan ileri gelir. Mineral niteliğinden ötürü özellikle içki endüstrisinde önem taşıyan ve bazı durumlarda çözünebilen Mg, Ca ve Fe gibi safsızlıklar içermesi nedeniyle HCl ve sitrik asit gibi asitlerle muamele ederek asbesteki bu maddeler-

rin miktarı düşürülür. Selülozla karıştırılarak levha haline getirilen şekillerinde asbest yüzdesi % 5-45 arasında değişir. Liflerinin inceliği $15000-35000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ gibi geniş bir yüzey alanı sağlar. Ancak bu durumda lif haline getirilmesi gereken selülozun yoğunluğu artacağından gözeneklilik azalır. Bu da süzülecek akışkanın akış hızını ve berraklaşma derecesini etkiler. Yüzey kaplama ortamı olarak kullanıldığında parçacıkları tutma kapasitesini arttırmak üzere gözenekliliğin azaltılması sonucunda geçirgenlik ve hız azalır. Derin yatak ortamı olarak kullanıldıkları durumda ise asbestin geniş yüzey alanından yararlanmak ve geçirgenliği arttırmak üzere karışımdaki asbest yüzdesi arttırılır veya selülozun bir kısmı yerine daha çok hacim kaplayan diatome toprağı gibi maddeler kullanılır. Dikkatle hazırlanan ve en yüksek oranda asbest içeren en yüksek yoğunluklu selüloz-asbest karışımından hazırlanan tabakalarda $0,5 \mu\text{m}$ ve daha küçük parçacıkların derin yatak mekanizmasıyla tutulması mümkündür. Bu durumda parçacıklar pozitif yüzey yüklü asbest parçacıklarına yapışır ve orada tutulurlar. Olay zeta potansiyeli etkisiyle meydana gelir. Bu mekanizma hız sınırlandıran basamak olduğundan işlem belirli bir temas süresi gerektirir. Böylece ortam, parçacıkların yakalanması sonucu zamanla dolacağından akış hızı azalır. Bu durumda ya bu ortamın atılması veya basıncı yükselterek akışın tekrar sağlanması gerekir. Ancak bu tür lifli maddeler press tipi filtrelerde 2828 mmHg (40 psig), yatay levha filtrelerinde ise ancak 5413 mmHg (90 psig)'ye kadar dayanabilirler (Purchas, 1971).

Uygulamada çok vizkoz olan sıvıların işlenmesinde ve genellikle yerçekimi etkili ve düşük basınçlı işlemlerde oldukça açık gevşek tabakalar halinde kullanılır. Düşük vizkoziteli olan sulu veya diğer sıvılar için 40 psig'ye çıkan basınçlarda, daha sıkı dokulu ve sert tabakalar uygundur. Suyun sterilizasyonunda olduğu gibi aşırı miktarda berraklaştırma istenen hallerde çok düşük

hızlar kaçınılmazdır.

Bazı hallerde selüloz ve asbest gibi lifli maddelerin ıslakken dayanıklılıklarını arttırmak, böylece su jetiyle yıkanıp yeniden kullanımlarını sağlamak için aktif karbon, polivinilprolidon ve naylon gibi bağlayıcı bir katkı maddesiyle impregne edilirler. Karışıma eklenen aktif karbon bulamaçtaki katı parçacıkların yakalanması yanında renk veren çözünmüş boyar maddelerin ve diğer bazı maddelerin de giderilmesini sağlar. Adı geçen diğer iki katkı maddesinin ise biranın donması ve oksitlenmesinden ileri gelen bulanıklılığı (haze) giderdiği tespit edilmiştir. Günümüzde kanserojen olduğu artık kesinlikle belirlenmiş olan asbest yerine süzmede alt tabakayı oluşturmak üzere diatome toprağı da kullanılabilir. Bu tabakalar da yukarda belirtilen tipte bağlayıcı bir reçine ile impregne edilerek dayanıklılığı az olan asbest levhalar yerine kullanılabilir.

2.3.3. Diyatome toprağı

Mikroskopik bitkilerin birkaç milyon yıllık fosilleşmiş kalıntılarından oluşan ve onbinden fazla çeşidi bulunan bu madde amorf kayalar halinde yeryüzüne çıkarılıp kırma, öğütme, eleme, kurutma ve kalsinasyon işlemlerinden geçirilerek rafine edilirler. Kalsinasyon sırasında maddeyi akıcı (fluxing) hale getirmek üzere soda külü (soda ash) gibi maddeler kullanılabilir.

Diyatome, iki atomlu (diatom) anlamına gelir. Gerçekten de tek bir yosun hücresi, üremesi sırasında tam eşit iki kısma bölünerek çoğalır ve üreme bu şekilde devam eder. Bu diyatome kabukları aslında saf silisli ve diyatomenin yaşadığı sudan özütlenenebilir. diyatome öldükten sonra da insan iskeleti ve kemikleri gibi, fakat daha ziyade silisyumun kimyasal kararlılığı nedeniyle silisli kabuk yaşamaya devam eder. Diatome toprağı bu canlıların bu küçük iskeletlerinin yığılmasından meydana gelir. İki atomlular nem ve ışığın birlikte

bulunduğu her yerde yaşamaya, teneffüs etmeye ve ölmeye devam ederler. Tuzlu veya taze suda bulunabilirler.

Çözünebilen safsızlıklar ve kil gibi çözünemeyen kirleticiler de içerebilen yeryüzüne ilk çıkarılan kayalar hafif olup $[0,040-0,073 \frac{gr}{cm^3} (25-45 lb/ft^3)]$ % 20-40 oranında su içerirler. Yığın yoğunlukları $0,013-0,019 \frac{gr}{cm^3}$ (8-12 lb/ft³) olan daha hafif şekillerine de dönüştürülebilirler. Kalsinasyon işlemi iki atomluların yüzeyini etkiler, parçacık boyutunu artırır ve yüzey alanını düşürür. Böylece 1-10 μ arasında değişen tanecikler haline getirilen madde süzme hızlarının artmasını sağlar. Bu maddenin etkinliği, genellikle şeker çözeltileri ve bentonit kili içeren su gibi çeşitli sulu çözeltilerin süzülmesiyle tespit edilir (Purchas, 1967).

2.3.4. Genleştirilmiş Perlit

1950'lerde süzme konusuna geçen bu madde granitle aynı bileşimde ve onun gibi volkanik kökenlidir. Bir yanar dağdan çıkan erimiş lavların su ile temas ederek hızla soğumasından meydana gelir. Bu nedenle perlit, kristal yapısına sahip olmayan granit gibi gerçek kayalardan farklı olarak aşırı soğumuş bir sıvı yani doğal camdır. Inciye (pearl) benzeyen küçük kütlelerden oluşması nedeniyle bu adı alır.

Lavların ani soğuması sonucunda oluştuğundan yapısında az miktarda su bulunur. Mineralin su içeriği, daha sonra absorpladığı nemle birlikte % 3-4 arasında değişir. Bu madde de diatome toprağı gibi kırma, öğütme, eleme ve kalsinasyon işlemleri sonucunda süzme için kullanıma hazırlanır. Kilit işlem, kırılmış perlitin, yumuşama noktasına kadar hızla ısıtılarak yapısındaki suyun buharlaştırılması ve bireysel taneciklerin ilk hacminin yaklaşık yirmi katına kadar şişme ve patlamasının sağlanmasıdır. Böylece meydana gelen içi boş küçük bilyalar öğütülerek başarılı bir süzme için gereken, şekli düzgün olmayan tanecikler haline getirilir. Uygulamada bazı içi boş kürecikler öğütme işleminde parçalanamadığından

yüzücü (floating) bir grup oluşturur ve işlemlerde güçlük çıkarırlar. Süzmede kullanılan patlamış perlitin kuru yoğunluklarının genellikle $0,0048-0,0097 \frac{gr}{cm^3}$ ($3-6 \frac{lb}{ft^3}$) olması istenirse de yoğunlukları $0,017 \frac{gr}{cm^3}$ ($11 \frac{lb}{ft^3}$)'e çıkan şekilleri de vardır (Purchas, 1971).

Ağırlıkları diatome toprağına kıyasla % 20-30 daha azdır. Döner vakum filtrelerinde önkaplama maddesi olarak sık kullanılırlar. Perlit keklerin diatome toprağından daha fazla sıkıştırılabildiğı ve bu nedenle geçirgenliğı daha fazla etkilediğı ve yine diatome toprağına kıyasla süzülecek parçacıkların yatakta daha derine kadar inebildiğı, bunun sonucu olarak da kullanım sürelerinin daha kısa olduğı tartışılmaktadır. Ayrıca diatome toprağına kıyasla daha az berrak çözeltiler verdiği saptanmıştır. Bu da yüzey alanının düşük olmasına böylece derin yatak süzme mekanizmasının etkin olmaması ve mikronaltı parçacıkları geçirebilmesine bağlanmıştır.

Oldukça ucuz olan bu madde diatome toprağına kıyasla önemli miktarda daha fazla Al, K ve Na oksitlerini içermesi nedeniyle oldukça dar bir pH aralığında (pH=4-9) kullanılabilir. Tipik bir genleşmiş perlitin bileşiminde ağırlıkça yaklaşık % 74,7 SiO₂, % 13,2 Al₂O₃, % 0,67 Fe₂O₃, % 0,83 CaO, % 0,03 MgO, eser miktarda P₂O₅, % 1,10 TiO₂, % 4,40 Na₂O, % 5,08 K₂O bulunur (Purchas, 1971).

2.3.5. Plastik ve benzeri tozlar

Yüksek maliyetli katı poliüretandan yapılmış bu maddeler yığın yoğunluklarının düşük olması nedeniyle tercih edilir ve oldukça dayanıklıdır (Emneus et al., 1969; Purchas, 1971).

Hafiflikleri nedeniyle dozajlama metoduyla kullanıldıkları durumda sıvıda tekdüze dağılımları kolay sağlanabildiğinden çökme problemleri önlenabilir. Ancak, kolay ıslanmadıklarından ve yoğunlukları düşük (s.g.0.92) olduğundan istenmeyen yüzme eğilimi gösterirler. Silis

yüzdeleri düşük (% 0,05) olduğu için buhar üreten kazanların besleme sularının parlatılmasında ve kondensat süzülmesinde kullanılırlar. Lifli tabakaların alt kaplaması şeklinde kullanılarak bu lifli maddelerin işlem sonunda kolayca uzaklaştırılmasını sağlarlar. 60-70 mesh'lik bilyalar halinde Gellfilt ve Permutit (Ponty band polimer) adıyla ve kristal yapılı sentetik süzme tozu ise Precosit adıyla kullanılır (Purchas, 1971). Kristallerinin suda az da olsa çözündüğü Precosit özellikle farmasotik endüstrisinde sık kullanılır (Shreve, 1985; Purchas, 1971).

Ayrıca sinterleştirme ve köpüklendirme yoluyla hazırlanan polivinil klorür, poliüretan, polietilen, teflon gibi plastik maddelerin gözenekleri 1μ 'na kadar küçültülebilir.

2.3.6. Kum

Özellikle suların saflaştırılması ve atık suların işlenmesinde kullanılan büyük ölçekli ve yerçekimi etkili veya basınçlı filtrelerde (derin yatak) kırılmış veya granül halde bulunan kuartz, silis kumu, kok, antrasit, odun kömürü, mermer gibi çok gözenekli olmayan maddelerin kullanılması istenir ve bu amaçla daha ziyade kum tercih edilir.

0,31 cm ($\frac{1}{8}$ inç)'den küçükleri kum, büyükleri çakıl adıyla anılan bu tür maddelerde kil, mika, kireç taşı, feldspar, shale, demirtaşı gibi safsızlıkların bulunması istenmez. Ayrıca derişik (10 N) HCl'de yirmi dört saatten fazla kaynatıldığında % 5'den daha fazla çözünme olması da istenmez (Collins, 1973; Purchas, 1967, 1971; Taygun, 1973).

Suların saflaştırılmasında ham su, alum gibi maddelerle muamele edilerek pıhtılaştırılır ve filtreye verilmenden önce çöktürme havuzlarından geçirilir (Gürbüz, 1985; Akdeniz, 1985; Purchas, 1971). Böylece kumda süzülecek tanecikler genellikle irileştirilmiş olduğundan kum

parçacıklarına daha kolay yapışırlar. Atık su işlenmesinde de benzer pıhtılaştırma basamağı genellikle uygulanır ve kum yatak bakterileriyle sık sık aktifleştirilir. Böylece çakıl parçalarının yüzeyinde jelatinimsi bir bakteri film tabakası oluşturulur. Bu bakteriler suda çözünen safsızlıkların giderilmesinde asil etkindir ve onun için gözenekli parçacıklar kullanıldığında bu gözeneklere de girebilen bakteri ve safsızlıklar kolay yıkanamaz ve bakterilerin teneffüsü kontrol edilemez. Aktifleştirilmiş bir filtrede kum yatağının kullanılmasının asıl nedeni suyun bakterileriyle temas edebileceği zamanı ve geniş yüzey alanını sağlayarak temizleme sürecini sürdürmektir.

Aynı amaçla son zamanlarda karışık yataklarda kullanılmaktadır. Örneğin antrasit ($sg=1,41$), kumun ($sg=2,65$) üzerinde, grena taşı (garnet kum, $sg=3,9$) kumun altında yer alacak, ayrıca ince tanecikler altta, kaba olanlar üstte bulunacak şekilde yerleştirilir. Böylece yoğunluk farklarından dolayı yatak geri yıkama işlemlerinden etkilenmez ve süzme, aşağıya doğru gittikçe incelen parçacıklar doğrultusunda gerçekleşir.

Bu tür kaba taneciklerden oluşan derin yatakların havadan sülfürik asit sislerinin uzaklaştırılmasında % 99,9 etkinlik gösterebildikleri ve 0,5-2 μ m parçacıkları yakalayabildikleri tesbit edilmiştir (Purchas, 1971).

2.3.7. Karbon içeren maddeler

Yüksek oranda karbon içeren maddeler, adsorpsiyon özellikleri dolayısıyla süzme işlemlerinde de önemli rol oynarlar.

Kırılıp kurutulmuş kemiklerin 593-871 $^{\circ}$ C sıcaklık aralığında parçalayıcı (destructive) distilasyonundan elde edilen kemik kömürü özellikle şeker rafinasyonunda kullanılır (Purchas, 1967; Treybal, 1968).

Renk gidermede kullanılan karbon tipleri değişik yollarla elde edilebilirler. Örneğin sebze artıkları

kalsiyum klorür gibi inorganik maddelerle karıştırılıp karbonlaştırıldıktan sonra inorganik madde özütlenerek; talaş gibi organik maddeler ponza taşı gibi gözenekli maddelerle karıştırıldıktan sonra karbonlu maddeyi gözeneklere dağıtmak üzere ısıtarak ve karbonlaştırarak; veya odun, talaş gibi maddeleri karbonlaştırıp sıcak hava veya buharla aktifleştirerek elde edilebilirler. Bu türleri şeker çözeltilerinin, endüstriyel kimyasal maddelerin, ilaçların ve kuru temizlemede kullanılan sıvıların renklerinin giderilmesinde kullanıldığı gibi, suların saflaştırılmasında ve sebze ve hayvan yağlarının rafinasyon işlemlerinde de kullanılabilir (Treybal, 1968; Purchas, 1971; Shreve, 1985).

Gaz adsorplayıcı özel tipleri ise hindistan cevizi kabukları ve meyve çekirdekleri ile, kömür ve odunun karbonlaştırılmasından elde edilir. Sıcak hava veya su buharı ile kısmen aktifleştirilmeleri gerekir (Akdeniz, 1985). Pellet veya granül şeklinde hazırlanabilirler (Treybal, 1968).

Nerofil veya synofil ticari adıyla bilinen aktifleştirilmiş karbon tipleri diyatome toprağı ve perlitin en kaba olan boyutlarındadır. Silis kökenli maddelerin çözüldüğü alkali ortamlarda emniyetle kullanılabilirler (Purchas, 1967, 1971).

Kokla doldurulmuş kulelerin, arpa kavurucularından çıkan tozların havadan ayrılmasında etkin olduğu saptanmıştır. Bu tozlarla dolan yatak, buhar üreten tesislerde yakıt olarak kullanılabilir. Granül halindeki 8-14 mesh karbon parçacıklarından oluşan yatakların, aerobik fermentasyon süreçlerinde (penisilin üretimi gibi) kullanılan havanın sterilizasyonunu sağladığı da bilinmektedir. Çapı 15,24 cm (6 inç) olan bir yatakta 15,24 cm/sn(0,5 ft/sn) hızla hava akışı durumunda mikroorganizmaların ancak yüzbinde birinin geçebildiği ve gerisinin yatakta tutulabildiği tespit edilmiştir (Purchas, 1971).

2.3.8. Killer ve seramik maddeler

Çeşitli seramik malzemelerin yapımında kullanılan değişik kökenli killerden "Fuller toprağı" adıyla bilineni doğal kil olup "montmorillonit" ve "attapulgit" adıyla bilinen mineraller şeklindeki magnezyum alüminyum silikatlarıdır (Doğan, 1985). Kilin ısıtılıp kurutulması sonucunda gözenekli bir yapı oluşur. Bu madde daha sonra öğütülüp elenerek ince toz haline veya granül şekline getirilebilir. Bu killer özellikle yağlamayağlarının, trafo yağlarının, gazyağı (kerosen) ve benzinin (gazolinlerin), sebze ve hayvan yağlarının renk ve asitlerinin giderilmesinde kullanılır (Treybal, 1968).

Bentonit ve benzeri bazı killer ise sülfürik veya hidroklorik asitle aktifleştirilmedikleri sürece adsorplama özelliğı göstermeyen, ancak süzme amacıyla kullanılabilen maddelerdir. Aktifleştirilmiş ürün yıkanıp kurutulduktan sonra özellikle petrol ürünlerinin renklerinin giderilmesinde kullanılmak üzere ince toz haline getirilir (Treybal, 1968; Purchas, 1971).

Alüminyum açısından zengin olan kilden (alumina) yapılan maddeler, toz halindeki parçacıkların fırınlarda yaklaşık 1400 °C sıcaklıkta ateşlenmesiyle hazırlanır. Bu tür maddeler kimyasal etkilere dirençli, korozyon ve yüksek ısıya dayanıklı ve ucuz olup gözeneklilikte çeşitlilik (1-1000 μ) gösterirler.

Silis açısından daha zengin olan kilden yapılan taş (stoneware) malzemeler ise süzme yardımcı maddesi olarak kullanılmak üzere kırılır veya öğütülürler (Purchas, 1967; Kirk-Othmer, 1966; Collins, 1973).

2.3.9. Metalik malzemeler

Bronz, paslanmaz çelik, inkonel (inconel) gibi bazı metaller, levha ve toz şeklinde veya örgülenerek süzme işlemlerinde kullanılabilirler (Purchas, 1971). Gözenekleri 3-400 μ arasında değişebilir. Lazer teknikleriyle

75 μ m'dan daha küçük gözenek elde etmek mümkündür. Kaba ayırmada gözeneklilikleri 5 μ m olan örgü metaller kullanılır. Bunlar, sıvıların gaz akımlarından ayrılmasında çarpma (impaction) mekanizması ile etkinlik gösterirler.

2.3.10 Molekül elekleri (molecular sieves)

Bu maddeler sentetik zeolit kristalleri, metal alüminosilikatlardır. Kristal hücrelerinin kafesleri belirli boyuttaki maddeleri tutabilecek şekilde ayarlanır. Kristal bileşimiyle ayarlanan geçit yollarının çapı, moleküllerin, boyutlarına bağlı olarak geçebilmesini veya parçacık dışında bırakılmasını sağlar. Böylece moleküllerin büyüklüklerine göre ayırabildiği gibi metal iyonları polarlıklarına ve doygunluk derecelerine bağlı olarak da tutabilir (adsorption). Gaz ve sıvıların kristal sularının giderilmesinde, gaz ve sıvı hidrokarbon karışımlarının ayrılmasında ve suların saflaştırılması gibi diğer birçok benzer işlemlerde rejenere edilerek kullanılabilir (Yörükoğulları, 1985; Treybal, 1968).

2.3.11. Membranlar ve diğerleri

Yukarda bireysel olarak tanıtılan çeşitli maddeler birlikte kullanılarak süzmede önem taşıyan değişik amaçlı ortam levhalarının veya kartuşların hazırlanması mümkündür (Orr, 1977; Purchas, 1971).

Örneğin, pamuk, alfa (esparto) otu gibi çeşitli bitki lifleri, odun, cam, asbest veya metal lifleri ortam kağıdı yapılmasında preslenerek kullanılabilir. Genellikle kaba (30 μ) selülozik liflerin veya asbest liflerinin dayanıklılıklarını arttırmak için melamin reçinesi, neopren gibi çeşitli bağlayıcı maddeler kullanılarak impregnasyon işlemi uygulanır. Su çekmeyen kağıt hazırlanmasında impregne edici olarak silikon kullanılır. Kağıtların hazırlanması için çeşitli selülozik lifler önce sulu süspansiyon haline getirilip ince bir film oluşturacak tarzda süzöldükten sonra bastırılıp kurutulur (Purchas, 1971).

Böylece Kozeny daire kesitli düzgün bir kanal için verilen Poiseuille denkleminin, eşdeğer çap cinsinden, gelişigüzel doldurulmuş parçacıklardan oluşan bir yatak için de

$$\bar{\mu} = \frac{\delta^2 \Delta p}{K' \mu L'} \quad (3.2.15)$$

şeklinde yazılabileceğini önermiştir (Kara, 1977; McCabe and Smith, 1976). Burada K' , yatağın yapısına özgü boyutsuz bir sabit olarak tanımlanmıştır. Formülde, gözeneklerden oluşan kanalların uzunluğunu gösteren L' , çok kaba bir yaklaşımla yatak yüksekliğine (L) eşit alınabilir.

Kanallardaki gerçek doğrusal hızı, deneysel olarak kolayca ölçülebilen doğrusal boş kule akım hızına (u) dönüştürmek üzere Dupuit bağıntısını

$$\bar{u} = \frac{u}{\epsilon} \quad (3.2.16)$$

kullanarak ve ayrıca 3.2.13 denkleminde yararlanarak 3.2.15 bağıntısını

$$u = q = \frac{1}{A} \frac{dv}{dt} = \frac{\epsilon^3}{K'} \frac{1}{\mu S^2} \frac{\Delta p}{L} = \frac{\epsilon^3}{K' \mu S_p^2 (1-\epsilon)^2} \frac{\Delta p}{L} \quad (3.2.17)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Kozeny-Carman denklemi olarak bilinen bu bağıntı (Orr, 1977), Pirie tarafından belirtildiği üzere gelişigüzel bir dolgu için yaklaşık olarak doğru, ancak, Coulson ve Richardsan tarafından belirtildiği üzere kürelerin kübik düzeni için doğru değildir. Ayrıca Darcy ve Poiseuille denklemlerindeki ve bunlardan çıkılarak türetilen 3.2.17 denklemindeki akım hızı ile basınç düşmesi arasındaki doğru orantının, yüksek akım hızlarında bozulduğu gözlenmiştir. Navier-Stokes denklemindeki atalet terimi önem kazanmaya başladığında doğrusallıktan bu tür sapmalar olmaktadır. Biçimsiz kanallarda bu durumun türbülensin oluşmasından çok önce başladığı bilinmektedir. Sapmaların nedeni sürüklenme kavramlarından çıkılarak izah edilebilir.

Genellikle 8-0,03 μ m boyutlarında olan cam lifler, ıslanma sonucunda selüloz lifleri gibi şişmezler ve parçacık tutma etkinlikleri de selüloz liflerinden daha fazladır.

Yün, pamuk gibi lifli doğal ve lifleri sonsuz uzunlukta olabilen naylon gibi sentetik malzemeler en fazla 300 °C'a kadar dayanabilirler. Bu malzemelerin kimyasal etkilere dayanıklılıklarını arttırmak için hidrojeniz poliidimid yapısıyla değiştirilmeleri düşünülmektedir (Purchas, 1971).

Bu tür maddelerin parçacık tutma kapasiteleri lif demetlerinin çapına, liflerin bükülme ve eğrilme şekillerine ve örgü tiplerine bağlı olarak 0,1 μ m'a kadar inebilir. Kartuşlar genellikle bu tip malzemelerden veya keçe ve kağıtlardan yapılırlar (Purchas, 1971).

Örgülü olmayan ve kısa liflerin mekanik baskıyla birleştirilmesinden meydana gelen "keçe" yapımında pamuk, yün, asbest lifleri ve bazı hallerde fenol formaldehit karışımları kullanılır. Bunlar 296 °C'ye kadar olan sıcaklıklara dayanırlar. Gözenek boyutları 0,1 μ m'a kadar düşebilir.

Aynı amaçla kullanılan 4-24 μ m çaplı sentetik mineral lifleri ise 800 °C'a kadar dayanıklı olup, çoğunlukla sterilizasyon işlemlerinde kullanılırlar. Bu metal lifli keçeler, 5 μ m'a kadar olan parçacıkları tutabilirler (Purchas, 1971).

Ayrıca biranın sterilizasyonu gibi büyük ölçekli işlemlerde de kullanılan, selüloz nitrat, selüloz esterler, PVC, polietilen ve fluorokarbon malzemelerinden yapılmış 150-0,2 μ incelikte membran tabakalar da süzme işlemlerinde büyük önem taşırlar. Çok ince gözenekler içeren bu maddeleri hazırlamak için adı geçen malzemeler önce uçuculukları farklı iki çözücünden oluşan karışımda çözülür. Bu çözeltiden ince bir tabaka oluşturulur. Daha uçucu olan çözücünün buharlaşması sonunda geride

plastikten ve az uçucu çözücünden oluşan bir jel kalır. Ayrı bir faz oluşturarak jel kütlesi içinde hapsedilmiş olan ikinci çözücünün buharlaşması sonucu kendisine yeni yollar açmak üzere hücre duvarlarını kırması, membranın gözenek yapısının meydana gelmesini sağlar (Altena ve Belfort, 1984; Nakao, et al., 1979; Hill, 1985 b; Applegate and Pont, 1984; Purchas, 1971).

Diğer membranlardan farklı olarak elektrostatik etki göstermeyen 5-0,2 μ gözenek boyutlu gümüş metal membranlar da vardır. Gümüş membran dışında kalan metal membran filtrelerdeki elektrostatik etkiler, bu malzemelerin, gözeneklerinden beklenenden daha fazla etkin olmalarını sağlar.

Anizotropik özellik gösteren özel membranlar (Diaflo) 2585 mmHg(50 psi)'ye kadar dayanabildikleri halde, ters (reverse) ozmos ayırma süreçlerinde kullanılan membranların dayanıklılığı 51700 mmHg (1000 psi)'e kadar çıkar (Applegate and Pont, 1984; Purchas, 1971).

Membranlar genellikle süzme süreçlerinin fitrat parlatılması basamağında kullanılırlar.

3. KURAMSAL ANALİZ

3.1. Gözenekli Ortamlardan Akışkan Akımı ve Teorik Modeller

Süzme işlemi gözenekli ortamlardan akışkan akımı ile ilgili en bilinen uygulamalardan biri olduğu için burada öncelikle gözenekli ortamlarla ilgili mevcut teoriler hakkında kısa bir açıklama yapmak yerinde olacaktır.

Gözenekli ortamlardan veya dolgulu yataklardan akışkan akımı ile ilgili olarak kapiler, hidrolik yarıçap, süzümleme teorileri ve istatistiksel teoriler geliştirilmiştir. Bu teorilerin çoğunda gözenekli yapıların geçirgenlikleri ve etkin yayınırlıkları incelenmiştir (Kara, 1976, 1977; Gal, et al., 1985; Soo and Radge, 1984; Vaughan and Soates, 1982).

Ancak mevcut fiziksel süzme teorileri ya çok basit ve bu nedenle uygulanabilirlikleri kısıtlı veya aşırı sayıda deney gerektirecek şekilde karmaşıktır. Literatür taraması, mevcut kimyasal süzme teorileri ile fiziksel teoriler arasında önemli derecede uyumsuzluk olduğunu göstermiştir. Bu nedenle bu teoriler filtre performansını belirlemede genellikle yetersiz kalırlar. Başarılı bir model için tanecik ve gözeneklerin, bireysel taneciği çevreleyen akış alanının ve komşu tanecikler arasındaki etkileşimin gelişigüzel oluşu gözönüne alınmalıdır. Ayrıca gerçek süzme işlemlerinde berrak bir akışkanın akışından farklı olarak, ikiden fazla sayıda taşınım mekanizması birlikte olabilir. Bütün bu hususların henüz yeterince incelenmemiş olması, ayrıca önemli kimyasal parametrelerin bilinmemesi ve bu nedenle de kontrollerin henüz mümkün olmayışı süzme süreçleri arasındaki uyumsuzlukların nedenleri olarak sayılabilir.

Gözenekli ortamlardan veya dolgulu yataklardan akışkan akımı ile ilgili teorilerin geliştirilmesine yönelik ilk atılımlarda genellikle kapiler modeller kullanılmıştır. Bu çalışmalarda tek bir kapilerden akışı formüllendiren

Hagen-Poiseuille denkleminde başlayarak, paralel kapiler demetleri, dik açılı (orthogonal) kapiler gruplar, farklı çapta seri bağlı kapilerler ve dallanmış kapiler modeller incelenmiştir (Mc Cabe and Smith, 1976; Kara, 1977).

Kapiler modeller dolgulu bir yatak için oldukça basitleştirilmiş bir yapıyı sembolleştirdiğinden, elde edilen denklemler kapilerlerin çap dağılımına çok duyarlıdır. Ancak bu denklemler, tanımlanan bir biçimsizlik (tortuosity) faktörü yardımıyla herhangi bir gözenekli ortama uygulanabilmektedir. Kapiler modellerin, filtre katsayısı ve filtrasyondaki basınç hesaplamalarında deneysel verilere uymayan sonuçlar verdiği, ayrıca süzme hızlarının tahmini için de uygun olmadığı görülmüştür.

Kapiler modeller, katı maddenin birikim sürecinde önemli rol oynadığına inanılan eğimlilik etkilerinin Poiseuille denkleminde ihmal edilmesi nedeniyle, süzme hızlarının tahmini için uygun değildir. Ayrıca bu modeller akımın daralma-genişleme karakterini ve düzgün silindirik borulardaki kritik Reynolds sayısından en az yüz kat daha düşük olan Reynolds sayılarında dolgulu yataklarda kinetik (inertial) etkileri de gözönüne almaz (Kara, 1976, 1977; Mc Cabe and Smith, 1976).

Payatakes, Rajagopalan ve Tien (Kara, 1977), iki değişik gözenekli ortam modeli (Kapiler ve Brinkman) kullanarak filtre katsayısı ve süzme sırasında basınç artışını hesaplamayı amaçlamışlardır. Her iki modelde basınç düşüşünün artışı ile ilgili olarak, deneysel verilere uymayan sonuçlar vermiştir. Çünkü bu modellerde, filtredeki parçacıklarla, tutulan parçacıklar arasında bir ayırım yapılmamıştır.

Daha sonra Kozeny, gözenekli ortamın, belirli bir uzunlukta olan, ancak kesiti değişebilen kanallar topluluğundan oluştuğunu düşünerek hidrolik yarıçap teorisini geliştirmiş, Navier-Stokes denklemini de akım doğrultusuna dik bir kesit alanı için çözerek, geçirgenlikle hid-

lik yarıçap arasında

$$r_H = \frac{F(\epsilon) K'^{1/2}}{c''} \quad (3.1.1)$$

şeklinde bir ilişki elde etmiştir (Mc Cabe and Smith, 1976; Orr, 1977). Bu hidrolik yarıçaptan yararlanarak geçirgenlikle eşdeğer gözenek çapı arasında bir ilişki kurmak mümkündür. Kozeny'nin bu teorisi daha sonra Carman tarafından düzeltilmiş olduğundan ve bu geliştirilmiş şekliyle yatak geçirgenliği, gözenekliliğin, özgül yüzey alanının ve K'' ampirik hız sabitinin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinden, bu yeni teori Kozeny-Carman teorisi adıyla tanınır. Yaygın şekilde kullanılmasına rağmen, bu denklem yine de ciddi eleştirilere açıktır. Örneğin, deneysel ölçümler, geçirgenliğin, yatağın dolduruluş tarzının da bir fonksiyonu olduğunu göstermekle birlikte, bu durum denklemde açıkça belirtilmemekte, Kozeny-Carman sabiti olarak bilinen K'' ampirik faktörün içinde diğer bazı parametrelerle birleştirilmiş bulunmaktadır. Ayrıca yüzey alanlarının ölçülmesinde sık kullanılan bu denklem yardımıyla elde edilen sonuçlar, daha güvenilir olan gaz adsorpsiyonu (Uzunoğlu, 1984) ve parçacık boyutu ölçümlerinden elde edilen sonuçlardan çok farklıdır (Kara, 1977; Banchemo and Badger, 1984).

Süzme işlemleri ile ilgili veri analizlerinde Kozeny-Carman denklemi, genellikle, süreklilik denklemi olarak da bilinen Navier-Stokes denklemi, ampirik Darcy denklemi, yarı ampirik Ergun, Burke-Plummer veya Blake-Kozeny denklemleriyle birlikte kullanılır (Collins, 1973; Mc Cabe and Smith, 1976).

Dolgulu yataklardan akışkan akımı ile ilgili hidrolik sürüklenme (drag) teorileri ve istatistiksel teoriler gibi başka kavramlar da mevcuttur.

Iberall ile başlayan sürükleme teorilerine göre, yataktaki basınç düşmesi, geçen akışkanın gözenek çeperlerine etkittiği sürükleme cinsinden düşünülür (Orr, 1977). Özel bir yönlendirme (orientation) olmadan küresel parçacıklarla gelişigüzel doldurulmuş olan bir yatakta akışkanın, yatağın kanalcıklarından geçerken, bu kanalcıkları oluşturan parçacıklara etkittiği toplam sürükleme kuvvetinin (F_D), sürtünmeden doğan vizkoz kuvvetlerle (F_v), eylemsizlik veya atalet (inertial) kuvvetlerinin (F_I) toplamından oluştuğu düşünülür (Mc Cabe and Smith, 1979).

$$F_D = F_v + F_I \quad (3.1.2)$$

$$\frac{F_D}{A_s} = \frac{F_v}{A_s} + \frac{F_I}{A_s} \quad (3.1.3)$$

$$\frac{F_v}{A_s} = \frac{k_1 \mu \bar{u}}{r_H} \quad \frac{F_I}{A_s} = k_2 \rho \bar{u}^2 \quad (3.1.4)$$

$$\frac{F_D}{A_s} = \left[\frac{k_1 \mu \bar{u}}{r_H} + k_2 \bar{u}^2 \right] \quad (3.1.5)$$

Istatistiksel teoriler, bir akışkanın yataktan geçişinin gelişigüzel yürümeye (random walk) benzediğini temel alır. Düzensiz (disordered) sistemlerle bağlantılı olarak, istatistiksel teoriler, gözenekli ortamın izotropik olduğunu ve makroskopik olarak benzer sistemlerden oluştuğunu varsayar. Yerel yapısal detayları gözönüne alan ve almayan şekilleri mevcuttur.

Childs ve Collis-George tarafından önerilen ilk istatistiksel model, deneysel verilerin korelasyonu için Kozeny modelinden daha uygundur (Kara, 1977). Bu modele göre gözenekli yapı kapiler boru demeti şeklinde düşünülebilir. Ancak boru boyutlarının eşit olduğu varsayılmaz ve bu boru çapları doygunluk-kapiler basınç verilerinden belirlenebilen bir dağılım gösterir. İzotropik bir ortam için böylece elde edilen geçirgenlik ifadesinde basınç düşmesi-akım hızı verilerinden deneysel olarak tayin edilebilen tek bir parametre yer alır.

Josselin de Jong ve Saffman tarafından geliştirilen modeller ise tekdüze (üniform) kapiler boruların gelişigüzel ağ oluşturmaları temeline dayanır ve dağılım (dispersion) katsayılarının hesaplanmasını sağlamak amacıyla önerilmiştir (Orr, 1977; Kara, 1976,1977).

Fatt tarafından önerilen başka bir model gözeneklerin tekdüze olmayışını gözönüne alır ve izotropik bir ortam için geçirgenlik ve doygunluk-kapiler basınç verilerinin elde edilmesine yöneliktir (Amyx, et al., 1960; Kara, 1977).

Kapiler boruların gelişigüzel ağ oluşturmalarına yönelik geliştirilmiş bir model Harring ve Greenkorn tarafından önerilmiştir (Kara, 1977). Bu modelde, boyutlarının ve yerleşim şeklinin gelişigüzel olduğu gözenekler ele alınmıştır. Ancak modele göre dolgulu yataklarda yatağın en küçük küresinin çapının % 15,5' uğundan daha dar çaplı silindirik gözeneklerin var olduğu varsayılmıştır. Gerçekte ise kürelerden oluşan bir dolgulu yatakta en küçük geçit bile bu değerden daha büyüktür.

Scheidegger, dağılım (dispersivity) kavramını, yani akışkanın yana doğru da hareket edebileceğini ileri sürerek, Brown yayınlırlığı ile geçirgenlik arasındaki bağıntıyı bulmak üzere Einstein tarafından geliştirilen teknikleri kullanmıştır.(Kara, 1977; Orr, 1977).

Scarlett, düzensiz bir gözenek için üç boyutlu (stereological) geometrik bir şekil tanımlayarak Kozeny-Carman sabiti için $\mu^2/2$ değerini veren laminar akım denklemini elde etmiştir (Orr, 1977). Aşağıdaki bölümlerde de belirtileceği gibi, Kozeny-Carman sabiti olarak bilinen K' parametresi, parçacıkların şekil ve boyutuna ve yatağın doldurulmuş şekline bağlı bir sabit olup normal gözenekliliğe sahip yataklar için değeri 3,5-6,0 arasında değişir ve nümerik değeri ortalama 5 alınır (Mc Cabe and Smith, 1979; Foust, et al., 1959; Amyx, 1960).

Basit kollektör tipi gözenekli ortam modelleri de önerilmiştir. Bu modeller arasında, sonsuz ortamda tek küre ve Happel modelleri sayılabilir. Bu modellerin,

temiz bir yataktaki küçük parçacıklar için derin yatak : modellemesi amacına uygun olduğu, ancak büyük parçacıkların süzülmesine ilişkin modelleme için veya parçacık birikiminin süzme verimi ve basınç düşmesine etkisinin modellenmesi için uygun olmadığı saptanmıştır (Kara, 1977).

3.2. Süzme İşlemlerine Uygulanabilen Gözenekli Ortam Modelleri

Literatürde, hava ve suyun çok çeşitli katılar arasından geçerek akması ile ilgili çok sayıda veri mevcuttur. Bu veriler farklı matematiksel formüllerin temelini oluştururlar. Böylece elde edilen sıvıların sıkıştırılamayan tekdüze (üniform) yataklardan akışı ile ilgili kurallar, daha karmaşık tekdüze olmayan sıkıştırılabilir yataklar veya kekler için formüllerin türetilmesini sağlarlar.

Sıvıların kum yataklardan akışı ile ilgili çalışmaları sonunda Darcy, şimdi "Darcy Kanunu" olarak bilinen

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = K' \frac{\Delta P}{L} \quad (3.2.1)$$

şeklindeki bağıntıyı önermiştir (Collins, 1973; Kara ve Uzunoğlu, 1986; Tiller and Cooper, 1960; Brown, 1982; Willis, et al., 1985).

Darcy'nin çalışmasının yayınlanmasından kısa bir süre önce de Poiseuille, sıvıların, daire kesitli düzgün tek-bir kapilerden akışı için

$$\bar{u} = \frac{\pi r^4}{8\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (3.2.2)$$

denkleminin uygun olduğunu açıklamıştır (Mc Cabe and Smith, 1976; Collins, 1973). Bu denklem, akışkanın bir kapilerden akma hızının akışkan vizkozitesi ile ters orantılı olduğunu belirler. Bu sonuç Darcy denklemi ile birleştirildiğinde

$$q = \frac{K \Delta P}{\mu L} \quad (3.2.3)$$

bulunur. Burada K sembolü ile gösterilen ve yatak geçirgenliği adı verilen parametre ilk kez bu denklemle tanımlanmıştır. Yatak geçirgenliği genellikle "Darcy" birimiyle ifade edilir. Vizkozitesi 1 cp olan bir akışkanın $p = 1$ Atm hidrolik basınç farkında $1 \text{ cm}^3/\text{sn-cm}^2$ hızla akması durumunda $K = 1$ Darcy olarak tanımlanır (Collins, 1973; Amyx, 1960).

Birçok çalışmacı geçirgenlikle, yatağın katı madde ile kaplı olmayan hacim kesri şeklinde tanımlanan gözeneklilik (ϵ) arasında bir ilişki kurmaya çalışmıştır. Deneysel ve kuramsal çalışmalar geçirgenliğin, gözeneklilik ve özgül yatak yüzey alanı (yatağın toplam hacmi başına yataktaki katıların toplam yüzey alanı, S) gibi çeşitli değişkenlerin bir fonksiyonu olduğunu açıkça göstermiştir.

Birim uzunlukta ($L=1$) ve birim kesit alanına ($A=1$) sahip olan bir yatakta, bu yüzeye dik n sayıda düzgün kapiler bulunduğu düşünülerek yatağın gözenekliliği ve özgül yüzey alanı için

$$\epsilon = n' \pi r^2 \quad S = 2n' \pi r \quad (3.2.4)$$

yazılabileceğinden Poiseuille denklemini

$$\bar{u} = \frac{n' \pi r^4 \Delta P}{8 \mu L} = \frac{\epsilon^3 \Delta P}{2 S^2 L \mu} \quad (3.2.5)*$$

şeklinde de vermek mümkündür. Ancak şekli düzgün olmayan parçacıklar veya bağlantılı kanallar için gözenek yarıçapının tanımlanması ve böylece daire kesitli düzgün borular için varolan denklemlere denk bir bağıntı türetilmesi oldukça zordur. Ayrıca korelasyon amaçlı girişimlerin ço-

* Uzaklık ortamdan başlayarak ölçüldüğünde hidrolik basınç farkının (ΔP) nümerik değeri pozitif olacaktır ($\Delta P/L > 0$)

ğunda belirli bir parçacık şekli (örneğin Raschig halkaları) için farklı boyutlar ve doldurma şekilleri karşılaştırıldığından bulunan sonuçlar pek genel değildir. Aslında Scheidegger de genel bir korelasyonunun varolduğuna pek inanmamıştır (Orr, 1977).

Sıvıların, düzgün silindirik kanallardan akışı için verilene benzer tarzda, düzgün şekilli olmayan parçacıklar arası kanallardan akışı için de bir kritik Reynolds sayısının tanımlanması ve bu sayıda çapa eşdeğer bir doğrusal boyutun kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu husus akışkan akımı için hidrolik yarıçap teorilerinin başlangıç noktası olmuştur. Kozeny, gelişigüzel bir yatakta gözenek boşluğu için özgül yatak yüzey alanı başına boşluk hacmi olarak

$$r_H = \frac{\epsilon}{S} \quad (3.2.6)$$

şeklinde bir hidrolik yarıçap tanımlanmıştır (Mc Cabe and Smith, 1976). Bu miktar, içinden akışkanın aktığı bir kanal veya dolgulu bir yatağın gözenek boşluklarından oluşan kanalcıklar için

$$\delta = 4 \frac{\text{Kesit alanı}}{\text{Islak çeper uzunluğu}} = \frac{\text{Boşluk hacmi}}{\text{Özgül yatak yüzey alanı}} \quad (3.2.7)$$

şeklinde tanımlanan eşdeğer çapla ilişkilidir ve bu ilişki

$$\delta = 4 \frac{\epsilon}{S} = 4r_H$$

şeklinde yazılabilir (Mc Cabe and Smith, 1976).

Daire kesitli düzgün bir boru için eşdeğer çap 3.2.7 denklemi uyarınca

$$\delta = \frac{4\pi r^2}{2\pi r} = 2r = d \quad (3.2.8)$$

bulunacağından, bu durumda eşdeğer çapla gerçek çapın birbirine eşit olacağı anlaşılır.

Böylece bulunan uzunluk boyutunun kullanılmasıyla hesaplanıp yayınlanmış olan Reynolds sayıları çok geniş bir aralıkta değişme gösterdiğinden, dolgulu yatak sistemleri için yayınlanan sürtünme faktörü diyagramlarının (Mc Cabe and Smith, 1976) dikkatle kullanılması gerekir.

Herbiri S_p yüzey alanına ve V_p hacmine sahip N_p sayıda parçacık içeren bir yatakta toplam parçacık yüzey alanı için

$$A_s = N_p S_p \quad (3.2.10)$$

toplam katı hacmi için de

$$V_s = N_p V_p = (1-\epsilon) AL \quad (3.2.11)$$

yazılabilir. A , filtrenin boşkule kesit alanını, L ise kek veya yatak yüksekliğini göstermek üzere son iki denklem

$$N_p = \frac{(1-\epsilon) AL}{V_p} = \frac{A_s}{V_p} \quad (3.2.12)$$

şeklinde birleştirilebilir. Bu bağıntıdan yararlanarak pürüzlülük etkilerinin yok varsayıldığı izotropik bir yatak için hidrolik yarıçap, yataktaki parçacıkların özgül yüzey alanı (S_p') cinsinden yazılabilir.

$$r_H = \frac{AL\epsilon}{A_s} = \frac{AL\epsilon}{\frac{(1-\epsilon) AL S_p}{V_p}} = \frac{\epsilon}{(1-\epsilon) \frac{S_p}{V_p}} = \frac{\epsilon}{(1-\epsilon) S_p'} \quad (3.2.13)$$

Bu denklem 3.2.6 bağıntısı ile eşitlendirildiğinde, yalnız nokta temasların olduğu, yani sıkıştırmanın olmadığı ve dolayısıyla yüzey alanı kaybının ihmal edilebilir olduğu yataklar için, özgül yatak yüzey alanı ile parçacıkların özgül yüzey alanı arasında

$$S = S_p' (1-\epsilon) \quad (3.2.14)$$

ilişkisinin var olduğu anlaşılır.

Böylece Kozeny daire kesitli düzgün bir kanal için verilen Poiseuille denkleminin, eşdeğer çap cinsinden, gelişigüzel doldurulmuş parçacıklardan oluşan bir yatak için de

$$\bar{u} = \frac{\epsilon^3 \Delta p}{K' \mu L'} \quad (3.2.15)$$

şeklinde yazılabileceğini önermiştir (Kara, 1977; McCabe and Smith, 1976). Burada K' , yatağın yapısına özgü boyutsuz bir sabit olarak tanımlanmıştır. Formülde, gözlemlerden oluşan kanalların uzunluğunu gösteren L' , çok kaba bir yaklaşımla yatak yüksekliğine (L) eşit alınabilir.

Kanallardaki gerçek doğrusal hızı, deneysel olarak kolayca ölçülebilen doğrusal boş kule akım hızına (u) dönüştürmek üzere Dupuit bağıntısını

$$\bar{u} = \frac{u}{\epsilon} \quad (3.2.16)$$

kullanarak ve ayrıca 3.2.13 denkleminde yararlanarak 3.2.15 bağıntısını

$$u = q = \frac{1}{A} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\epsilon^3}{K'} \cdot \frac{1}{\mu S^2} \cdot \frac{\Delta p}{L} = \frac{\epsilon^3}{K' \mu S_p^2 (1-\epsilon)^2} \cdot \frac{\Delta p}{L} \quad (3.2.17)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Kozeny-Carman denklemi olarak bilinen bu bağıntı (Orr, 1977), Pirie tarafından belirtildiği üzere gelişigüzel bir dolgu için yaklaşık olarak doğru, ancak, Coulson ve Richardsan tarafından belirtildiği üzere kürelerin kübik düzeni için doğru değildir. Ayrıca Darcy ve Poiseuille denklemlerindeki ve bunlardan çıkılarak türetilen 3.2.17 denklemindeki akım hızı ile basınç düşmesi arasındaki doğru orantının, yüksek akım hızlarında bozulduğu gözlemlenmiştir. Navier-Stokes denklemindeki atalet terimi önem kazanmaya başladığında doğrusallıktan bu tür sapmalar olmaktadır. Biçimsiz kanallarda bu durumun türbülensin oluşmasından çok önce başladığı bilinmektedir. Sapmaların nedeni sürüklenme kavramlarından çıkılarak izah edilebilir.

3.2.12 bağıntısından çekilen A_s , 3.2.13 bağıntısından çekilen eşdeğer çap ve 3.2.16 bağıntısından çekilen boşkule akım hızı 3.1.5 denkleminde yerine konarak toplam sürüklenme kuvveti için

$$F_D = AL(1-\epsilon) \frac{S_p}{V_p} \left[\frac{k_1 \mu \left(\frac{u}{\epsilon} \right)}{\left(\frac{\epsilon}{1-\epsilon} \right) / \left(\frac{S_p}{V_p} \right)} + k_2 \rho \left(\frac{u}{\epsilon} \right)^2 \right]$$

$$= AL \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^2} S_p \left[k_1 \mu u (1-\epsilon) S_p + k_2 \rho u^2 \right] \quad (3.2.18)$$

veya sürüklenme kuvvetini hidrolik basınç düşüşü cinsinden

$$F_D = -\Delta P \epsilon A \quad (3.2.19)$$

şeklinde yazarak ve uzaklık için başlangıç noktasını kek ortam arayüzeyinde alarak ($dp/dx > 0$)

$$\frac{\Delta P}{\rho L} = \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} S_p \left[\frac{k_1 \mu u (1-\epsilon) S_p}{\rho} + k_2 u^2 \right] \quad (3.2.20)$$

bağıntısı elde edilir.

Ergun, deneysel verilerin korelasyonundan $k_1 = 150/36$ ve $k_2 = 1,75/6$ değerlerini bulmuştur (McCabe and Smith, 1979). Reynolds sayılarının en yüksek olduğu ve bu nedenle eylemsizlik kuvvetlerinin önemli, vizkoz kuvvetlerinin ihmal edilebildiği durumlarda 3.2.20 bağıntısı Blake-Plummer eşitliğine dönüşür (McCabe and Smith, 1976).

Ancak akım koşullarının laminer olduğu durumda eylemsizlik terimi ($k_2 u^2$) ihmal edilebileceğinden,

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} k_1 \mu u S_p^2 \quad (3.2.21)$$

veya kanallardaki hızın (u), süzmede yatak alanı başına birim zamanda toplanan filtrat hacmine (q) eşit olduğunu varsayarak

$$q = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{1}{k' \mu S_p^2} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (3.2.22)$$

ifadesi yani $k' = K''$ için daha önce 3.2.17 denklemi ile verilen Kozeny-Carman denklemi elde edilmiş olur.

Hemen tüm süzme süreçlerinde çalışma hızları Darcy kanununa uygun bir davranış gösterdiğinden (laminer) bu son denklem süzme işlemlerinin analizinde sık kullanılır ve atalet teriminin dikkate alınmaması pek sorun olmaz.

Daha önce belirtilen nedenlerle Kozeny-Carman sabitini yaklaşık $K'' = 5$ alıp, küresel parçacık için $S_p = A_p / V_p = 6/D_p$ şeklindeki özgül parçacık yüzey alanı tanımını da kullanarak, ortalama çapı D_p olan küresel parçacıklardan oluşan ($\phi=1$) bir yatak için 3.2.22 denklemini

$$q = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{D_p^2}{180\mu} \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (3.2.23)$$

şeklinde de yazmak mümkündür.

3.3. Kek Süzme Teorisi

Kek süzme mekanizmalarıyla ilgili iki temel denklemden birincisi daha önce 2.2.3 bağıntısıyla verilen Darcy Kanunu, diğeri ise 3.2.22 denklemiyle verilen Kozeny-Carman denklemidir (McCabe and Smith, 1976; Collins, 1973; Evranuz, 1985).

Hidrolik basıncın uzaklıkla değişimini (dP_L/dx) geçirgenlik (K), hacimsal akı (q) ve akışkan vizkozitesi (μ) ile bağdaştıran Darcy kanunu aşağıdaki diferansiyel şekilde de yazılabilir.

$$\frac{dP_L}{dx} = \frac{\mu}{K} q \quad (3.3.1)$$

Süzmede, ortamdan uzaklık (x) yerine, birim filtre kesit alanı başına yığılan kuru katı kütlesinin (w') kullanımı daha fazla alışılmalıdır olduğundan, kekta ortama paralel bir dilim için

$$d\omega' = \rho_s (1-\epsilon) dx = \frac{dm}{A} \quad (3.3.2)$$

bağıntısı 3.3.1 denkliği ile birleştirilip filtre kekinin özelliklerini kapsayan yerel süzme (veya akım) direncini α ile simgeleyerek

$$\frac{dP_L}{d\omega'} = \frac{\mu q}{K \rho_s (1-\epsilon)} = \mu \alpha q \quad (3.3.3)$$

bağıntısı oluşturulabilir. Böylece geçirgenlikle akım direnci arasında

$$\alpha = \frac{1}{\rho_s K (1-\epsilon)} \quad \text{veya} \quad K = \frac{1}{\rho_s \alpha (1-\epsilon)} = \frac{1}{R} \quad (3.3.4)$$

şeklinde bir ilişkinin varolduğu anlaşılır. Geçirgenlik için verilen eşitliği 3.3.1 denkleminde yerine koyarak

$$\frac{dP_L}{dx} = \mu \alpha (1-\epsilon) \rho_s q \quad (3.3.5)$$

şeklinde, basıncın uzaklıkla değişimini hacimsal akıya bağlayan ve parametrelerinin gözeneklilik, direnç ve katı yoğunluğu olduğu bir denklem elde edilebilir. Bu denklem birçok analizin çıkış noktasıdır.

Bu son denklemin, dolgulu yatak modellerinden çıkılarak geliştirilen ve daha önce 3.2.22 eşitliği ile verilen ve kek ağırlığı cinsinden

$$\frac{dP_L}{d\omega'} = \frac{K' \mu S_p'^2 (1-\epsilon)}{\rho_s \epsilon^3} q \quad (3.3.6)$$

veya kek-ortam ara yüzeyinden başlayan uzaklık cinsinden

$$\frac{dP_L}{dx} = K' \mu S_p'^2 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} q \quad (3.3.7)$$

şeklinde de yazılabilen Kozeny-Carman denklemiyle karşılaştırılmasından, süzme direncinin de

$$\alpha = \frac{K' S_p^{1/2} (1-\epsilon)}{\epsilon^3 \rho_s} \quad (3.3.8)$$

şeklinde gözenekliliğin bir fonksiyonu olduğu anlaşılır (Mc Cabe and Smith, 1976). Ayrıca, parçacık özgül yüzeyinin (S_p) parçacıkların boyut dağılımı ile bağdaştırılabilen bir sabit olduğu ve K' değerinin, verilen bir dolgu maddesi için sabit kaldığı varsayılarak, sabit basınç farkında sıvının akış hızının, geçirgenlik ve gözenekliliğe bağlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

3.3.4 bağıntısında görülen $\rho_s(1-\epsilon)$ değeri 0,15-1,59 gr/cm³ (10-100 lbm/ft³) gibi çok geniş bir aralıkta değişmekle birlikte, bu değer yaklaşık 0,79 (50 lbm/ft³) alınıp değişik katı maddelerin akım dirençleri ile geçirgenlikleri karşılaştırıldığında, granül kum yataklardan, mikron-altı boyutta parçacıklar içeren jelatinimsi keklere geçildikçe akım direncinin geniş bir aralıkta arttığı Çizelge 3.1'de açıkça görülmektedir.

Çizelge 3.1. Çeşitli katıların akım dirençleri ile geçirgenlikleri (Orr'dan, 1977)

Madde	Akım direnci(α)		Geçirgenlik(K)	
	cm/gr	ft/lbm	cm ²	(ft ²)
Laminer akım, 5,08 cm (2 inç) boru	-	-	9,29x10 ⁻¹	1x10 ⁻³
Kum yatak	6,72x10 ⁴	10 ⁶	1,85x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁸
Süzme yardımcı maddesi	6,72x10 ⁷	10 ⁹	1,85x10 ⁻⁸	2x10 ⁻¹¹
Kil	6,72x10 ⁹	10 ¹¹	1,85x10 ⁻⁸	2x10 ⁻¹³
Jelatinimsi kek	6,72x10 ¹²	10 ¹⁴	1,85x10 ⁻¹³	2x10 ⁻¹⁶

Gözeneklilik ve geçirgenliğin, artan basınç farklarından etkilenmediği keklere sıkıştırılamayan kekler dendir. Bu iki parametre keke uygulanan basınç farkı de-
ği-

şimleri ile değişme gösterirse keklerin sıkıştırılabilirliği anlaşılır.

Sıkıştırılabilen keklerle ilgili süzme analizlerinde, daha önce Bölüm 2.1.3'de açıklanan sıkıştırma basıncı bağımsız değişken olarak seçilir ve geçirgenlik, direnç ve gözenekliliğin yalnız bu sıkıştırma basıncının birer fonksiyonu oldukları varsayılır (Foust, et al., 1959; Evranuz, 1985; Tiller and Cooper, 1960; Tiller and Green, 1973; Tiller and Horng, 1983; Orr, 1977).

3.3.1. Sıkıştırılabilen kek süzmesi

Sıkıştırılabilen keklerde gözeneklilik ve geçirgenlik, uygulanan basınç farkının değiştirilmesi ile değiştiğinden ve akım direncinin de geçirgenlik ve gözenekliliğin bir fonksiyonu olduğu belirtildiğinden, her üç parametrenin de basınçla değişmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir. Bu nedenle sıkıştırılabilen keklerde öncelikle gözenekliliğin basınçla ve ortamdan uzaklıkla değişiminin bilinmesi gerekir.

Gözlemler, hidrolik basıncın en düşük değerine eriştiği ortama en yakın kek tabakasında gözeneklilik değerinin en düşük, bu basıncın en yüksek olduğu kek-süspansiyon ara yüzeyinde en yüksek olduğunu göstermiştir. Kekte, ortama paralel olan bir tabakada parçacıkların birbirlerine göre diziliş durumlarına (orientation) ve parçacık-parçacık temas alanlarına bağlı olarak gözeneklilik noktadan noktaya da farklılık gösterebilir. Çeperdeki sürtünme ile sürüklenme (frictional drag) etkisi nedeniyle, kap çeperine yakın bölgede gözeneklilik, esas kek yığınının gözenekliliğinden genellikle farklıdır. Ancak analizlerde bu karmaşık durumu basitleştirmek için tüm parçacıkların nokta temas halinde bulunduğu ve kabın, çeperindeki sürtünme etkilerinin ihmal edilebileceği düzeyde geniş olduğu varsayılır.

Katı-sıvı ayırma cihazlarının tasarım ve işletilmesinde karşılaşılan kalitatif ve kantitatif sorunların e-

sas nedeni olduğu halde, sıkıştırılabilen filtre keklerinde gözeneklilik değişmesi çok az çalışılmıştır (Tiller and Cooper, 1960; Shirato, et al., 1969).

3.3.1.1. Gözeneklilik değişimleri

Uygulanan basıncın sabit kaldığı koşullarda $dP = dP_L + dP_s$ veya $dP_L = -dP_s$ yazılabileceği daha önce belirtilmişti. Böylece 3.3.1 temel akış denklemi

$$\mu q \, dx = -K \, dP_s = \frac{-dP_s}{R} = - \frac{dP_s}{\rho_s \, \alpha (1-\epsilon)} \quad (3.3.1.1.1)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir (Tiller and Green, 1973). Bu denklemi, kekin önce bir diliminde, daha sonra tümünde integre ederek ve integral sınırları için

	x	P_s	P_L
Ortamda	0	$\underline{P}$	0
Kekte	x	P_s	P_L
Kek yüzeyinde	L	0	$\underline{P}$

koşullarını kullanarak

$$\mu q (L-x) = \frac{1}{\rho_s} \int_0^{\underline{P}} \frac{dP_s}{\alpha (1-\epsilon)} \quad (3.3.1.1.2)$$

ve

$$\mu q L = \frac{1}{\rho_s} \int_0^{\underline{P}} \frac{dP_s}{\alpha (1-\epsilon)} \quad (3.3.1.1.3)$$

bağıntıları bulunur (Tiller and Green, 1973).

Burada ortamdan uzaklığın x ve L ve 0 ve L değerleri arasında integral alınmış, ortamın akışa gösterdiği direnç ihmal edilmiştir.

Kekteki akış hızı, kek kalınlığı ve basınç düşüşü arasında bir ilişki sağlayan bu iki denklem, kekin her tarafında akış hızının sabit kaldığı düşünülerek oranlanırsa,

$$1 - \frac{x}{L} = \frac{\int_0^{P_s} \frac{dP_s}{\alpha(1-\epsilon)}}{\int_0^P \frac{dP_s}{\alpha(1-\epsilon)}} \quad (3.1.1.1.4)$$

bağıntısı bulunur. Sıkıştırma basıncının ortamdaki olan bağıl uzaklıkla değişimini veren bu bağıntı, $\frac{x}{L}$ değerlerine karşı çizilen P_s eğrilerinin, akım hızından ve toplam kek kalınlığından bağımsız olduğunu gösterir. Aynı bağıntı yardımıyla hidrolik basıncın ($P_L = P - P_s$) ve gözenekliliğin de bağıl uzaklıkla (x/L) değişimleri bulunabilir.

2.1.3.2.10 denkleminin elde edilmesinde düşünülen koşulların burada da geçerli olduğu varsayılırsa, ortam direncinin ihmal edilebileceği koşullarda hidrolik basıncın uzaklıkla değişimi için

$$1 - \frac{x}{L} = \left[\frac{P_s}{P} \right]^{1-\eta-\beta} = \left[\frac{P - P_L}{P} \right]^{1-\eta-\beta} \quad (3.3.1.1.5)$$

şeklinde bir bağıntı bulunur (Willis, et al., 1985; Orr, 1977). Ayrıca 2.1.3.2.3 bağıntısı yardımıyla da gözenekliliğin ortamdaki olan bağıl uzaklıkla değişimi

$$1 - \frac{x}{L} = \left[\frac{P_s}{P} \right]^{1-\eta-\beta} = \left[\frac{\epsilon_1}{\epsilon} \right]^{(1-\eta-\beta)/\lambda} \quad (3.3.1.1.6)$$

olarak elde edilir. Bu bağıntıda ϵ_1 , kekin ortama bitişik olan tabakasındaki ($P_s = P$) gözenekliliği simgelemektedir. Türetilen eşitlikler $P_s \geq P_i$ koşullarının sağlan-

diğı $\epsilon \leq \epsilon_f$ değerleri için geçerlidir (Tiller and Green, 1973; Willis, et al., 1985).

3.3.1.1.5 denkleminde bir sıkıştırılabilme faktörü olan ϵ büyüdükçe kekte, hidrolik basınç düşmesinin az olduğu bölge daha da genişler. Böylece kekin sıkıştırılamayan (unconsolidated) önemli bir kesiminde sürüklenme basıncı düşük olur. Gerçekten de, oldukça sıkıştırılabilen keklerde ortam yakınında olduğu gözlenen (Tiller and Green, 1973) yoğun (dense) bir kabuk (skin) tabakası bunun bir kanıtıdır.

3.3.1.2 Ortalama gözeneklilik değişimleri

Gözenekliliğin kek boyunca değişimini veren bağıntılar yararlı olmakla birlikte, bir tasarımcı asıl ortalama gözenekliliğin basınçla nasıl değiştiğini bilmek ister.

Ortalama özelliklerin temel tanımından çıkarak

$$\epsilon_{ort} = \frac{1}{L} \int_0^P \epsilon dx \quad (3.3.1.2.1)$$

yazılabilir (Tiller and Cooper, 1960). Integral değişkenini

$$\epsilon_{ort} = \frac{1}{L} \int_0^P \epsilon \left(\frac{dx}{dP_s} \right) dP_s \quad (3.3.1.2.2)$$

bağıntısı oluşacak tarzda P_s 'ye değiştirerek ve dP_s/dx için 3.3.5 denkleminin

$$\frac{dP_s}{dx} = -\mu \rho_s \alpha (1-\epsilon) q \quad (3.3.1.2.3)$$

şeklindeki eşdeğerini dx için 3.3.1.2.1 bağıntısında yerine koyarak

$$\epsilon_{ort} = \frac{1}{\mu \rho_s q L} \int_0^P \frac{\epsilon dP_s}{\alpha (1-\epsilon)} \quad (3.3.1.2.4)$$

bağıntısı bulunur. Ayrıca $\mu p_s qL$ yerine de 3.3.1.1.3 eşitliğindeki karşılığı kullanıldığı zaman

$$\epsilon_{ort} = \frac{\int_0^P \epsilon dP_s / \alpha(1-\epsilon)}{\int_0^P dP_s / \alpha(1-\epsilon)} \quad (3.3.1.2.5)$$

bağıntısı elde edilir. Bu denklemi yeniden düzenleyerek

$$\epsilon_{ort} = 1 - \frac{\int_0^P dP_s / \alpha}{\int_0^P dP_s / \alpha(1-\epsilon)} \quad (3.3.1.2.6)$$

yazılabilir. İntegraller yerine 2.1.3.2.8 ve 2.1.3.2.10 eşitliklerini kullanarak

$$1 - \epsilon_{ort} = B \frac{1-n-\beta}{1-n} P_s^\beta \quad (3.3.1.2.7)$$

bağıntısı bulunur (Tiller and Cooper, 1960).

Basınç teriminin çarpanı deneysel bir ϵ_{ort} değerinden bulunursa, son denklem daha fazla kesinlik kazanır. Bir P_{so} değerinde gözeneklilik ϵ_{ort_o} ise

$$\frac{1 - \epsilon_{ort}}{1 - \epsilon_{ort_o}} = \left[\frac{P_s}{P_{so}} \right]^\beta \quad (3.3.1.2.8)$$

eşitliği yazılabilir.

Bu son denklem, katıların ortalama hacim kesrinin $(1 - \epsilon_{ort})$ uygulanan basınca karşı çizilen logaritmik grafiğinin bir doğru olacağını gösterir. Sonuç 517 mm Hg (10 psi) üzerindeki basınçlarda ve fazla sıkıştırılamayan maddeler için genellikle geçerlidir.

Talk, $CaCO_3$, ignition plug, kaolin, silika, solka floc gibi çeşitli maddelerden farklı olarak, polistiren lateks için ortalama gözeneklilik basınç artışı ile sabit bir değere ulaştıktan sonra daha fazla azalmaz. Sıkış-

tırma basıncının düşük olduğu bölgede gözeneklilik ve akım direncinin çok fazla değiştiği maddeler genellikle bu davranışı gösterir.

3.3.1.3. Hacimsal akımın sabit olduğu durumlarda ortalama süzme direnci ve ortam direnci

Temel akış denklemi olarak daha önce

$$\frac{dP_L}{d\omega'} = - \frac{dP_s}{d\omega'} = \mu\alpha q \quad (3.3.1.3.1)$$

şeklinde verilen bağıntıda α , P_s 'nin bir fonksiyonu olduğu için aynı denklem

$$-\mu q d\omega' = \frac{dP_s}{\alpha} \quad (3.3.1.3.2)$$

tarzında da yazılabilir. Bu denklemin kek yüzeyindeki ($P_s = 0$, $\omega' = 0$) ve ortamdaki ($P_s = P - P_1$, $\omega' = \omega'$) koşullar arasında integral alınır

$$\mu q \omega' = \int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha} \quad (3.3.1.3.3)$$

bulunur.

Herhangi bir Y fonksiyonunun ortalaması

$$Y_{ort} = \frac{1}{x} \int_0^x Y dx \quad (3.3.1.3.4)$$

formülünden bulunabileceğine göre ortalama direnç için de $Y = 1/\alpha$ alınarak

$$\frac{1}{\alpha_{ort}} = \frac{1}{P-P_1} \int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha} \quad (3.3.1.3.5)$$

veya

$$\alpha_{ort} = \frac{P - P_1}{\int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha}} \quad (3.3.1.3.6)$$

yazılabilir. Kek direnci yanında, ortamın akışkana gösterdiği direnç de önemli olabilir. Bu açıdan filtratın kek-ortam arayüzeyindeki P_1 hidrolik basıncı ile ortam direnci (R_m) arasında genellikle

$$P_1 = \mu q R_m \quad (3.3.1.3.7)$$

şeklinde bir ilişkinin varolduğu varsayılır. Bu bağıntının da yardımıyla 3.3.1.3.6 denklemi 3.3.1.3.3 eşitliğinde yerine konup P_1 yok edilerek

$$\mu q \omega' = \frac{P - \mu q R_m}{\alpha_{ort}} \quad (3.3.1.3.8)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntının q için çözülmesi sonucu birçok süzme analizinin başlangıç noktası olan

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{dV'}{dt} = \frac{P}{\mu (\alpha_{ort} \omega' + R_m)} \quad (3.3.1.3.9)$$

şeklindeki Ruth denklemi bulunur (Tiller and Cooper, 1960).

Türetmelerde alanın ve hacimsal akının, yatağın her noktasında sabit kaldığı varsayıldığından, son bağıntı genel değildir. Ayrıca işlemlerde uygulanan basıncın da sabit olduğu varsayılmıştır.

Bir sonraki altbölümde de belirtileceği gibi, hacimsal akının kek-ortam arayüzeyinden başlayan uzaklıkla değişimi daha karmaşık bağıntıların ortaya çıkmasına neden olur (Shirato, et al., 1969).

Akım hızları, tambur filtrelerdeki radyal akışın olduğu durumlara benzer şekilde değişirse, son denklemin de uygun parametreler cinsinden yeniden düzenlenmesi gerekir.

Bu bölümde türetilen bağıntılara göre ω' kek kütlesi zamanla arttıkça toplam kek direnci de artar. Yukarıdaki

türetmelerde ortam direncinin (R_m) sabit varsayılmış olmasına karşın, bazı ortamlarda çok ufak parçacıkların kekten sızarak ortamda yığılması sonucu R_m değeri büyük olasılıkla değişim gösterir. Ortam, işletme boyunca zaman zaman mükemmel şekilde temizlemedikçe direnç kademeli olarak artacağından sonuçta ya bu ortamın atılması veya yeniden işlem görmesi gerekir.

3.3.1.4. Akış hızının gözeneklilik değişimlerine bağlı olarak değiştiği durumlarda ortalama süzme direnci

Bu bölümde daha önce türetilen denklemler akış hızının sabit kaldığı varsayımına dayanmaktaydı. Ancak kek boyunca gözeneklilik değiştikçe, hacimsal akının (q) da buna paralel olarak değişmesi beklenir ve bu durumda analizler daha da karmaşık bir hal alır.

Uygulanan basınç farkının sabit kaldığı durumda 3.3.3 denklemi, sıkıştırma basıncı ve diferansiyel katı kütlesi ($d\omega'$) cinsinden

$$\frac{dP_s}{\alpha_x} = -\mu q d\omega' \quad (3.3.1.4.1)$$

şeklinde de yazılabilir ve ortamın akışa gösterdiği direnci de dikkate alarak ($x=0$ için $P_L=0$ veya $P=P_s$ alınmıyor) kek-ortam arayüzeyindeki hidrolik basıncı P_1 ile simgeleyip bu noktadaki sıkıştırma basıncını $P_s=P-P_1$ ile göstererek

$$\frac{1}{\mu} \int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha} = \int_0^{\omega'} q d\omega' \quad (3.3.1.4.2)$$

eşitliği yazılabilir. Akış hızının (q), x ve ω' ile değişebildiği göz önüne alınarak ve q_1 kek-ortam ara yüzeyindeki akış hızını göstermek üzere, denklemin sağ terimini $q_1 \omega'$

ile çarpıp bölerek

$$q_1 \omega' \int_0^{\omega'} \frac{q d\omega'}{q_1 \omega'^2} = q_1 \omega' \int_0^1 \frac{q}{q_1} d \left[\frac{\omega'}{\omega'} \right] = q_1 \omega' J \quad (3.3.1.4.3)$$

ilişkisi bulunur. Türetmelerde, ω' değerinin kek-ortam ara yüzeyinde sıfır, kek-süspansiyon ara yüzeyinde ise ω' değerini aldığı varsayılmış, J faktörü

$$J = \int_0^1 \frac{q}{q_1} d \left[\frac{\omega'}{\omega'} \right] \quad (3.3.1.4.4)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Ortalama süzme direncinin daha önce 3.3.1.3.6 denklemi ile verilen tanımına benzer şekilde yeni bir süzme direnci tanımlanabilir.

$$\alpha_T = \frac{P - P_1}{\mu q_1 \omega'} = (P - P_1) \frac{\int_0^1 \frac{q}{q_1} d \left[\frac{\omega'}{\omega'} \right]}{\int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha}} \quad (3.3.1.4.6)$$

Böylece akış hızının gözeneklilikle değişebildiği durumlarda ortalama süzme direnci için

$$\alpha_T = J \alpha_{ort} \quad (3.3.1.4.7)$$

yazılabilir. Seyreltik bulamaçlarda J değeri bire yakındır. Bulamaç derişimi arttıkça bu değer düşer ve basınçla da değişim gösterir.

3.3.1.5. Kesikli kek süzmesi

Daha önce 3.3.1.3.3 ve 3.3.1.3.9 numaralı denklemlerle ve ayrıca

$$\omega' = cv' = \rho_s (1 - \alpha_{ort}) L \quad (3.3.1.5.1)$$

şeklinde verilen ilişkiler kesikli kek süzmesi ile ilgili tasarım denklemleri olarak sık kullanılır. Filtrat hacmi

başına katı kütlesini simgeleyen c , kekteki katıların ortalama kütlelesel kesri (s_c) ve bulamaçtaki katıların ortalama kütlelesel kesri (s_b) cinsinden

$$c = \frac{\rho s_b}{1 - s_b / s_c} \quad (3.3.1.5.2)$$

denkleminde verilir.

3.3.1.3.9 denkleminde yer alan basınç ve hız değişkenleri, pompalama karakteristikleri ile yakından ilişkilidir.

3.3.1.5.1 denklemindeki ω' , 3.3.1.3.3 eşitliğinde c cinsinden yerine konarak

$$\mu q c v' = \mu c v' \frac{dv'}{dt} = \int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha} = \frac{P-P_1}{\alpha_{ort}} \quad (3.3.1.5.3)$$

denkleminde bulunur. Burada P_1 , 3.3.1.3.7 bağıntısı aracılığı ile, ortam direnciyle ilişkilendirilmiştir.

Tasarıma yönelik çalışmaların çoğunda 3.3.1.5.3 denkleminde esas alınır. Kullanım, hacimsal akının, kekin her tarafında sabit oluşu ve c 'nin zamanla değişmemesi varsayımına dayanır. Genellikle kek-ortam arayüzeyindeki hidrolik basınç ihmal edilir ($P_1 = 0$) ve sabit basınç süzmesinde ortalama kek direncinin de işlem boyunca sabit kaldığı varsayılır (McCabe and Smith, 1976).

3.3.1.6. Sabit basınçlı kek süzmesi

Sabit basınçta süzme, basitliği nedeniyle uzun süreler laboratuvarında deneysel verilerin elde edilmesinde tercih edilen bir metod olmuştur. Bu süzme şekli için 3.3.1.5.3 denkleminin tam çözümü nümerik teknikler gerektirir. Ancak, ortalama kek direncinin sabit ve uygulanan basıncın bir fonksiyonu olduğu varsayılırsa, filtre kesit alanı başına toplanan filtrat hacmi ile geçen sürenin bağdaştırılabileceği basit bir ilişki kurulabilir (Evranoğlu, 1985; Chen, 1978; Perry and Chilton, 1973; Purchas, 1971; Mc

Gabe and Smith, 1976; Tiller and Cooper, 1960; Warring, 1981; Banchero and Badger, 1984).

Ortalama kek direnci yalnız uygulanan basıncın değil, aslında $P - P_1$ 'in bir fonksiyonudur. Bu nedenle ortalama kek direncinin sabit varsayılması, P_1 'in ihmal edilebilir olduğu düşüncesine denktir.

Sabit basınç süzmesi ile ilgili analizlerde doğrudan 3.3.1.3.9 denkleminin kullanılması işlemleri kolaylaştırır. Adı geçen denklem 3.3.1.5.1 denkleminin de yardımıyla

$$\mu C \alpha_{ort} v' \frac{dv'}{dt} + \mu R_m \frac{dv'}{dt} = P \quad (3.3.1.6.1)$$

şeklinde düzenlenerek integre edildiğinde

$$\mu C \alpha_{ort} \frac{v'^2}{2} + \mu R_m v' = Pt \quad (3.3.1.6.2)$$

bulunur. Bu bağıntı toplanan filtrat hacmiyle geçen süre arasında genellikle kabul edilen parabolik bir ilişkiyi gösterir. Ortam direncinin ihmal edilebildiği koşullarda ($R_m = 0$)

$$\mu C \alpha_{ort} \frac{v'^2}{2} = Pt \quad (3.3.1.6.3)$$

yazılabilir. Ancak bu varsayımın yapılabileceği durumların belirlenmesi deneyim gerektirir. Genellikle, 10-30 dakika gibi nispeten uzun süre alan süzme işlemlerinde analizler, ortam direncinin ihmal edildiği 3.3.1.6.3 numaralı bağıntıyla yapılır. Genel bir kural olarak ortamdaki basınç düşmesinin toplam basıncın küçük bir kesri olduğu durumlarda $R_m v'$ teriminin ihmal edilebileceği söylenebilir.

Farklı basınçların süzme süresine etkisini önceden tahmin edebilmek amacıyla daha önce 2.1.3.2.8 denklemiyle verilen bağıntının, yine daha önce 3.3.1.3.5 denklemiyle verilen bağıntıyla birleştirilmesinden oluşan

$$\alpha_{ort} = a(1-n) (P-P_1)^n = (1-n) \alpha \quad (3.3.1.6.4)$$

eşitliğinden yararlanılır. Bu denklem P_1 'in ihmal edildiği 3.3.1.6.3 bağıntısında yerine konarak

$$\frac{a(1-n) \mu c v'^2}{2} = P^{1-n} t \quad (3.3.1.6.5)$$

bulunur.

Sabit basınçta yapılan süzme deneylerinden elde edilen verilerin yorumu için genellikle 3.3.1.6.1 denklemin-den başlanılır.

Bu denklem

$$K = \frac{2P}{\mu \alpha_{ort} c} \quad \text{ve} \quad b = \mu R_m / P \quad (3.3.1.6.6)$$

parametreleri tanımlanarak

$$\frac{dt}{dv'} = \frac{2}{K} v' + b \quad (3.3.1.6.7)$$

şeklinde de yazılabilir. 3.3.1.6.6 denklemi $t=0$ kesin başlangıç süresinin belirtilmesini gerektirmez ve bu nedenle kullanımı oldukça pratiktir. Ayrıca, bu bağıntının dayandığı $v'-t$ ilişkisi parabolik olduğundan, dt/dv' değerleri, genellikle, seçilen $\Delta v'$ büyüklüğüne bağlı olmaksızın, herhangi bir intervalin ortalama hacmindeki ortalama akım hızlarından kolayca bulunabilir. 3.3.1.6.6 denklemi ile tanımlanan K sabitinin değeri bilindiğinde, α_{ort} değerlerini bulmak ve bu değerlere karşı uygulanan basınç değerlerini gösteren grafiği hazırlamak mümkündür.

3.3.1.7. Sabit hızda süzme

Bu durumda filtre kesit alanı başına süzülen filtrat hacmiyle süzme süresi arasında

$$v' = qt \quad (3.3.1.7.1)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu bağıntı 3.3.1.3.9-denkleminde yerine konarak basıncın zamanla değişimi bulunabilir.

$$P = \mu c \alpha_{ort} q^2 t + \mu q R_m \quad (3.3.1.7.2)$$

Denklemdaki ortalama direnç yerine 3.3.1.3.6 denklemindeki karşılığı yerine konup 2.1.3.2.8 denkleminde de yararlanarak

$$(P - P_1)^{1-n} = a(1-n) \mu c q^2 t \quad (3.3.1.7.3)$$

ilişkisi elde edilir. Kek-ortam arayüzeyindeki hidrolik basınç ihmal edildiği zaman bu son denklem 3.3.1.6.5 denklemine benzer.

Sabit basınç süzmesinde, ortalama süzme hızı için verilen

$$q_{ort} = \frac{V'}{t} \quad (3.3.1.7.8)$$

şeklindeki bağıntı 3.3.1.6.5 denkleminde v' için yerine konarak

$$P^{1-n} = \frac{\mu c}{2a(1-n)} q_{ort}^2 t \quad (3.3.1.7.9)$$

bulunur. Bu bağıntıya göre, aynı bir son basınç ve işlemin bitiş süresi için sabit basınçlı işlemlerin ortalama hızı, sabit hızda yapılan süzme işlemlerinin hızından $\sqrt{2}$ kez daha fazla olacaktır. Daha kesin bir karşılaştırma için aynı bir P ve v' ile sonlanan iki süzme süresinin karşılaştırılması gerekir. 3.3.1.7.3 denkleminde akış hızı yerine v' cinsinden değeri kullanılarak bulunan

$$\frac{\mu c}{a(1-n)} v'^2 = (P - P_1)^{1-n} t \quad (3.3.1.7.10)$$

şeklindeki sonucun 3.3.1.6.5 denkleminde ile karşılaştırılması, sabit hızda süzme için gereken sürenin, aynı bir son basınç ve son hacim için, sabit basınçta süzme süresinin iki katı olduğunu gösterir.

3.3.1.8. Basınç ve hızın birlikte değiştiği durumlar

Genellikle santrifüj pompanın kullanıldığı hallerde ortaya çıkan bu durumlarda, pompa nitelikleri özel önem taşır. Bu işlemde, uygulanan basınçla zamanı bağdaştıran basit bir formül bulunamaz. İşlemler çoğu kez oldukça basit nümerik integrasyon gerektirir (Orr, 1977).

Bu amaçla yeniden düzenlenen 3.3.1.5.3 denklemi

$$v' = \frac{1}{\mu c q} \int_0^{P-P_1} \frac{dP_s}{\alpha} = \frac{1}{\mu c q} \frac{P-P_1}{\alpha_{ort}} \quad (3.3.1.8.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Akış hızı, uygulanan basıncın, α_{ort} ise $P-P_1$ 'in bir fonksiyonu olduğundan, toplanan filtrat hacmini uygulanan basınca bağlayan

$$v' = \frac{(P-P_1)^{1-n}}{\mu c a(1-n)q} \quad (3.3.1.8.2)$$

bağıntısı bulunabilir. Bir kez v' değeri P ve q 'nun bir fonksiyonu olarak elde edilince, zaman

$$t = \int_0^t \frac{dv'}{q} \quad (3.3.1.8.3)$$

integralinden hesaplanabilir.

Bir dizi sabit basınç deneylerinden α_{ort} ve s_c (veya s_b) değerleri elde edildikten sonra yukardaki son iki denklem yardımıyla hacim-zaman ilişkisini ve buradan da belirli bir filtrat hacminin toplanması için gereken zamanı bulmak mümkündür.

3.3.2. Kütle denklikleri

Sürekli süzme sürecini açıklamak üzere, kek kalınlığı ile toplanan filtrat hacmi arasında bir ilişki kurulabilir. Birim filtre kesit alanı başına toplanan kuru

kek kütlesi ω' , birim alan başına toplanan filtrat hacmi V' , bulamaçtaki katıların kütleli kesri s_b , kekteki katı fazın ortalama kütleli kesri s_c ve filtratın yoğunluğu ρ ile gösterildiğine göre, birim filtre kesit alanı başına filtreye beslenen bulamaç kütleli kesrinin (ω'/s_b), yine birim filtre kesit alanı başına ortam üzerinde biriken kekin (ω'/s_c) ve toplanan filtratın ağırlıkları ($\rho V'$) toplamına eşit olduğu düşünülerek

$$\frac{\omega'}{s_b} = \frac{\omega'}{s_c} + \rho V' \quad \text{veya} \quad V' = \frac{1-s_b/s_c}{\rho} \omega' = \frac{1-ms_b}{\rho \cdot s_b} \omega' \quad (3.3.2.1)$$

bağıntısı yazılabilir (Tiller and Cooper, 1960).

Burada $m = \frac{1}{s_c}$ kuru kek kütlesi başına ıslak kek kütlesi olmak üzere

$$\frac{s_b}{s_c} = m s_b \quad (3.3.2.2)$$

denklemini de yazılabilir.

Hacimsal filtrat akışını bulmak için 3.3.2.1 bağıntısında V' 'nin zamana göre türevi alınabilir.

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{dV'}{dt} = \frac{1-s_b/s_c}{\rho \cdot s_b} \frac{d\omega'}{dt} + \frac{\omega'}{\rho} \frac{1}{s_b^2} \frac{ds_b}{dt} \quad (3.3.2.3)$$

Basıncın sürekli yükseldiği süzme işlemlerinde s_c değeri genellikle değişim gösterir. Talk, lateks ve kal-siyum karbonatın sabit basınçlı süzmesinde s_c veya m , yarım dakikadan daha kısa bir süre içinde sabit bir değere ulaşır (Tiller and Cooper, 1960). Uzun zaman alan kesikli süzmelerde, böyle kısa bir zaman aralığındaki değişimin önemi az olacağından, değişim ihmal edilebilir. Ancak vakumlu döner tambur filtrelerde 120°'lik bir daldırma ve 0,5 rpm için süzme süresi 40 saniye olduğundan s_c veya m 'nin sabit varsayılması imkansızdır (Orr, 1977). Döner filtreler için hassas hesaplamalar gerektiğinde, genellikle, gelişmiş nümerik metodlara başvurulur.

Basit bir işlem sonucu, kekteki katıların kütleli kesri (s_c) ile kek gözenekliliği arasında

$$s_c = \frac{\rho_s (1 - \epsilon)}{\rho_s (1 - \epsilon) + \rho \epsilon} \quad (3.3.2.4)$$

şeklinde bir ilişki kurulabilir. Ayrıca filtrat hacmi başına katı kütlesi (c) cinsinden kuru kek kütlesi $\omega' = cv' = \rho_s (1 - \epsilon)L$ bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir. Bu bağıntıyı v' için çözüp, c 'yi 3.3.21 denklemi aracılığıyla yok ederek ve yoğunluk oranını $\rho_s/\rho = \sigma$ şeklinde tanımlayarak

$$v' = \sigma \left[\frac{1}{s_b} - \frac{1}{s_c} \right] (1 - \epsilon)L \quad (3.3.2.5)$$

bulunur. Son denklemden 3.3.24 bağıntısı yardımıyla s_c yok edilerek

$$v' = \sigma \left(\frac{1 - s_b}{s_b} \right) - \epsilon \left[\sigma \left(\frac{1 - s_b}{s_b} \right) + 1 \right] L \quad (3.3.2.6)$$

bağıntısı, 3.3.2.4 denklemden ϵ yok edilip bulunan sonuç 3.3.2.5 denkleminde yerine konularak da

$$v' = \frac{\sigma(s_c - s_b)}{s_b [\sigma(1 - s_c) + s_c]} L \quad (3.3.2.7)$$

bağıntısı elde edilir (Orr, 1977; Kara ve Uzunoğlu, 1986).

Kek kalınlığı ile filtrat hacmi arasındaki benzer ilişki, L kalınlığındaki kuru kek kütlesini, aynı süre içinde filtrâye beslenen bulamaçtaki katı kütlesine

$$\omega = LA(1 - \epsilon)\rho_s = (v + \epsilon AL)\rho [s_b / (1 - s_b)] \quad (3.3.2.8)$$

şeklinde eşitleyerek de bulunabilir. Bu denklem uygun şekilde düzenlendiğinde 3.3.2.6 bağıntısı elde edilir.

3.3.2.6 ve 3.3.2.7 denklemleri toplanan filtrat hacmini uygulanan basınç ve zamanla bağdaştıran denklemlerde, kek kalınlığının hacma dönüştürülmesini sağlamaları a-

çısından önem taşır.

Örneğin 3.3.2.6 bağıntısı L için Darcy ifadesinde yerine konursa

$$\frac{dV}{dt} = \frac{KA^2}{\mu} \frac{[(1-\epsilon)\rho_s - \epsilon\rho(s_b/(1-s_b))]}{\rho(s_b/(1-s_b))} \Delta P \quad (3.3.2.9)$$

bulunur. Geçirgenlik ve gözenekliliğin sabit alınabileceği sıkıştırılamayan keklerde, son denklemin integrasyonu geçirgenlik cinsinden

$$\frac{V^2}{2} = \frac{KA^2}{\mu} \frac{[(1-\epsilon)\rho_s - \epsilon\rho(s_b/(1-s_b))]}{\rho(s_b/(1-s_b))} \Delta P t \quad (3.3.2.10)$$

veya direnç cinsinden

$$\frac{V^2}{2} = \frac{A^2}{R\mu} \frac{[(1-\epsilon)\rho_s - \epsilon\rho(s_b/(1-s_b))]}{\rho(s_b/(1-s_b))} \Delta P t \quad (3.3.2.11)$$

bağıntılarının bulunmasını sağlar. Sistem parametreleri

$$c' = \frac{\mu\rho(s_b/(1-s_b))}{2[(1-\epsilon)\rho_s - \epsilon\rho(s_b/(1-s_b))]} \quad (3.3.2.12)$$

şeklinde tanımlanan bir sabit içinde toplanırsa

$$V^2 = \frac{KA^2 \Delta P t}{c'} = \frac{A^2 \Delta P t}{Rc'} \quad (3.3.2.13)$$

bağıntıları bulunur.

3.3.3. Temel süzme denklemlerinin eşdeğer şekilleri

Önceki bölümlerde verilen süzme denklemleri, herbiri farklı durumlarda tercih edilebilen değişik şekillerde yazılabilir.

Ortamda tutulan sıvı oranın (hold-up) önemsiz olduğu ve gözeneklerde laminar akım rejiminin hakim olduğu var-

sayılarak, akımla basınç farkı arasındaki doğrusal orantıyı gösteren bağıntılar ortam direncini bulmak için de kullanılabilir. Bu durumda, direnci ortaminkine eşdeğer olan L_0 kalınlığındaki bir kek ve V_0 hacmindeki bir filtrat miktarı için 3.3.2.9 bağıntısı

$$\frac{dV}{dt} = \frac{KA^2\Delta P}{2c'(V+V_0)} \quad (3.3.31)$$

şeklinde yazılıp

$$\frac{V^2}{2} + V_0 V = \frac{KA^2\Delta P t}{2c'} \quad \text{veya} \quad \frac{t}{V} = \frac{c'}{KA^2\Delta P} (V+2V_0) \quad (3.3.3.2)$$

sonucunu verecek tarzda integre edilebilir.

Filtrat hacmi başına biriken kuru kek kütlesi (s_b) ve yine filtrat hacmi başına biriken yağ kek kütlesi (v) tanımlarını da kullanarak aşağıda belirtilen diğer eşdeğer denklemler yazılabilir.

$$\frac{t}{L} = \frac{B'}{K\Delta P} (L+2L_0); \quad B' = \frac{\mu}{2s_b\rho} [(1-\epsilon)\rho_s(1-s_b) - \epsilon\rho s_b] \quad (3.3.3.3)$$

$$\frac{t}{V} = \frac{R\mu v}{2A\Delta P} (V+2V_0); \quad R = \frac{1}{K} \quad \text{ve} \quad v = \frac{\rho s_b}{(1-s_b)(1-\epsilon)\rho_s - s_b\epsilon\rho} \quad (3.3.3.4)$$

$$\frac{t}{L} = \frac{R}{2v\Delta P} (L+2L_0) \quad (3.3.3.5)$$

$$\frac{t}{V} = \frac{\alpha D'}{A^2\Delta P} (V+2V_0); \quad \frac{1}{D'} = \frac{2}{\mu} \left[\frac{1}{\rho} \left(\frac{1-s_b}{s_b} \right) - \frac{1}{\rho_s} \left(\frac{\epsilon}{1-\epsilon} \right) \right] \quad (3.3.3.6)$$

$$\frac{t}{L} = \frac{E'}{\Delta P} (L+2L_0); \quad E' = \frac{\mu(1-\epsilon)\rho_s}{2} \left[\left(\frac{1-s_b}{s_b} \right) (1-\epsilon) \frac{\rho_s}{\rho} - \epsilon \right] \quad (3.3.3.7)$$

Yukarda kullanılan sabitler arasında

$$L = \frac{Vv}{A}; c' = \frac{\mu v}{2}; B' = \frac{\mu}{2v}; R = \alpha(1 - \epsilon)\rho_s \quad (3.3.3.8)$$

şeklinde ilişkiler kurulabilir (Tiller and Cooper, 1960; Mc Cabe and Smith, 1976; Orr, 1977; Foust, et al., 1959).

Yukarıdaki denklemler, deneysel süzme işlemlerinden sağlanan hacim-zaman veya kek kalınlığı-zaman verilerini kullanarak geçirgenlik (K), özgül kek direnci (α) veya süzme direnci (R) ile eşdeğer filtrat hacmi (V_0) veya eşdeğer kek kalınlığı (L_0) gibi önemli süzme parametrelerinin, hesaplanmasını sağlar. Bu amaçla, toplanan filtrat hacimlerine karşı t/v değerleri veya ölçülen kek kalınlıklarına karşı t/L değerleri grafiğe geçirilir.

3.3.4 Uygun süzme denklemlerinin seçimi

Uygun süzme denklemlerinin seçimi, yürütülen inceleme ve çeşitli parametrelerin ölçümündeki bağıl kolaylığa bağlıdır. Örneğin 3.3.3.3, 3.3.3.5 ve 3.3.3.7 denklemleri süzme alanının ölçümünü gerektirmez; ancak kek kalınlıklarının ölçülmesi gerekir. Kek kalınlığı basit bir laboratuvar vakum yaprak testiyle kolayca ölçülebildiği halde basınç süzmesinde tahmini bile zordur. Süzme süresince akışkan sıcaklığının sabit kaldığı durumlarda, yukardaki denklemlerde yer alan viskozite terimi ilgili sabitlerle birleştirilebilir. Sıcaklık değişimleri önemli ise 3.3.3.4 ve 3.3.3.5 denklemleri viskozite etkilerinin incelenmesi için kullanılabilir.

Eşdeğer filtrat hacminin ihmal edilebildiği durumlarda 3.3.3.4 denkleminin

$$\frac{V^2}{A^2 t} = \frac{2\Delta P}{R\mu v} \text{ veya } \frac{V}{At} \left[\frac{2\Delta P}{R\mu v t} \right]^{1/2} \quad (3.3.4.1)$$

şeklinde düzenlenmesiyle elde edilen bağıntının sol tarafı "şekil süzme hızı (form filtration rate)" olarak bilinir (Orr, 1977; Foust, et al., 1959).

Son denklemin, filtrat hacmi başına biriken kek hacmi (v) ile çarpılmasından

$$\frac{Vv}{At} = \left[\frac{2v\Delta P}{R\mu t} \right]^{1/2} \quad (3.3.4.2)$$

veya filtrat hacmi başına kuru kek ağırlığı (ω'') ile çarpılmasından

$$\frac{V\omega''}{At} = \left[\frac{2\omega''\Delta P}{R\mu t} \right]^{1/2} \quad (3.3.4.3)$$

bağıntıları elde edilir. 3.3.4.3 denkleminin sol terimi "kek ağırlığı cinsinden süzme hızı" olarak anılır . Bu yaklaşım özellikle vakum süzmesinde tercih edilir (Tiller and Cooper, 1960; Orr, 1977). Ancak metod, kek ve ortam dirençlerinin bulunması amacıyla kullanılamaz.

Yukarıdaki süzme denklemlerinin uygulanabilirlikleri birçok çalışmacı tarafından incelenmiş, kayda değer katkılar Ruth ve çalışma arkadaşları tarafından bir dizi makalede verilmiştir (Tiller and Cooper, 1960; Orr, 1977).

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

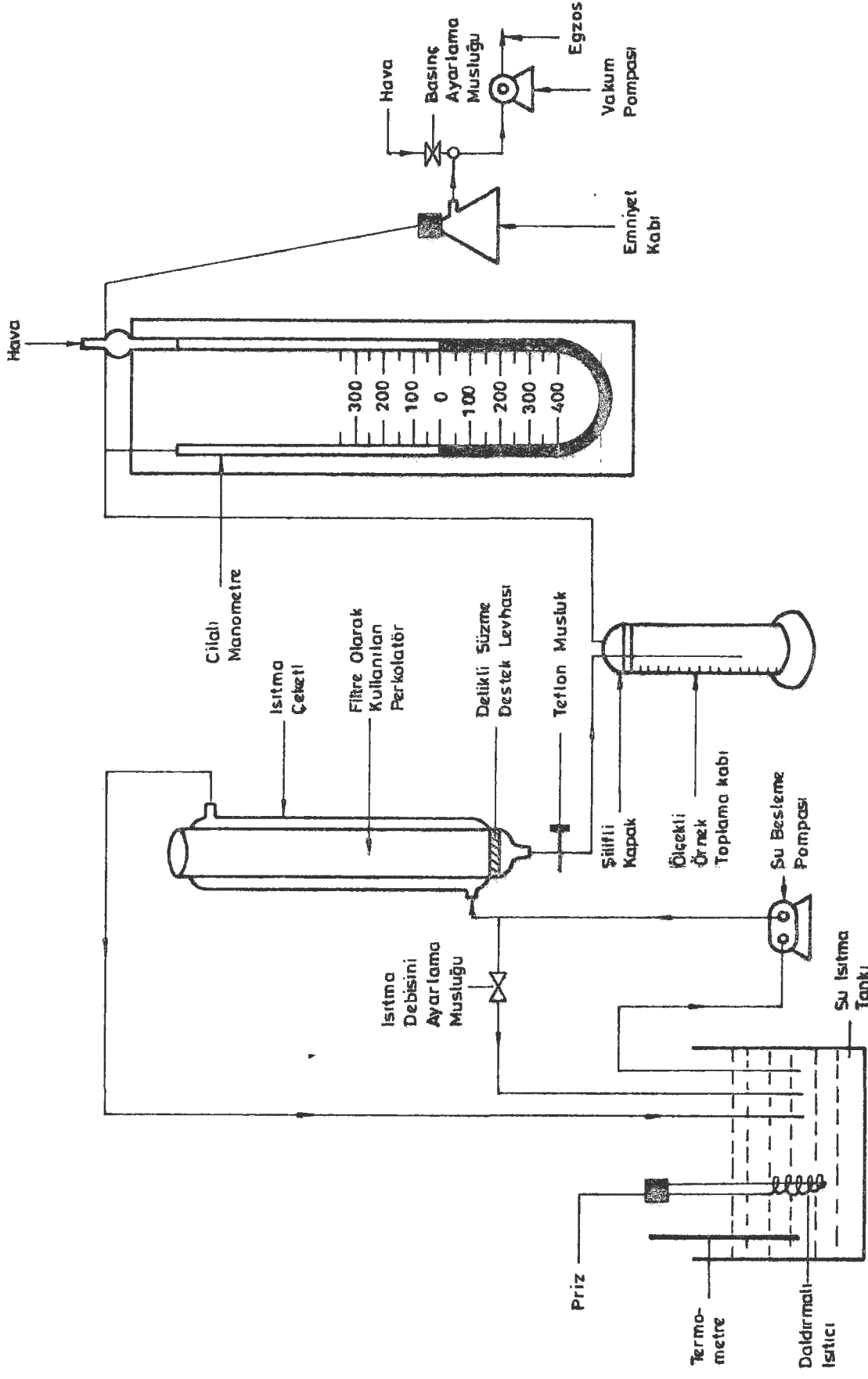
4.1. Deney Düzenegi ve Deneysel Koşullar

Bu çalışmanın meyan kökü ekstraktının süzülmesine yönelik olan deneysel kısmında Şekil 4.1'de gösterilen düzenek kullanılmıştır. Bu düzenek, süzme işleminin yapıldığı 3,5 cm çaplı ve 40 cm uzunluğundaki ısıtma ceketli bir perkolatör, süzülen filtratın toplandığı ölçekli bir toplama kabı, basınç göstergesi olarak kullanılan civalı bir manometre ve basınç ayarlamasında kullanılan bir yedek hava çekiş musluğuyla donatılmış vakum pompasından oluşmuştur. Ayrıca sıcakta süzmeyi sağlamak amacıyla cekete sıcak su beslemek üzere bir depo tankında daldırmalı bir ısıtıcıyla istenen sıcaklığa ısıtılan su, bir su besleme pompası yardımıyla ceketle su ısıtma tankı arasında dolaşıma tabi tutulmuştur. Vakum pompasının emniyeti açısından, bu pompa ile manometre arasına bir emniyet kabı yerleştirilmiştir.

Çalışmanın asıl amacı bir kırıcıda belirli bir boyut aralığına parçalanmış olan meyan kökünün, farmakolojik etkiler gösteren sulu ekstraktını hazırlamak üzere sudaki bulamacının süzülmesine; süzmede uygulanan basınç farkının sıcaklığın, bazı süzme yardımcı maddelerinin ve değişik ortamların etkilerini incelemek ve ayrıca süzülen bulaçtaki parçacık boyutlarının filtrat verimine ve kurutulmuş ekstrakt kalitesine etkilerini araştırmaktır.

Bu amaçla kırıcıda parçalanmış ham drog 1,19 mm gözzenek aralıklı bir elekten geçirilmiş ve kabaca iki kısma ayrılmıştır. Eleğin altına geçen ve elek altı (EA) olarak adlandırılan kısım, üstünde kalan ve elek üstü (EÜ) olarak adlandırılan kısımların yaklaşık boyut dağılımları, çift okülerli Nikon Ophtipkot Model Stereomikroskop altında ayrı ayrı incelenmiştir.

Elek altına geçen parçacıkların boyutlarının 10μ ila 6500μ arasında sınırlandığı ve sayısalıklık açısından bu



Şekil 4.1. Meyan kökünü, süzülmesinde kullanılan deney düzeniği

grupta en fazla 700-1040 μ arasındaki parçacıkların hakim olduğu ve böylece ortalama boyutun 0,087 cm olduğu gözlenmiştir. Elek üstünde kalan parçacıkların ise 0,2 cm ve 1,98 cm boyutlar arasında sınırlanan uzun lifler şeklinde olduğu ve sayısal çokluk açısından ortalama 0,87 cm boyutunun hakim olduğu saptanmıştır. Her iki grubun da lifli yapıda, oldukça iri pürüzlü kahverenkli bir kabuk içinde yer alan açık sarı ve daha düzgün lifli yapıları bir kısımdan oluşan silindirik şekilli parçacıklar olduğu gözlenmiştir. Ancak elek altında kalan kısımların elek üstündekilere kıyasla daha düzgün ve eşit boyutlu parçacıklardan oluştuğu anlaşılmıştır.

Her deneyde toplamı üç gram olacak şekilde elek altı ve elek üstü parçacıklar belirli oranda karıştırılmış ve böylece parçacık boyutunun yaklaşık etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca süzme ortamı olarak kaba süzgeç kağıdı ve 589³: 300203 no'lu 110 mm çapında Schleicher Schüll marka mavibant süzgeç kağıdı süzme ortamı olarak denenmiş, bu ortamlarla süzme sırasında karşılaşılan tıkanma zorluklarını gidermek üzere perlit, aktif kömür, kizelgur ve kumun süzme yardımcı maddesi olarak kullanılması denenmiştir. Bu süzme yardımcı maddeleri filtrede kullanılmadan önce saf su ile yıkanıp kaba süzgeç kağıdından süzöldükten sonra etüvde 100 °C'de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. Deneylerin çoğu laboratuvar ortamının doğal sıcaklığında gerçekleştirilmiş, ancak filtrat ve ekstrakt kalitesinin ve süzme veriminin sıcaklıkla değişimlerini gözlemek amacıyla filtre ceketinde 50 °C sıcaklıkta su dolaştırılarak bazı deneyler de yapılmıştır. İşlemlerde basınç farkının etkilerini gözlemek üzere vakum pompasına bağlı basınç ayarlama musluğu yardımıyla 0,70,100,155,230,390 ve 475 mmHg sabit basınç farklarında çalışılması sağlanmıştır.

Yukarda belirtilen çalışma koşulları çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Takibeden çizelgelerde bu deney koşulları tekrar gösterilmemiş, ancak ilgili deney numaraları kul-

Çizelge 4.1. Deney koşulları

Deney	Çalışma Sıcaklığı T(°C)	ΔP (mmHg)	Besleme bileşimi (grEÜ+grEA+mlsu)	Ortam	Süzme Yardımcı maddesi
58	50	0	2 gr+1 gr+30ml	KSK	-
59	50	70	2 gr+1 gr+30 ml	KSK	-
67	50	70	2 gr+1 gr+ 30ml	KSK	-
45	15	100	2,5 gr+0,5gr+ 30ml	KSK	Kum
46	15	100	2,5gr+0,5gr+30ml	MSK	Kum
57	50	100	2 gr+1 gr+30 ml	KSK	-
66	15	100	2 gr+1 gr + 30 ml	KSK	Kum
10	17	155	2,5gr+0,5gr+30ml	KSK	-
11	15	155	2,5gr+0,5gr+30ml	KSK	-
16	15	155	2gr+1gr+30ml	KSK	-
29	14	155	2gr+1gr+30ml	KSK	Perlit
34	15	155	0gr+3gr+30ml	KSK	Kum
35	15	155	0gr+3gr+30ml	MSK	Kum
36	14	155	2gr+1gr+30ml	MSK	Kum
38	14	155	2,5gr+0,5gr+30ml	MSK	Kum
60	50	155	2gr+1gr+30ml	KSK	-
17	15	230	2,5gr+0,5gr+30ml	KSK	-
18	15	230	2gr+1gr+30ml	MSK	-
23	16	230	2,9gr+0,1gr+30ml	MSK	-
24	14	230	3gr+0gr+30ml	MSK	-
39	15	230	2,5gr+0,5gr+30ml	MSK	Kum
40	15	230	0gr+3gr+30ml	MSK	Kum
41	15	230	2gr+1gr+30ml	MSK	Kum
61	15	230	2gr+1gr+30ml	KSK	Kum
64	15	230	2gr+1gr+30ml	KSK	Kum
3	17,5	390	2gr+1gr+30ml	MSK	-
4	17,5	390	2gr+1gr+30ml	MSK	-
19	15	390	2,5gr+0,5gr+30ml	KSK	-
20	13	390	2gr+1gr+30ml	KSK	-
28	14	390	2,9gr+0,1gr+30ml	MSK	-
56	50	390	2gr+1gr+30ml	KSK	-
55	15	475	2gr+1gr+30ml	KSK	-
65	15	390	2gr+1gr+30ml	KSK	-

lanılarak kolaylıkla bulunabilmeleri sağlanmıştır.

4.2. Deneyin Yapılışı

Oda sıcaklığında yapılan deneylerde droğun elek altı ve elek üstü kısımları toplamı 3 gr olacak şekilde karıştırılıp 30 ml destile saf su eklendikten sonra Termikel marka 8395 seri nolu mekanik karıştırıcıda (ayar 4) 10 dakika karıştırılarak özütlenmesi sağlanmış, süzme işleminden önce (saponizitler nedeniyle) köpüklenmenin giderilmesini sağlamak üzere 10-15 dakika dinlendirmeye bırakılmıştır.

Bu arada 114 adet 1 mm çaplı delik içeren mikadan yapılmış 1,5 mm kalınlıktaki bir süzme destek levhası, üzerine ortam olarak kullanılan uygun bir süzgeç kağıdı da konarak, plastik bir contayla sabitleştirildikten sonra perkolatöre yerleştirilmiştir. Gerektiğinde, istenen bir süzme yardımcı maddesi de ön kaplanarak süzme işlemine hazırlık yapılmıştır. Dinlendirilen bulamaç bu kaplama üzerine bir baget yardımıyla dikkatli bir şekilde ve hızla boşaltılmış, ayarlanan basınç farkında süzmeyi başlatmak üzere teflon musluk yardımıyla filtrat toplama kabına giden hat açılmıştır. Toplama kabına ilk damlanın düştüğü an süzme işleminin başlangıç süresi olarak kabul edilmiş, her 5 ml filtratın toplanması için geçen süreler kaydedilmiş ve işlem daha fazla filtratın toplanmadığı ana kadar sürdürülmüştür.

Sıcakta süzme işlemlerinde ise perkolatörün ceke-tinde 50 °C'da sıcak su dolaştırılarak aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Bu düzende gerçekleştirilen deneylerin toplu sonucu MINITAB* bilgisayar paket programı yardımıyla elde edilen regresyon denklemleriyle birlikte Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

(*)

PENN STATE UNIV., 1982, Statistics Dept., Release 82.1.

Çizelge 4.2. Ham deney verileri

Deney no (Bkz.Çizelge4.1)	$\Delta P.(\text{mmHg})$	t (sn) V(ml)	Regrasyon Denklemleri
58	0	0 220 380 510 720 1200 0 5 10 15 20 25	$t=49,3+16,8V+1,07V^2$
59	70	0 130 240 400 730 0 5 10 15 20	$t=18,3+8,89V+1,29V^2$
67	70	0 140 260 420 745 0 5 10 15 20	$t=17,6+12,0V+1,17V^2$
45	100	0 15 30 50 140 220 0 5 10 15 20 25	$t=6,2-2,62V+0,44V^2$
46	100	0 20 45 75 180 280 0 5 10 15 20 25	$t=6,4-1,94V+0,514V^2$
57	100	0 110 215 340 680 790 0 5 10 15 20 25	$t=-1,4+16,3V+0,671V^2$
66	100	0 25 40 60 160 250 0 5 10 15 20 25	$t=9,1-2,30V+0,475V^2$
10-11	155	0 60 300 420 1260 0 5 10 15 20 0 60 300 420 1380	$t=38-24,7V+4,11V^2$ $t=48-33,6V+4,80V^2$

Çizelge 4.2. (Devam)

Deney no (Bkz.Çizelge4.1)	ΔP(mmHg)	t (sn) V(ml)					Regrasyon Denklemleri
16	155	0	240	840	1500	2400	t=-18,9+42,3V+3,94V²
		0	5	10	15	20	
29	155	0	120	1080	1800	2100	t=-71+54,8V+4,51V²
		0	5	10	15	17	
34	155	0	30	120	240	360	480 t=-11,8+9,88V+0,40V²
		0	5	10	15	20	
35	155	0	60	180	360	600	780 t=-12,9+13,3V+0,77V²
		0	5	10	15	20	
36	155	0	20	60	150	240	330 t=-5,4+3,89V+0,39V²
		0	5	10	15	20	
38	155	0	10	35	60	150	240
		0	5	10	15	20	
60	155	0	90	180	295	580	640
		0	5	10	15	20	
17	230	0	120	480	840	1440	t=-6,9+17,1V+2,74V²
		0	5	10	15	20	

Çizelge 4.2. (Devam)

Deney no (Bkz. Çizelge 4.1)	MP (mmHg)	t (sn) V (ml)	Regresyon Denklemleri
18	230	0 180 720 1500 2100 0 5 10 15 20	$t = -50 + 48,7V + 3,09V^2$
23	230	0 120 240 600 900 0 5 10 15 20	$t = 1,7 + 11,3V + 1,71V^2$
24	230	0 60 90 360 540 0 5 10 15 20	$t = 2,6 + 0,2V + 1,37 V^2$
39	230	0 7 20 35 65 100 0 5 10 15 20 25	$t = 1,00 + 0,223V + 1,149V^2$
40	230	0 45 100 190 300 450 0 5 10 15 20 25	$t = 3,39 + 1,44V + 0,592V^2$
41	230	9 15 45 95 130 180 0 5 10 15 20 25	$t = -3,39 + 3,92V + 0,139V^2$
61	230	0 180 720 1380 2160 0 5 10 15 20	$t = -27,4 + 35,0V + 3,77V^2$
64	230	0 10 25 55 75 105 0 5 10 15 20 25	$t = -1,43 + 2,14V + 0,0857V^2$

Çizelge 4.2.(Devam)

Deney no (Bkz.Çizelge4.1)	$\Delta P(\text{mmHg})$	t(sn) V(ml)	Regresyon Denklemleri
3-4	390	0 60 300 900 1200 0 5 10 15 20	$t = -36 + 16,84V + 2,40V^2$
		0 60 240 1080 1560	$t = -26 - 2,9V + 4,29V^2$
19	390	0 30 390 1500 2100 0 5 10 15 19	$t = -32 - 17,4V + 7,08V^2$
20	390	0 120 600 1320 1800 0 5 10 15 20	$t = -16,3 + 8,6V + 5,21V^2$
28	390	0 30 240 510 1200 0 5 10 15 20	$t = 17,1 - 21,3V + 3,94V^2$
56	390	0 50 110 280 450 580 0 5 10 15 20 25	$t = -10 + 9,40V + 0,60V^2$
65	390	0 32 64 96 128 163 0 5 10 15 20 25	$t = 6,4V$
55	475	0 100 450 1260 1650 0 5 10 15 10	$t = -51 + 29,8V + 2,97V^2$

4.3. Deneysel Bulgular

Deneylerin tümünde toplam 3 gr ham drog ve 30 ml saf sudan oluşan bulamaç hazırlandığından, bulamaç derişimi değişen bir parametre olarak incelenmemiştir. Aynı şekilde ekstraksiyon süresi de, 10 dakika ile sınırlandırıldığından, değişken değildir. Ancak hazırlanan bulamaçtaki katının boyut dağılımı değiştirildiği için elde edilen sonuçların parçacık boyutu etkisini yaklaşık da olsa yansıtabileceği düşünölmüştür.

Yapılan deneylerde her beş milimetre filtratın süzölmesi için geçen süreler, toplam süzme süresi ve toplanan toplam süzöntü hacmi, geride kalan kekin kalınlığı, içerdeği akışkan miktarı, bu parametrelerin uygulanan basınç farkı ve sıcaklıkla değişimleri, kullanılan ortamın ve süzme yardımcı maddelerinin işlem süresine ve ekstrakt kalitesine etkilerinin incelenmesi çalışmanın deneysel kısmının özünü oluşturmuştur.

İki saatten daha fazla beklendiği halde süzmenin gerçekteşmediği deneylerin uygun olmayan koşulları yansıttığı düşünölmüş ve bu deneyler dikkate alınmamıştır. Bu tür deneylerde süzme direncinin aşırı yükselmesi nedeniyle sistemin cam kısımlarında çok sık çatlama ve kırılma olduğu da gözlenmiştir. Genellikle yarım saatten kısa süre alan deneylerin uygulama için uygun olduğu düşünölmüş ve çalışmalarda bu koşulların sağlandığı durumlar araştırılmıştır.

Süzme yardımcı maddesi kullanılmadan ve süzme destek levhası üzerine yalnızca kaba veya mavi süzgeç kağıdı konularak yapılan süzme deneylerinin, kum süzme yardımcı maddesi kullanılarak yapılan deneylere kıyasla daha fazla süre aldığı gözlenmiştir. Ayrıca mavi süzgeç kağıdı kullanılarak yapılan süzme deneylerinin kaba süzgeç kağıdının kullanıldığı durumdakilere kıyasladaha kolay ve kısa süreli olduğu saptanmıştır. Süzme yardımcı maddesi olarak, bulamaçtaki katı ağırlığının onda biri miktarda konan 0,5-2 mm çaplı perlit parçacıklarının önkaplama şeklinde kul-

lanıldığı durumda bu parçacıkların bulamacın üzerinde yüzme yöneldikleri ve elde edilen filtratın oldukça bulanık ve koyu renkli olduğu, ayrıca süzmenin yavaşladığı gözlenmiştir. Aynı şekilde Merck 2514: III.b aktif kömürle yapılan bir deneyde de benzer sonuçlar gözlenmiş, süzme işlemi gerçekleşmemiştir. Bu nedenle, perlit ve aktif kömür, daha sonraki deneylerde süzme yardımcı maddesi olarak kullanılmamıştır.

Kumla yapılan deneylerde ise süzmenin pratik bir hızla gerçekleştiği ve yeterince berrak süzüntüler elde edildiği saptanmıştır.

Süzme yardımcı maddesi olarak kullanılan ve 70-2750 μ boyut aralığında olduğu ve sayısal çokluk açısından boyutlarının 150-2400 μ arasında değiştiği (ort=800 μ) mikroskop altında belirlenen ve yine aynı mikroskopla gözenekli küresel parçacıklardan oluştuğu anlaşılan kum, süzme ortamı üzerine 10 gr ağırlıkta (yaklaşık 0,5 cm yükseklik oluşturacak tarzda) konmuş, bu deneylerde yüzme durumu gözlenmemiştir.

Her süzme deneyi sonunda oluşan kek yükseklikleri ve ıslak kek ağırlıkları ölçülmüş, bu kekler etüvde 80 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirildikten sonra tekrar ağırlık ölçümü yapılmıştır. Toplanan filtrat hacmi de belli olduğundan ve filtratların yoğunluğunun yaklaşık 1 gr/cm³ olduğu belirlendiğinden, katı ve sıvı üzerinde kurulan kütle denklilikleri yardımıyla Çizelge 4.3'de belirlenen katı madde ve filtrat kayıpları hesaplanmıştır. Aynı çizelgede gösterilen verim değerleri, 3 gr. ham drogtan elde edilen toplam kuru ekstrakt ağırlığının yüzde kesirleridir. Çizelge verileri, kek yıkamasının yapılmadığı durumdaki sonuçları yansıtmaktadır.

Deneylerde kurutulmuş ekstraktın içerdiği glycyrrhizin yüzdesi, süzme etkinliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilmiş, bu yüzde değerler Shimadsu marka Lc 5A sıvı kromatografisi (HPLC) cihazında glycyrrhizin monoamonyum tuzunun

Çizelge 4.3. Kütletle denklilikleri ve saflık analizi

Deney no. (Bkz.Çiz. 4.1)	Islak kek ağırlığı (gr)	Kuru kek ağırlığı (gr)	Kekte tutulan filtrat hacmi (ml)	Toplanan filtrat hacmi (ml)	Kurutulmuş Ekstrakt (gr)	Katı madde kaybı (gr)	Filtrat kaybı (ml)	Verim %	Kuru ekstraktın HPLC saflılığı %
58	7,2	2,65	4,55	25	0,32	0,02	0,45	10,66	8,10
59	8,9	2,40	6,20	23	0,59	0,01	0,8	19,6	8,00
67+	8,3	2,75	5,6	24	-	-	0,4	-	-
45	7,42	2,62	4,8	25	0,36	0,015	0,2	12	6,60
46	7,36	2,76	4,6	25	0,24	0	0,4	8	7,34
57	7,13	2,71	4,41	25	0,26	0,03	0,58	8,66	6,40
66+	7,4	2,70	4,7	25	-	-	0,30	-	-
20	10,41	2,62	7,78	22	0,33	0,033	0	11	8,06
11	9,98	2,60	7,83	22	0,34	0,054	0,62	11,3	8,34
16	9,05	2,71	6,33	23	0,27	0,020	0,67	9	9,61
29	14,91	2,65	12,257	17	0,29	0,05	0,75	9,66	9,22
34	7,15	2,40	4,74	25	0,57	0,02	0,26	19	9,90
35*	7,67	2,68	4,99	25	0,31	0,01	0,01	10,3	-
36	7,19	2,50	4,69	25	0,46	0,03	0,31	15,3	20,00
60	7,02	2,50	4,3	25	0,49	0,01	0,7	14,3	8,52
17	10,06	2,66	7,4	22	0,31	0,016	0,6	10,3	8,42
18	9,45	2,62	6,82	23	0,35	0,03	0,28	11,6	9,27
23	9,85	2,75	7,10	22	0,23	0,02	0,9	7,6	7,04
24	9,19	2,29	6,9	22,5	0,53	0,17	0,6	17,6	6,60

Çizelge 4.3 (Devam)

Deney no. (Bkz.Çiz. 4.1)	Islak kek ağırlığı (gr)	Kuru kek ağırlığı (gr)	Kekte tutulan filtrat hacmi (ml)	Toplanan filtrat hacmi (ml)	Kurutulmuş Ekstrakt (gr)	Kati madde kaybı (gr)	Filtrat kaybı (ml)	Verim %	Kuru ekstraktın HCPL saf-lığı %
39	7,34	2,47	4,87	25	0,43	0,09	0,13	14,3	8,28
40	7,45	2,53	4,53	25	0,39	0,08	0,47	13	6,80
41	6,92	2,40	4,52	25	0,51	0,08	0,48	17	8,60
61 ⁺	10,02	2,62	7,4	22	-	-	0,6	-	-
64 ⁺	7,10	2,72	4,38	25	-	-	0,62	-	-
3	9,81	2,56	7,25	22	0,43	0,01	0,75	14,3	6,90
4	10,57	2,62	7,95	22	0,37	0,01	0,05	12,3	9,40
19	11,39	2,67	8,72	19	0,30	0,03	2,28	10	8,08
28	9,26	2,65	6,60	23	0,26	0,08	0,4	8,6	2,80
56*	6,91	2,64	4,27	25	0,33	0,03	0,73	11	-
38	7,37	2,53	4,83	25	0,45	0,01	0,17	15,0	8,40
65 ⁺	7,2	2,6	4,6	25	-	-	0,4	-	-
10	10,41	2,62	7,78	22	0,33	0,033	0,22	11	8,50

⁺ Filtratın henüz kurutulmadığı deneyler (D67, D66, D61, D64, D65)

* HPLC analizlerinin henüz yapılmadığı deneyler (D35, D56)

standart sulu çözeltisi kullanılarak PC₈-10/52504 silika destekli kolonda tayin edilmiştir*. Hareketli (mobil) faz olarak 38:61:1 oranında karıştırılmış asetonitril:su:asetik asit kullanılmıştır. Akım hızının 2 ml/dak, dalga boyunun 254 nm olduğu koşullarda gerçekleştirilen analizlerde, kolona 10 mikrolitre hacimli standart çözelti ve örnekler injekte edilmiştir.

Toplanan filtrattan, kuru ekstraktın elde edilmesi için süzüntü Buchi (İsviçre) marka RE111 Rotavapor'da maksimum 40 °C ve 40-80 milibar vakum koşullarında yaklaşık iki saat sürede kurutulmuştur.

Ham bulguların elde edilmesinden sonra çalışma koşullarının önemli süzme parametrelerine etkilerini kantitatif şekilde belirlemek amacıyla süzme direnci, ortam direnci, eşdeğer filtrat hacmi, geçirgenlik ve kek gözenekliliği hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 4.4'de ve Çizelge 4.5'de toplu halde verilmiştir. Aşağıdaki örnek bu tabloda gösterilen deneylerden birinin sonuçlarının hesaplanma şeklini göstermektedir.

4.3.1 Deney 16 için örnek hesaplama

Çizelge 4.2'de deney 16 için kuadratik regresyon denkleminin

$$t = -18,9 + 42,3 V + 3,94 V^2 \quad (4.3.1.1)$$

şeklinde olduğu gösterilmiştir. Bu denklemin türevi alınarak

$$\frac{dt}{dV} = 7,88 V + 42,3 = K_p V + B'' \quad (4.3.1.2)$$

doğrusal bağıntısı bulunur.

(*) Bu analizler Anadolu Üniversitesi bünyesinde Prof.Dr. Hüsnü Can Başer tarafından kurulmuş olan Tıbbi Bitkiler Araştırma Enstitüsünde görevli kimya mühendisi Berrin Bozan tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.4 Süzme parametrelerinin çalışma koşullarıyla değişimi

Deney no (Bkz. Çizelge 4.1)	Eğim (sn/ml^2) K_p	Kesim noktası B''	α (cm/gr)	R_m (1/cm)	V_o (ml)	q ($\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \text{sn}}$)	$K \times 10^8$ (cm^2)
58	2,14	16,8	0	0	7,85	$2,04 \times 10^{-3}$	-
59	2,58	8,89	$2,51 \times 10^7$	$8,49 \times 10^5$	3,44	$2,69 \times 10^{-3}$	46
67	2,34	12,2	$2,05 \times 10^7$	$1,092 \times 10^6$	5,12	$2,79 \times 10^{-3}$	28
45 ⁺	0,892	-2,62	$1,11 \times 10^7$	$-3,38 \times 10^5$	-2,93	$1,18 \times 10^{-2}$	155
46 ⁺	1,028	-1,94	$1,29 \times 10^7$	$-2,52 \times 10^5$	-1,88	$9,29 \times 10^{-3}$	115
57	1,34	16,3	$1,88 \times 10^7$	$2,24 \times 10^6$	12,16	$3,11 \times 10^{-3}$	38
66 ⁺	0,952	-2,3	$1,19 \times 10^7$	$-2,99 \times 10^5$	-2,42	$1,04 \times 10^{-2}$	145
10 ⁺	8,22	-24,7	$1,59 \times 10^8$	$-4,96 \times 10^6$	-3,00	$1,65 \times 10^{-3}$	7,83
11	9,6	-33,61	$1,86 \times 10^8$	$6,77 \times 10^6$	-3,50	$1,50 \times 10^{-3}$	12
16	7,88	42,3	$1,53 \times 10^8$	$8,56 \times 10^6$	5,36	$8,67 \times 10^{-4}$	3,74
29	9,02	54,8	$1,75 \times 10^8$	$1,10 \times 10^7$	6,07	$8,42 \times 10^{-4}$	7,48
34	0,814	9,88	$1,58 \times 10^8$	$1,99 \times 10^7$	12,13	$5,41 \times 10^{-3}$	28
35	1,55	13,3	$3,02 \times 10^7$	$2,68 \times 10^6$	8,55	$3,33 \times 10^{-3}$	16
36	0,78	3,89	$1,52 \times 10^7$	$7,81 \times 10^5$	4,94	$7,88 \times 10^{-3}$	56
38 ⁺	0,94	-2,39	$1,83 \times 10^7$	$-4,81 \times 10^5$	-2,53	$1,08 \times 10^{-2}$	87
60	0,90	16,1	$1,96 \times 10^7$	$3,64 \times 10^6$	17,88	$3,84 \times 10^{-3}$	27
17	5,48	17,1	$1,58 \times 10^8$	$5,12 \times 10^6$	3,12	$1,44 \times 10^{-3}$	7,48
18	6,18	48,7	$1,78 \times 10^8$	$1,45 \times 10^7$	7,88	$9,91 \times 10^{-4}$	5,32

Çizelge 4.4 (Devam)

Deney no (Bkz. Çizelge 4.1)	Eğim (sn/ml ²) K _p	Kesim noktası B _i	α (cm/gr)	R _m (1/cm)	V ₀ (ml)	q ($\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \cdot \text{sn}}$)	K x 10 ⁸ (cm ²)
23	2,42	11,3	6,98 x 10 ⁷	3,38 x 10 ⁶	4,66	2,31 x 10 ⁻³	13
24	2,74	0,20	7,91 x 10 ⁷	5,76 x 10 ⁴	0,07	3,85 x 10 ⁻³	121
39	0,29	0,22	8,60 x 10 ⁶	6,62 x 10 ⁴	0,74	2,60 x 10 ⁻²	133
40	1,064	0,44	3,07 x 10 ⁷	1,33 x 10 ⁶	4,17	5,78 x 10 ⁻³	24
41	0,278	3,92	8,02 x 10 ⁶	1,17 x 10 ⁶	14,10	1,44 x 10 ⁻²	69
61	7,54	35,7	2,17 x 10 ⁸	1,04 x 10 ⁷	4,64	9,63 x 10 ⁻⁴	4,8
64	0,171	2,14	4,94 x 10 ⁶	6,41 x 10 ⁵	12,48	2,47 x 10 ⁻²	126
3	4,8	16,8	2,34 x 10 ⁸	8,52 x 10 ⁶	3,50	1,73 x 10 ⁻³	3,56
4 ⁺	4,58	-2,9	4,2 x 10 ⁸	-1,44 x 10 ⁶	-0,33	1,33 x 10 ⁻³	28
19 ⁺	14,16	-17,44	4,93 x 10 ⁶	-6,31 x 10 ⁶	-1,23	9,41 x 10 ⁻⁴	30
20	10,42	8,6	5,10 x 10 ⁸	4,35 x 10 ⁶	0,82	1,04 x 10 ⁻³	2,65
28 ⁺	7,88	-21,37	3,85 x 10 ⁸	-1,08 x 10 ⁷	-2,70	1,73 x 10 ⁻³	4,86
56	1,2	9,4	6,57 x 10 ⁷	5,05 x 10 ⁶	7,83	4,23 x 10 ⁻³	15
55	5,94	29,8	3,54 x 10 ⁸	1,74 x 10 ⁷	5,01	1,19 x 10 ⁻³	2,7
65	6,4	0	-	0	0	1,59 x 10 ⁻³	1,87

⁺ Bu deneylerde, ortam direnci ve eşdeğer filtrat hacmi, regresyon denklemlerine bağlı kalınarak hesaplandıgından, negatif değerler alınmıştır. Ancak bu ampirik değerler t=0 için V=0 koşulu gereğince pratikçe sıfır alınabilir ve bu durumda ortam direncinin önemsiz olduğu düşünülebilir.

Çizelge 4.5 Kek gözenekliliği değerlerinin hesaplanması

Deney no	Beslemenin ağırlıkça bileşimi (grEÜ+grEA)	Beslemenin yüzde bileşimi (%)	Dp (cm)	$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$	ϵ
58	2 + 1	66,66 + 33,34	0,69	-	-
59	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00024	0,058
67	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00014	0,048
45	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,00052	0,076
46	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,00038	0,068
57	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00019	0,054
66	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00075	0,085
16	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00023	0,023
10	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,00026	0,025
11	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,00040	0,030
29	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,00038	0,029
34	0 + 3	0 + 100	0,087	0,00672	0,167
35	0 + 3	0 + 100	0,087	0,00373	0,140
36	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000287	0,063
38	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,000294	0,062
60	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000139	0,048
17	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,000025	0,0244
18	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000027	0,025

Çizelge 4.5 (Devam)

Deney no	Beslemenin ağırlıkça bileşimi (grEU+grEA)	Beslemenin yüzde bileşimi (%)	Dp (cm)	$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2}$	ϵ
23	2,9 + 0,1	96,66 + 3,34	0,84	0,000033	0,027
24	3 + 0	100 + 0	0,87	0,000049	0,033
39	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,000045	0,0725
40	0 + 3	0 + 100	0,087	0,00565	0,158
41	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000354	0,066
61	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,0000251	0,024
64	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000653	0,081
3	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,0000184	0,020
4	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,000142	0,049
19	2,5 + 0,5	83,33 + 16,67	0,73	0,000100	0,043
20	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,0000137	0,0155
28	2,9 + 0,1	96,66 + 3,34	0,84	0,0000124	0,0135
56	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,0000782	0,039
55	2 + 1	66,66 + 33,34	0,59	0,0000137	0,0155

Ayrıca sabit basınçlı süzme işlemlerinde sık kullanılan

$$\frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu(\alpha c V/A + R_m)} = \frac{\Delta P}{\frac{\mu \alpha c}{A} (V + V_0)} \quad (4.3.1.3)$$

şeklindeki temel Ruth denklemini (Tiller and Cooper, 1960; Evranuz, 1985) veya 3.3.1.6.7 ve 3.3.3.1 denklemlerini uygun tarzda yeniden düzenleyerek, ortam direnci ve eşdeğer filtrat hacmi cinsinden aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} V + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} V + \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} V_0 \quad (4.3.1.4)$$

Böylece bulunan

$$\frac{dt}{dV} = K_p V + B'' \quad (4.3.1.5)$$

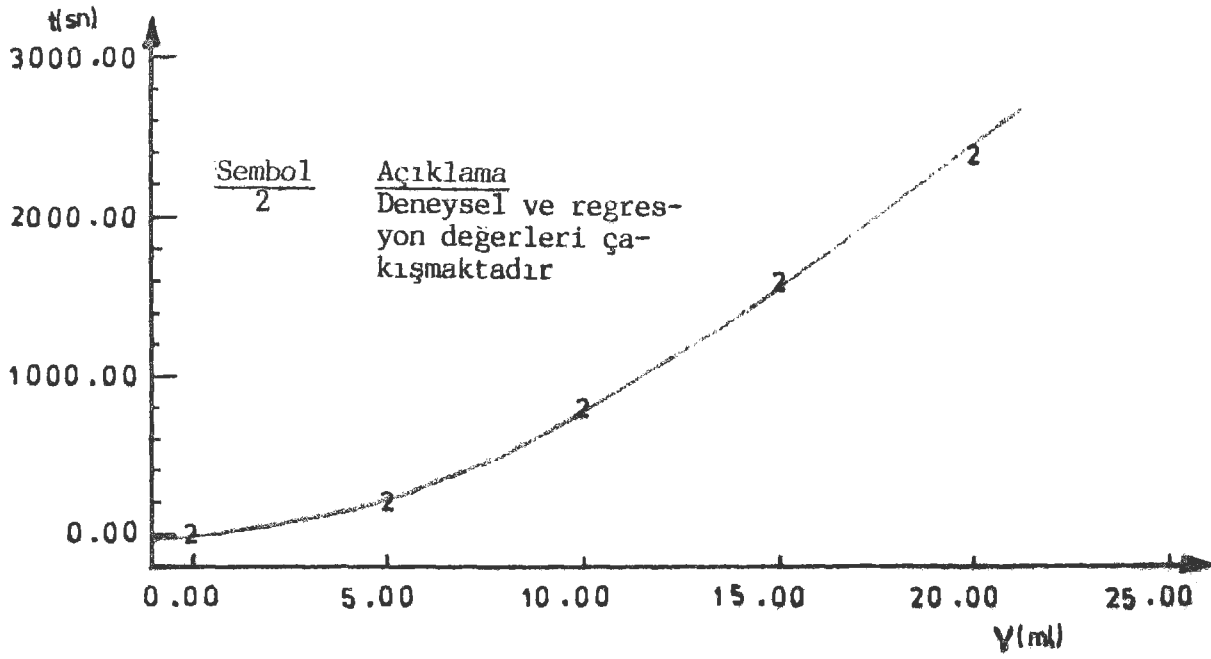
sonucu, 4.3.1.2 denklemiyle karşılaştırıldığında

$$K_p = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} \quad (4.3.1.6)$$

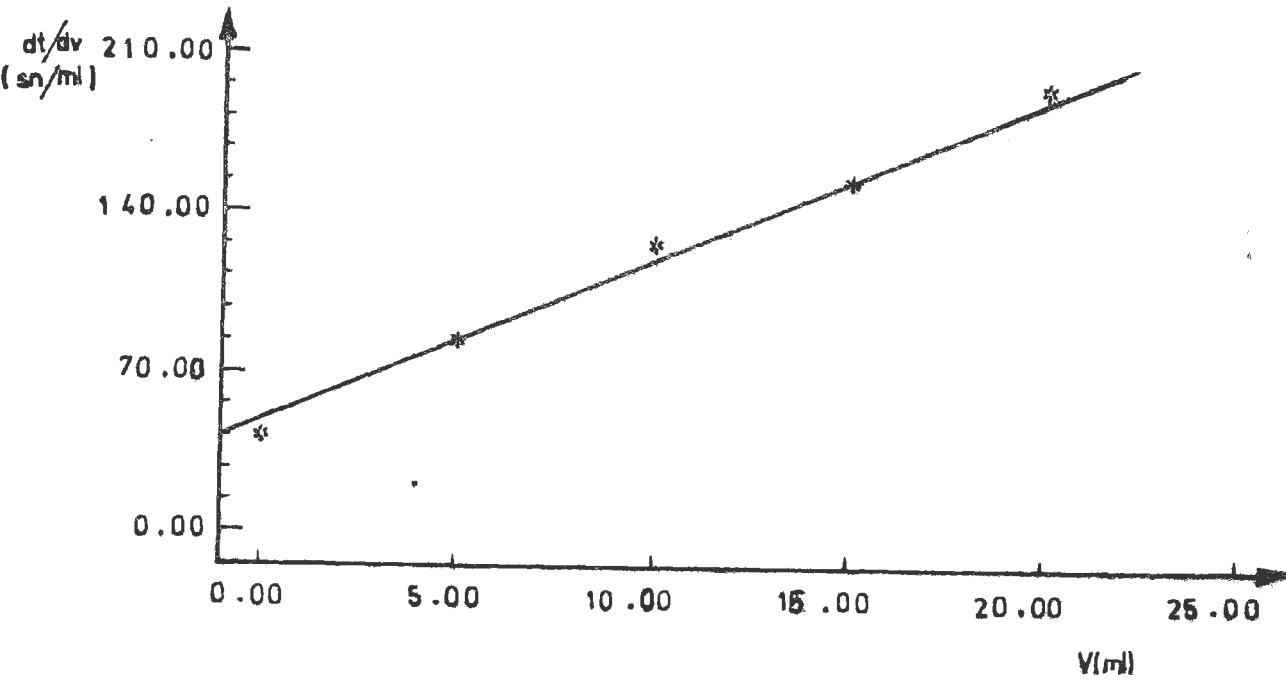
$$B'' = \frac{\mu R_m}{A \Delta P} = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} V_0 = K_p V_0 \quad (4.3.1.7)$$

olduğu görülür.

Şekil 4.2'den de anlaşılacağı gibi, regresyon denkleminin türevinin eğiminden $K_p = 7,88 \text{ sn/ml}^2$ ve kesim noktasından $B'' = 42,3 \text{ sn/ml}$ okunur. Süzme cihazının kesit alanı için $A = \pi D_F^2/4 = \pi(3,4)^2/4 = 9,61 \text{ cm}^2$, filtrat vizkozitesi için $\mu = 0,01 \text{ gr/cm-sn}$, basınç farkı için 155 mmHg veya $(\rho g h)$ 210,67 gr/cmsn² ve süzülen filtrat hacmi başına kuru kek kütlesi (c) için de 0,1 gr/ml (bulamacın mililitresindeki katı ağırlığı) değerlerini kullanarak spesifik kek direnci $\alpha = 1,53 \times 10^8 \text{ cm/gr}$, eşdeğer filtrat hacmi 5,36 ml ve ortam direnci 4.3.1.7 denkleminden $(R_m = \alpha c V_0/A) \quad 8,56 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulunur.



(a)



(b)

Şekil 4.2 Deney 16 için (a) zaman-filtrat hacmi, (b) dt/dV - Filtrat hacmi ilişkileri

Çizelge 4.4'de K ile gösterilen geçirgenlik değerleri ise ölçülen kek kalınlıkları, uygulanan sabit basınçlar ve filtrat akışı değerlerinden yararlanarak 3.2.3 denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Her ne kadar sabit basınç deneylerinde süzme hızı değişmekte ise de ortalama filtrat akısını kullanarak her deney için ortalama bir geçirgenlik değeri elde edilebilir. Deney 16 için filtrat akışı, deney boyunca toplanan filtrat hacmini, geçen toplam süreye ve filtre kesit alanına bölerek $q=20/2400/9,61 = 8,67 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{cm}^2 - \text{sn}$ değerinde elde edileceğinden geçirgenlik için $K= 8,67 \times 10^{-4} \times 10^{-2}/210,67/1,1$ bulunur.

Çalışılan sistemde oluşan kekler için gözeneklilik değerleri de 3.2.23 denklemiyle verilen Kozeny-Carman ilişkisinden yararlanarak hesaplanmıştır. Hatırlanacağı üzere bu şekliyle kullanılan denklemde Kozeny-Carman sabiti (K'') için yaklaşık 5 değeri benimsenmiştir. Ergun denklemi kullanılsaydı $K'' = 4,17$ alınması ve böylece 3.2.23 denklemiindeki 180 sabitinin 150 ile yer değiştirilmesi gerekecekti.

Gözeneklilik değerinin belirtilen denklemden hesaplanabilmesi için öncelikle ortalama parçacık çaplarının bulunması gerekir. Bu amaçla her deneyde bulamacın hazırlanmasında kullanılan elek altı ve elek üstü ağırlık miktarları ağırlık yüzdelerine (%EA, %EÜ) dönüştürülmüş ve bu yüzdeler d_p ortalama çapının hesaplanmasında esas alınmıştır. Elekalıtı ve eleküstü kısımları için mikroskopta belirlenen boyut aralığında bu kısımların ortalama boyutu $d_{pEU} = 0,87 \text{ cm}$ ve $d_{pEA} = 0,087 \text{ cm}$ olarak ayrı ayrı hesaplanmış ve

$$d_p = d_{pEU} (\%EA) + d_{pEA} (\%EA)$$

bağıntısından yararlanarak Çizelge 4.5'de gösterilen d_p ortalama parçacık çapları bulunmuştur.

Böylece diğer tüm değerler bilindiğinden 3.2.23 denkleminin yeniden düzenlenmesiyle elde edilen

$$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = \frac{180}{d_p^2} \frac{\mu L q}{\Delta P} \quad (4.3.1.7)$$

şeklindeki kübik polinomun 0-1 arasında bulunan gerçek kökü alınarak Çizelge 4.5'de belirtilen gözeneklilik değerleri hesaplanmıştır. Örneğin deney 16 için $D_p = 0,61$ cm, $\mu = 0,01$ gr/cm-sn $L = 1,1$ cm $q = 8,67 \times 10^{-4}$ cm³/cm²-sn, $\Delta P = 210,67$ gr/cm-sn² bulunduğundan $\epsilon = 0,023$ olacaktır.

4.3.2. Süzme direncinin uygulanan basınç farkıyla değişimi ve keklerin sıkıştırılabilirliği

Önemli süzme parametrelerinden kek direncinin işlem koşullarıyla değişimlerini topluca gözlemek üzere Çizelge 4.4'de verilen spesifik kek direnci değerleri, logaritmaları alınarak Çizelge 4.6'da çalışma basıncının logaritmasına karşı verilmiş ve bu değerler Şekil 4.3'de grafiğe geçirilmiştir.

Süzme direncinin, süzmede uygulanan basınç farkıyla değişimlerini ampirik olarak belirlemek için sık kullanılan

$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s \quad (4.3.2.1)$$

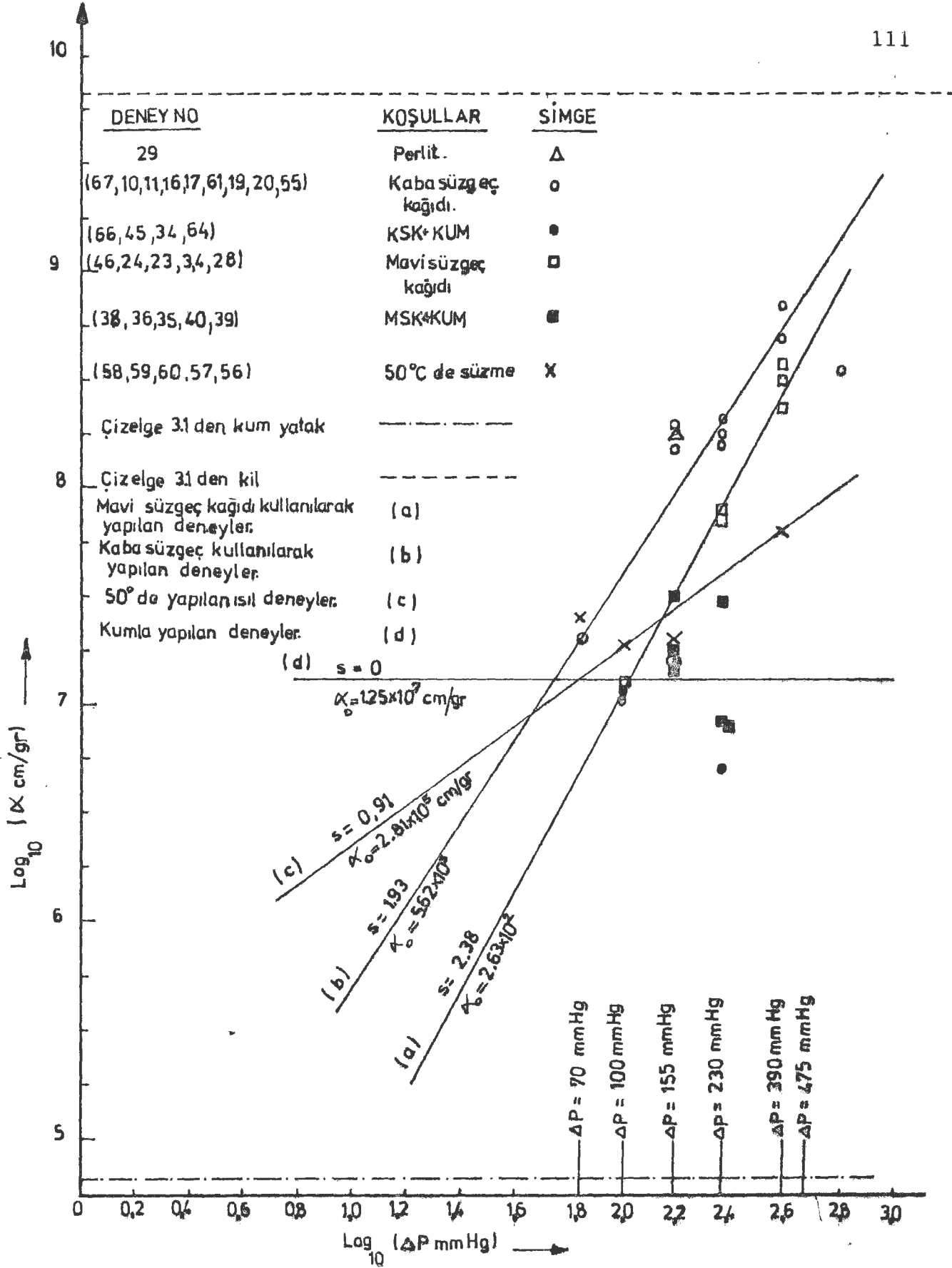
bağıntısından yararlanarak çalışılan keklerin bastırılabilirlikleri (s) ve α_0 değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 4.3'den de izleneceği üzere, bu çalışmadan elde edilen veriler literatürde kaydedilen kum yatak değerlerinin üzerinde, ancak daha yüksek direnç gösteren kil yatak değerlerinin altında yer almaktadır. Verilerin oldukça dağınık görünmesine karşın yine de belli koşullarda ayrıcalık arz ettikleri açıktır.

Çalışılan keklerin sıkıştırılabilirlikleri, ortam olarak mavi süzgeç kağıdının kullanıldığı koşullardaki en yüksek değerinden başlayarak, kaba süzgeç kağıdının kullanıldığı, ısıtıl deneylerin yapıldığı ve sonunda süzme yardımcı maddesi olarak kumun kullanıldığı koşullar doğrultu-

Çizelge 4.6 Süzmede uygulanan basınç farkının kek direncine etkisi

Deney no (Bkz.Çiz.4.1)	ΔP (mmHg)	Sembol (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5 için)	Log ΔP	α (cm/gr)	log α
58	0	X	-	0	-
59	70	X	1,84	25120928	7,40
67	70	O	1,84	20560112	7,31
66	100	•	2	11924876	7,07
57	100	X	2	18837776	7,27
46	100	■	2	12903966	7,11
45	100	•	2	11196828	7,04
10	155	O	2,19	159926800	7,20
11	155	O	2,19	186775824	8,27
16	155	O	2,19	153311856	8,18
38	155	■	2,19	18327376	7,26
36	155	■	2,19	15292273	7,18
35	155	■	2,19	30234336	7,48
29	155	▲	2,19	175491504	8,24
34	155	•	2,19	15837039	7,19
60	155	X	2,19	19610416	7,29
17	230	O	2,36	158208544	8,19
18	230	O	2,36	178417696	8,25
24	230	■	2,36	79104240	7,89
23	230	■	2,36	698657792	7,84
40	230	■	2,36	30717824	7,48
39	230	■	2,36	8603315	6,93
41	230	■	2,36	8025908	6,90
61	230	O	2,36	4948350	8,33
64	230	•	2,36	11924876	6,69
19	390	O	2,59	693203968	8,84
20	390	O	2,59	510112000	8,70
3	390	■	2,59	234984416	8,37
4	390	■	2,59	4200344816	8,62
28	390	■	2,59	385765888	8,58
56	390	X	2,59	65792198	7,80
55	475	O	2,67	354905600	8,55



Şekil 4.3. Direncin uygulanan basınç farkıyla logaritmik değişimi

sunda önemli bir azalma göstermektedir. Perlit süzme yardımcı maddesi kullanılarak yapılan tek deney kaba süzgeç kağıdı ile yapılan ve oldukça sıkıştırılabilen deneyler grubunda yer almakta ve çalışılan sistemin en yüksek direnç bölgesinde bulunmaktadır. Kumun, süzme direncini önemli derecede düşürdüğü ve süzmeyi kolaylaştırdığı açıkça anlaşılmıştır. Ortam olarak mavi bantlı süzgeç kağıdının kullanılmasının, deneylerde kaba süzgeç kağıdına kıyasla daha düşük dirençli bir süzmeyi gerçekleştirdiği ancak keklerin daha fazla sıkıştırılabilir olduğu da dikkat çekmektedir. 50 °C'de yapılan sıcak deneylerde direncin, benzer koşullarda, ancak kum kullanılmadan yapılan deneylere kıyasla daha düşük olduğu ve daha az bir sıkıştırılabilirlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Bütün bu bulgular, daha önceki bölümlerde bahsedilen kumun yapısı ve özellikleri, mavi bantlı ve kaba süzgeç kağıtlarının yapısal özellikleri gözönünde bulundurularak izah edilebilir ve süzülen droğun özellikleriyle bağdaştırılabilir.

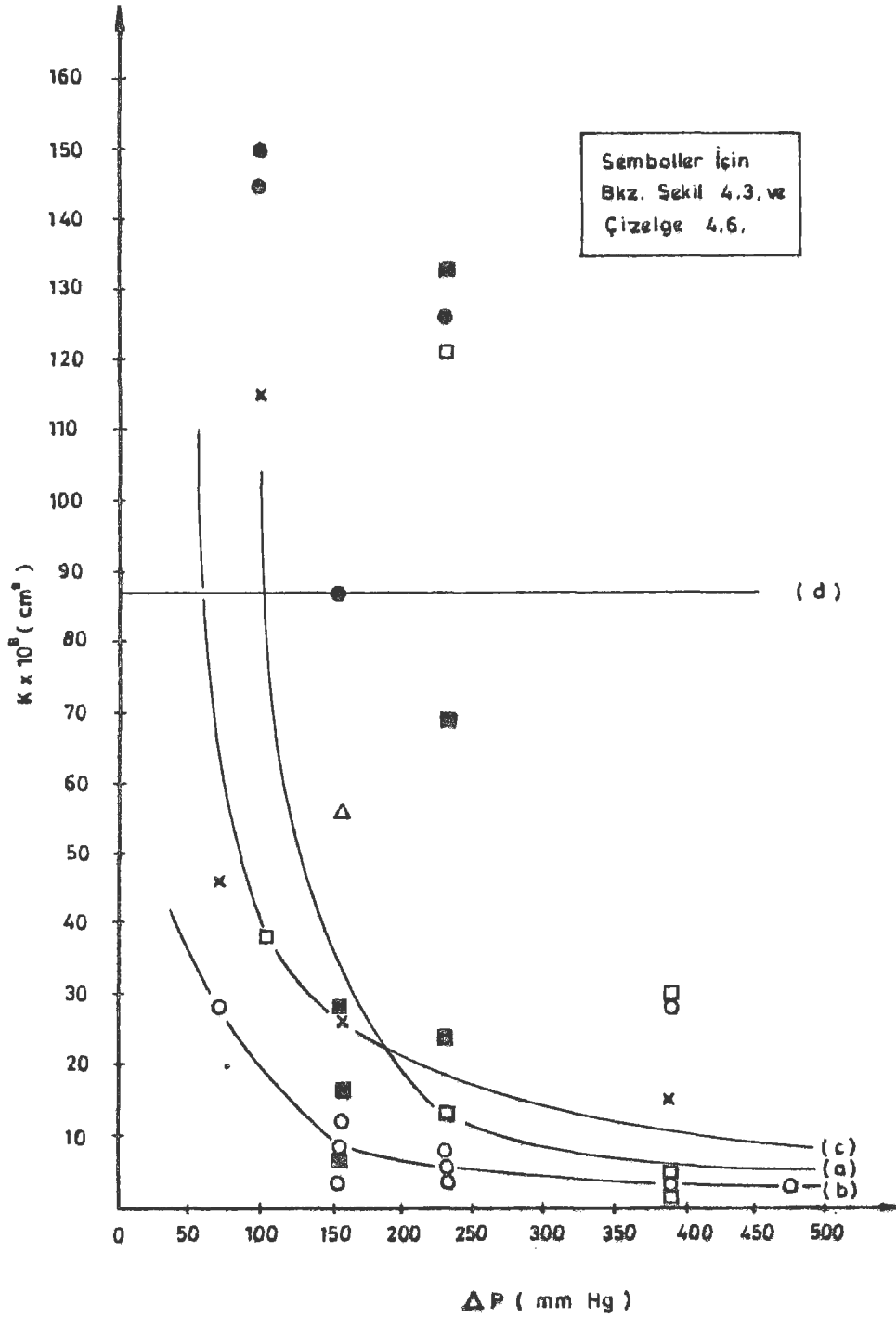
Meyan kökünün kimyasal yapısı çok karmaşık olmakla birlikte, droğun başlıca etken maddesi olan ve bitkinin kök ve rizomlarında yaklaşık % 10 oranında bulunan glycyrrhizin, bitkide potasyum ve kalsiyum tuzu halinde bulunmaktadır. Bu etken maddenin suda, özellikle sıcak suda çözüldüğü ve kolay kristallendiği bilinmektedir. Süzme deneylerinde karşılaşılan yüksek direnç değerlerinin çoğu, bu kolay kristallenebilirlik durumu ile bağdaştırılabilir. Özellikle oda sıcaklığında yapılan süzme deneylerinde, kaba süzgeç kağıdının kullanıldığı durumlarda süzmenin yavaş olması, filtratın geçtiği ve toplandığı kanallarda kristal oluşumunun gözlenmesi ve böylece yüksek dirençle karşılaşılması, kristallerin bu tip süzgeç kağıdının gözeneklerinde kolayca tutulabildiği, gözenek boyutlarını hızla daralttığı ve böylece, akışı güçleştirdiği düşüncesini doğurmuştur. Nitekim, daha küçük gözenekli

mavi bantlı süzgeç kağıdı kullanıldığında bu güçlüklerin azaldığı gözlenmiştir, kristallerin, oluşsa bile süzgeç kağıdının üzerinde toplanabildiği veya bu durumda daha kolay akabilen akışkanın geçişi sırasında çözünemediği düşünülmüştür. Sıcak süzme deneylerinde direncin önemli seviyede azalması, Şekil 4.3'de gösterilen diğer verilerle birlikte bu durumun bir kanıtı olarak düşünülebilir. Süzmenin en az dirençle gerçekleştiği kumla yapılan deneylerde, ortam olarak kullanılan süzgeç kağıdının belirgin hiçbir etkisinin kalmadığı, sıkıştırılabilmenin önemli ölçüde yok edilemediği, keklerin daha gözenekli kek kalınlıklarının da buna paralel olarak benzer koşullarda kumsuz yapılan deneylere kıyasla daha fazla olduğu gözlenmiştir.

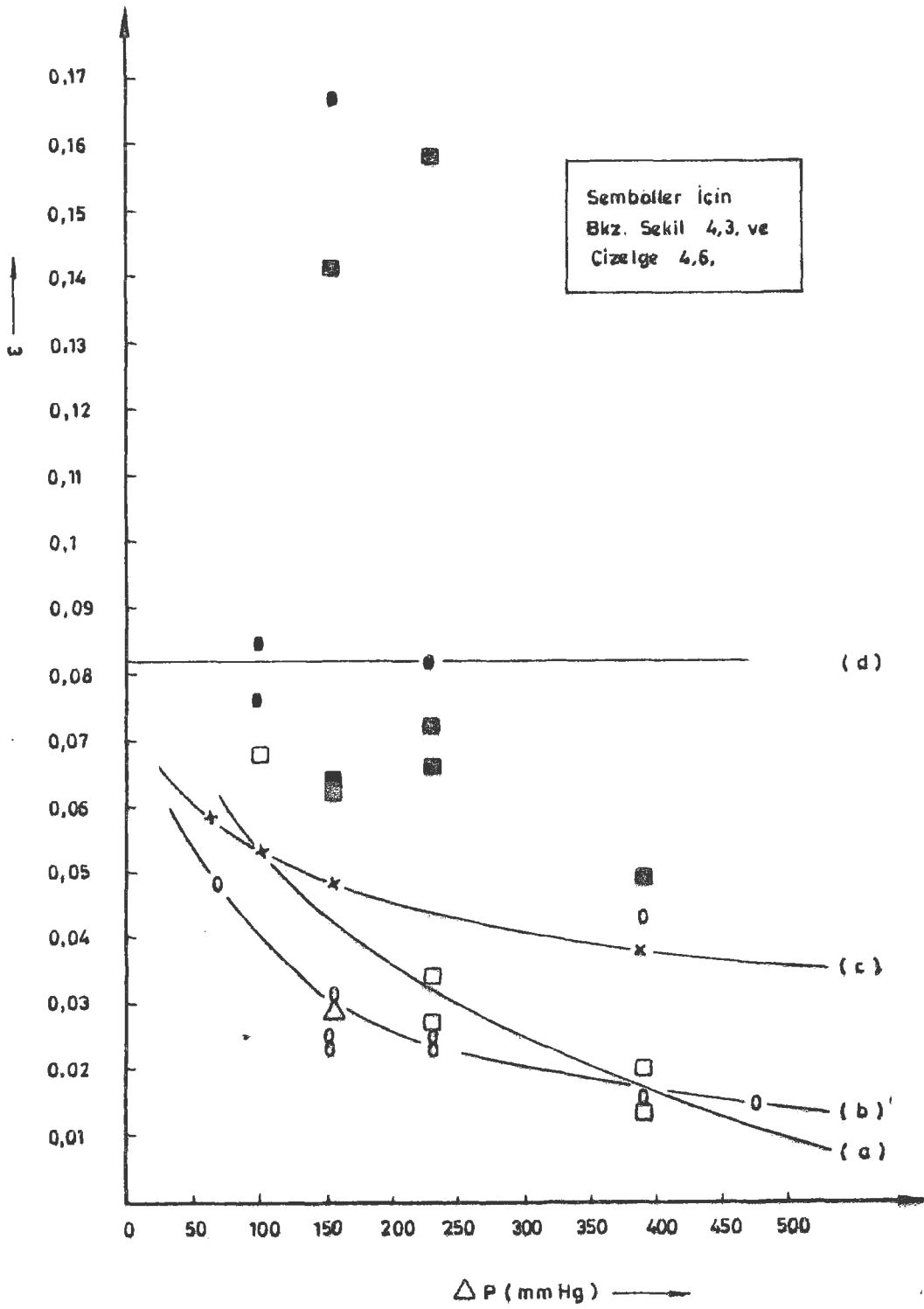
4.3.3. Diğer bulgular

Bir önceki altbölümde bahsedilen kristallenme olayı nedeniyle, özellikle yüksek dirençli koşullarda, bir kısım etken maddenin kekten kalarak verimi düşürebileceği ve bunun da kuru ekstrakt içindeki etken maddenin yüzdesine bakılarak anlaşılabileceği düşünülmüş, bu nedenle kuru ekstraktta Çizelge 4.3'de verilen HPLC saflık analizleri yapılmıştır. Kuru ekstrakttaki glycyrrhizin yüzdesinin mavi bant süzgeç kağıdıyla oda sıcaklığında yapılan deney sonuçları için, kaba süzgeç kağıdıyla yapılan süzme deneylerine (%9,5) kıyasla daha düşük olması (~% 7), gerçekten bu kristallerin süzme sırasında oluştuğunu, gözeneklerden geçemeyerek mavi süzgeç kağıdının üstünde kaldığını kanıtlamaktadır. Deneylerde kek yıkaması yapılmadığından kekten kalan kesin miktarlar belirtilmemiştir. Ancak verimi arttırmak üzere sıcakta (40-80 °C) süzme yapılması ve bu sıcaklık için bir optimum değerin saptanması gerektiği söylenebilir. Kumla yapılan deneyler için de saflık etkisinin yine süzgeç kağıdı ortamı olduğu belirtilebilir.

Çalışmada elde edilen kek direnci değerlerinin yanı sıra geçirgenlik ve kek gözenekliliği değerleri de Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de grafiğe geçirilmiştir.



Şekil 4.4. Geçirgenliğin uygulanan basınç farkıyla değişimi



Şekil 4.5. Gözenekliliğin uygulanan basınç farkıyla değişimi

Ayrıca glikoz ve glikositleri içerdği bilinen dro-
ğun süzölen sulu ekstresinin saflığının veya şeker içeri-
ğinin ayrı bir göstergesi olabileceği düşünölerek, filt-
rat sıvısının kırılma indisi değeri de ölçölmüş (aus
Jena) ve Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Süzölmüş bazı sulu ekstrelerin
kırılma indisi değeri

Deney no (Bkz.Çizelge4.1)	Kırılma indisi
45	1,356
46	1,351
58	1,355
59	1,360
60	1,351
61	1,345
64	1,343
65	1,342
66	1,360
67	1,346

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Süzme ile ilgili temel kavramların meyan bitkisinin kök ve rizomlarında bulunan etken maddenin tıbbi ve diğer çeşitli amaçlarla kullanılabilecek şekilde kazanılması için uygulanmasına yönelik bu çalışmada, basıncın, süzme yardımcı maddesinin, kullanılan ortamın, sıcaklığın ve parçacık boyut dağılımının süzme hızlarına, kek direncine, gözenekliliğe ve kuru ekstrakt saflığına etkileri incelenmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi diğer temel işlemlerden farklı olarak süzme süreci öndeneysel çalışmalar yapılmaksızın tasarlanamaz. Mevcut teoriler ya çok basit ve bu nedenle yetersiz veya içerdikleri çok sayıda parametre nedeniyle karmaşıktır. Onun için süzme işlemlerinde sağlanan deneysel bulguların önemli bir kısmının ampirik bağıntılar ve parametreler yardımıyla yorumlanması gerekir. Bu gereksinim bu çalışmada da açık olarak ortaya çıkmış ve sonuçta fazla sayıda deney yapılması gerekmiştir.

Süzülen sistem özellikle kek süzme mekanizmasıyla açıklanabilecek durumda olduğundan yorumlar bu esasa dayandırılmıştır. Sabit basınç koşullarında kesikli olarak yapılan süzme deneylerinde süzme öncesi özütleme (ekstraksiyon) süresinin etkisi incelenmemiş, bu süre 10 dakika değerinde sabit tutulmuştur. Ayrıca özütleme işleminde kullanılan mekanik karıştırıcının hızı da değişken bir parametre olarak seçilmemiştir. Kek yıkamasının yapıldığı bu çalışmada hazırlanan bulamaçtaki katı/sıvı oranı da değişken olmayıp, bu oran ağırlıkça 1/10 değerinde sabit tutulmuştur. Ancak daha önce çizelgelerde belirtilmeyen fakat katıların elek altı ve elek üstü şeklinde ayrılmadan önce toplamı 3 gr verecek şekilde gelişigüzel karıştırıldığı ve buna 80 ml destile saf su eklenerek kaba süzgeç kağıdından 155 mmHg basınç farkında süzülmesin-

den elde edilen sulu ekstrenin HPLC saflığının çalışılan koşullara kıyasla yüksek (% 11,7) olması besleme bulamacındaki katı/sıvı oranında önemli bir parametre olduğunu ve ayrıca çalışılması gerektiğini ispatlamıştır.

Özellikle kumun kullanıldığı durumlarda ve hatta kekin oluşturduğu gözeneklerde derin yatak mekanizması da söz konusu olabileceği halde, yorumlar kek mekanizması esas alınarak yapılmıştır.

Önceki bölümlerde belirtilen bulgulara dayanarak

a) Süzme direncinin azaltılması ve süzme hızının artırılması açısından en uygun süzme ortamının mavi bant süzgeç kağıdı veya benzeri yapıya sahip bir malzeme olduğu,

b) Aynı nedenlerle süzme yardımcı maddesi olarak maliyet avantajı da gözönünde bulundurulmak suretiyle kumun tercih edilmesi,

c) Kristallerin çözünmesi ve akışa direncin azaltılması yönünden sıcak süzmenin uygulanması,

d) Çözücü olarak suyun kullanıldığı sıvı çözeltilerden suyun buharlaştırılmasının güçlüğüne ve aldığı uzun süreye rağmen besleme bulamacındaki su oranının yeterince artırılarak etken madde veriminin yükseltilmesinin sağlanması,

e) Yine verimi arttırmak amacıyla kesikli işlemlerde kek yıkamasının veya sürekli süzme işlemlerinin yapılması önerilebilir.

Çalışmada ayarlanan parçacık boyut dağılımının sonuçlara net bir etkisi olmamış, bunun da deneylerde uygulanan özütleme süresinin yeterli oluşuyla bağdaştırılabileceği düşünülmüştür.

Elde edilen veriler meyan kökü ekstresinin süzülebileceği bir cihazın tasarımıyla kolaylıkla kullanılabilir niteliktedir. Ancak bu husus çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Albert, R.V. and Tien, C., 1985; Particle collection in magnetically stabilized fluidized filters, AIChE journal, 31, 2, 288-296.
- Altena, F.W. and Belfort, G., 1984; Lateral migration of spherical particles in porous flow cannels: Application to membrane filtration, Chemical Engineering Science, 39,2,343-357.
- Akdeniz, K., 1985; Bazı endüstriyel ve evsel atık suların adsorbsiyon yöntemi ile arıtılması, Yüksek lisans tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 64 s.
- Amyx, J.W., Bass, M. and Whiting, R.L., 1960, Petroleum Reservoir Engineering Mc Graw Hill, 610 p.
- Applegate, L.E. and Pont, E.I.D., 1984, Membrane seperation, Chemical Engineering, 91,12,64-91.
- Balkan, A., Ayok, T., Emis, B. ve Tolun, R., 1980, Kolemanitten sülfürik asit kullanımı ile borik asit üretiminde oluşan jipsli çökeltinin filtrasyonu, TÜBİTAK projesi, proje kod no. 07 18 D1 78 01, 43 s.
- Balkan, A., 1982, Kolemanitten sülfürik asidin etkisi ile borik asit üretiminde kolay süzülen jips oluşumunu etkileyen faktörler ve konu ile ilgili teknolojik öneriler, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Fakültesi, 87 s.
- Balkan, A., and Tolun, R., 1985, Factors affecting the formation of gypsum in the production of boric acid from colemanite, Bulletin of Technical University of Istanbul, 38,2,207-231.
- Banchero, J.T. and Badger, W.L., 1979, Kimya Mühendisliğine Giriş: Unit operasyonlar, (Çev. I. Çataltaş), İstanbul Teknik Üniversitesi, 888 s.
- Bisset, E.J., 1984, Mathemetical model of the thermal

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- regeneration of a wall-flow monolith diesel particulate filter, Chemical Engineering Science, 39,718,1233-1244.
- Bisset, E.J. and Shadman, F., 1985, Thermal regeneration of diesel-particulate monolithic filters, AIChE Journal, 31,5,753-758.
- Bollinger, J.M., 1985, New filtration concept uses electro-deposition, Chemical Engineering, 91,10,38-41.
- Bozan, B., 1986, Meyan kökünden Glycyrrhetic asit izolasyonu, Yüksek lisans semineri, Anadolu Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 34 s.
- Brown, T.R., 1982, Designing batch pressure filters, Chemical Engineering, 58-63.
- Chen, N.H., 1978, Liquid-solid filtration: Generalized design and optimization equations, Chemical Engineering, 97-101.
- Cheremisinoff, N.P. and Azbel, D.S., 1984, Liquid filtration, Chemical Engineering, 91,14,131-134.
- Chiang, H.W. and Tien, C., 1985, Deep bed filtration, AIChE Journal, 31,8, 1349-1360.
- Collins, E., 1973, Akışkanların gözenekli ortamdan akışı, (Çev. T. Saydam), İstanbul Teknik Üniversitesi, 304 s.
- Considine, D.M., 1974, Chemical Process and Technology encyclopedia, Mc Graw Hill, New York, 1261 p.
- Cooke, L.N., 1984, Laboratory approach optimizes filteraid addition, Chemical Engineering, 91,51,45-51.
- Coşkun, Ü., 1975, Sınai atıkların yerinde tasfiyesi, Kimya Mühendisliği Dergisi, 8,74, 38-45.
- Çokadar, H., ve Saatçi, A.M., 1980, Direkt filtrasyonda optimum polimer dozajının tesbiti, TÜBİTAK VII. Bilim Kongresi Çevre Araştırmaları Grubu Tebliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, 129-134.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Doğan, Ş., 1985, Seramik teknolojisi, Gama Reklam, İstanbul, 143 s.
- Dullien, F.A.L., 1975, New network permeability model of porous media, AIChE Journal, 21,2,299-307.
- Eberts, D.H. and Ross, A.H., 1984, Program calculates losses for countercurrent decantation, Chemical Engineering, 91,23,121-127.
- Edle, D.D., and Gooding, C.H., 1985, Prediction of pressure drop for the flow of polymer melts, through sintered metal filter, Industrial Engineering Chemistry Process Design and Development, 24,1,8-12.
- Emi, H., Wang, C.S. and Tien, C., 1982, Transient behavior of aerosol filtration in model filters, AIChE Journal, 28,9, 397-405.
- Emneus, A.N.I., 1968, Procedure for gel filtration of viscous solutions, Journal Chromotog, 32,2, 243-357.
- Emneus, A.N.I., Gelotte, E.B., Rehn, N.G. and Soderq, v. G.F., 1969, Method for separating substances of different molecular sizes from a viscous solution of said substances, U.S. Patent, 3,476, 737.
- Evranuz, E.Ö., 1985, Ayçiçeği tablolarından petkin eldesinde petkin kalitesini etkileyen faktörler ve konu ile ilgili teknolojik öneriler, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s.
- Foust, A.S., Wesnel, L.A., Clump, C.W., Maus, L. and Andersen, L.B., 1959, Principles of Unit Operations, John Wiley and Sons, 578 p.
- Gal, E., Tardos, G. and Preffer, R., 1985, A study of internal effects in granular bed filtration, 1985, AIChE Journal, 31,7, 1093-1105.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Gündüz, N., ve Sökmen, N., 1984, Nikelin sıvı-sıvı özütleme yöntemiyle kazanılması, Doğa Bilim Dergisi Seri B, 8,1, 47-52.
- Gündüz, T., 1979, Kalitatif analiz ders kitabı, Diyarbakır Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 303 .
- Gür, A., ve Varol, S., 1977, Azalan hız filtrasyonu, TÜBİTAK VI. Bilim Kongresi Çevre Araştırmaları Grubu Tebliği-ri, 287-294.
- Gürbüz, E., 1985, Bazı endüstriyel ve evsel atık suların Fizikokimyasal çöktürme yöntemi ile arıtılması, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 75 s.
- Hill, Mc. G., 1985 a, Filtration, Chemical Engineering 91, 12, 64-91.
- Hill, Mc. G., 1985 b, Membrane-cell developments ease electrochemistry scale up, Chemical Engineering 92, 5, 41-43.
- Izmir Rafineri Ham Tesis Müdürlüğü, 1972, Petrol Rafinerisi, İzmir Rafineri Dergisi, 2.
- Jones, W.P., 1973, Filtration, Air Conditioning Engineering, 501-513.
- Kara, S., 1976, Models in porous media; current state of the art, term project, University of Pittsburgh, Chemical and Petroleum Engineering Department, 47 p.
- Kara, S., 1977, State of the art of modeling in deep-bed filtration, Term Project University of Pittsburgh, Chemical and Petroleum Engineering Department, 55 p.
- Kara, S. ve Uzunoğlu N., 1986, Katı-sıvı filtrasyon mekanizmaları, IV. Mühendislik haftası, 6-10 Mayıs, Isparta, 48 s.
- Karacığan, O., 1985, Toz ve gazların filtrasyonunda kullanılan sistemler, Hava kirliliği sempozyumu 14-15 Mart İstanbul, 11,1-11,10.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 1966, Second edition, 9, 268-285.
- Mc Cabe and Smith, 1976, Unit operation of chemical engineering, Mc Graw Hill, 978 p.
- Mc Cabe and Smith, 1979, Unit operasyonları, Cilt I, (Çev. E. Gülbaran), İstanbul Teknik Üniversitesi, 320 s.
- Nakao, S.I., Nomura, T. and Kimura, S., 1979, Characteristics of macromolecular gel laeyr formed on ultrafiltration tubular membrane, AIChE Journal, 25,4, 515-623.
- Orr, C. (editör), 1977, Filtration-Principles and practices, Part I, Marcel Dekker, New York, 1 st edition, Chapter 2 and 5.
- Pathardhan, V.S., and Tien, C., 1985, Sedimentation and liquid fluidization of solid particles of different sizes and densities, Chemical Engineering Science, 40, 7, 1051-1099.
- Payatakes, A.C. Tien, C., and Turian, R.M., 1974, A new model for granular porous media, AIChE Journal, 19,1, 58-76.
- Perry, R.H., and Chilton, C.H., 1973, Chemical engineers handbook, Mc Graw Hill, 1958 p.
- Purchas, D.B., 1967, Filter aids, Chemical and Process engineering, June, 95-102.
- Purchas, D.B., 1971, Industrial filtration of liquids, 2 nd edition, Leonard Hill Books London, 38-114.
- Schneider, P. and Gelbin, D., 1985, Direct transport parameters measurement versus their estimation from mercury penetration in porous solids, Chemical Engineering Science, 40,7, 1093-1099.
- Shreve, R.N., 1985, Kimyasal proses endüstrileri, (Çev. İ. Çataltaş), İstanbul Teknik Üniversitesi, 1131 s.
- Shirato, M., Sambuichi, M. and Kato, H., 1969, Internal

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- flow mechanism in filter cakes, AIChE Journal, 15,3, 405-409.
- Smith, G.R.S., 1967, Improve your filter aid filtration, Chemical Engineering, 154-163.
- Soo, H. and Radge, C.J., 1984, A filtration model for the flow of dilute stable emulsions in porous media; I Theory, Chemical Engineering Science, 4,2, 269-272.
- Su, J.L., and Perlmutter, D.D., 1985, Porosity effects on catalytic char oxidation, AIChE Journal, 31,6, 957-972.
- Taygun, N., 1973, Filtre tipleri, filtre yardımcıları ve şeker sanayide uygulanması, Kimya Mühendisliği Dergisi, 6,61, 38-47.
- Tiller, F.M., and Cooper, H.R., 1960, The role of porosity in filtration: Iv. Constant pressure filtration, AIChE Journal, 6,4, 595-601.
- Tiller, F.M. and Green, T.C., 1973, Role of porosity in filtration: IX. Skin effect with highly compressible materials, AIChE Journal, 19,6,1266-1269.
- Tiller, F.M., and Horng, L.L., 1983, Hydraulic Deliquoring of compressible filters cakes, AIChE Journal, 29,2, 297-305.
- Tiller, F.M., and Yeh, C.S., 1985, The role of filtration: Deposition of compressible cakes on external radial surfaces, AIChE Journal 31,8, 1241-1249.
- Topacık, D., 1983, Reaktör modelleri ile filtre verimlerinin tahmini, Çevre 83 II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu, T30-T32.
- Tosun, I., 1985, Mathematical formulation of cake filtration for deformable solid particles, 40,4, 673-674.
- Tosun, I., ve Şahinoğlu, S., 1985, Sanayide katı-sıvı ayırma işlemleri ve süzme, Kimya Mühendisleri Odası, 111, 8-11.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Traybal, R.E., 1968, Mass-Transfer operations, second edition, Mc Graw Hill, 717 p.
- Ushiki, K. and Tien, C., 1985, Calculation of aerosol collection in fluidized filter beds, AIChE Journal, 30,1,156-168.
- Uzunoğlu, N., 1984, Gaz Adsorpsiyonu, Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bitirme ödevi, 78 s.
- Vaughan, P.R. and Soares, H.F., 1982, Design of filters for clay cores of dams, ASCE Journal, 108, GT 1, 17-31.
- Warring, R.H., 1981, Filters and filtration handbook, Trade and Technical Press, England, 460 s.
- Willis, M.S., Tosun, I. and Collins, R.M., 1985, Filtration mechanisms, Institution of Chemical Engineers, 63,3, 175-183.
- Yeşilören, A., Uzun, B., Özdemir, M., Karaaslan, M., Özgün, S., ve Kandemir, T., 1986, Filtrasyon ve filtre tasarımı, Anadolu Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, a Tasarım dersi projesi, 63 s.
- Yörükoğulları, E., 1985, Güneş enerjisinin doğal zeolitle depolanması, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 264 s.
- Zuber, I.L., Oil Co, G. and Calif, Mc. K., 1984, Getty oil company diatomite project, Energy Progress, 4,3,127-130.
- Zinatullin, Kh. A., Rizaev, N.U., Yusipov, M.M., Saidakhmedou, U.A. and Zukrulleev, B.D., solutions through cation-exchanger beds, Journal of Applied Chemistry of the USSR, 49,1, 198-200.