

GIDA ENDÜSTRİSİNDE FİLTRASYON İŞLEMLERİ

FILTRATION PROCESSES IN FOOD INDUSTRY

Nurhan ARSLAN

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü - Elazığ

ÖZET: Gıda endüstrisinde kullanılan ayırma işlemlerinden birisi de filtrasyondur. Filtrasyonda süzmeyi etkileyen çeşitli faktörler vardır. Sabit basınç filtrasyonunda spesifik kek direncini düşürmek, dolayısıyla süzme hızını artırmak için kieselgur ve perlit gibi süzme yardımcı maddeleri kullanılmaktadır.

ABSTRACT: Filtration is also the one of separation processes used in food industry. There are the various parameters affecting the filtration. In constant pressure filtration, the filter aids such as kieselguhr and perlite are used to decrease the specific cake resistance, and thereby to increase the filtration rate.

GİRİŞ

Katıların sıvılardan ayrılması ile ilgili problemler, katıların özelliklerine ve karışımda bulunan katı-sıvı oranına bağlı olmak üzere farklı işlemlerle çözümlenebilir. Katının miktarı sıvıya oranla oldukça az ise filtrasyon işlemi uygulanır. Filtrasyon, herhangi bir katı-sıvı karışımının gözenekli bir ortamdan geçirilerek sıvı içinde çözünemeyen maddelerin sıvıdan ayrılması işlemidir. Karışımın katı ve sıvı bileşenlerini birbirinden ayırmaya yarayan gözenekli ortama süzme ortamı, süzme ortamı üzerinde biriken katı maddelere filtre keki, süzülen sıvıya da filtra (süzüntü) denir. Filtrasyon; sabit basınç filtrasyonu, sabit hız filtrasyonu ve değişken hız-değişken basınç filtrasyonu gibi çeşitli şekillerde uygulanabilir. Süzme hızını tane iriliği, tanelerin şekli, katı madde miktarı, sıcaklık, basınç ve süzme alanı gibi çeşitli faktörler etkileyebilir. Gıda endüstrisinde uygulanan filtrasyon işlemleri, basit süzme işlemlerinden geliştirilmiş ayırma işlemlerine kadar farklı şekillerde olabilir. Fazlardan birisi sıvı ya da gaz, diğeri katı ya da yarı katı, katı maddeler iri ya da çok küçük, sert ya da yumuşak, karışım sıcak ya da soğuk, filtrasyon işlemi ise vakum ya da basınç altında yapılıyor olabilir. Süzülecek madde granül yapısında, kolaylıkla süzülebilir veya yapışma özelliği gösteren cinste, süzme ortamını tıkayacak cinste, sıkıştırılmaz veya sıkıştırılabilir kolloidler halinde bulunabilir. Zeytinyağı, ayçiçeği ve balıkyağı üretiminde preslemeyi izleyen ön filtrasyonda kekin, şarap ve meyvesuyu üretiminde ise bulanıklık veren küçük öğelerin tutulması, süt ürünleri üretiminde sütün kremadan ayrılması gibi gıda endüstrisinde uygulanan filtrasyon işlemlerinde, filtratın cinsine ve filtrasyonunun amacına göre kısmen ya da tamamen bir ayırım yapılması istenebilir (PERRY ve GREEN, 1984; SALDAMLİ ve SALDAMLİ, 1990).

FİLTRASYON

Süzmeyi Etkileyen Faktörler

Süzmeyi olumlu veya olumsuz yönden etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörler, süzüntünün berraklığı, süzme hızı, kek kalınlığı ve kekin sıkıştırılabilirlik özelliği üzerine etki eder.

Süzülerek ortamda ayrılması istenen taneciklerin iriliği süzme üzerine çok etkilidir. Taneciklerin kaba olması ve sıkıştırmaya karşı dayanıklı olması süzmeyi kolaylaştırır. İnce taneciklerin ayrılması, iri tanelerin aksine, çok güç olur. İnce taneler süzme ortamı üzerinde çok sıkı, taneler arasında gözenek olmayan bir kek meydana getirdiklerinden süzme işlemi çok yavaş gerçekleşir.

Tanelerin kristal veya amorf yapıda olmaları çok önemlidir. Kristal taneler, eğer sert ve köşeli ise, süzme ortamı üzerinde kaba yapılı, gözenekli ve süzüntüyü kolayca geçirebilen bir filtre keki meydana getirirler. Kristallerin yassı veya yaprak şeklinde olması süzmeyi güçleştirir. Viskoz maddeler süzme ortamının

gözeneklerini çok çabuk tıkar ve süzme ortamının üzerinde çok ince ve süzünüyü geçirmeyen bir tabaka meydana getirirler. Bu gibi durumlarda ince taneleri daha kolay süzme yapabilecek kaba taneler haline getirmek için, ısıtma veya koagülasyonu kolaylaştırıcı hidrofil jel veya elektrolit maddeler ilave etme gibi işlemler yapılır. Eğer çok ince kolloid tanecikleri süzme ortamı ile tutmak veya koagüle etmek mümkün değilse, besleme içerisine süzmeyi kolaylaştırıcı süzme yardımcı maddelerinin ilave edilmesi gereklidir.

Beslemedeki katı maddelerin miktarı süzme kapasitesi yönünden önemlidir. Fazla miktarda katı madde bulunduran beslemelerin tamamını süzmek güçtür. Bu nedenle katı maddelerin bir kısmını sedimentasyonla ön ayırmaya tabi tutmak veya kaba bir ön süzme yapmak gerekir.

Beslemenin akışkanlığı sıcaklığın artması ile artar. Sulu süspansiyonlarda sıcaklığın 10°C'den 40°C'ye artırılması ile süzme hızı yaklaşık iki kat, 10°C'den 70°C'ye artırılması ile yaklaşık üç kat artar.

Basınç; süzme ortamı üzerindeki beslemenin kalınlığını artırarak, basınç altında çalışarak veya ters taraftan vakum uygulanarak sağlanır. Basıncın artırılması ile süzme hızı artar. Ancak basıncın çok yüksek tutulması bazı durumlarda ters etki yapabilir. Bu durum daha çok sıkışarak gözenekliliğini kaybeden kekler için önemlidir. Böyle durumlarda belirli bir basıncı üzerinde çalışmak sakıncalı olur. Basınç yerine vakum altında çalışmakla da aynı sonuca varılabilir (TAYGUN, 1976).

Süzme ortamı

İyi bir süzme yapabilmek için, kullanılan süzme maddesinde bulunan gözeneklerin büyüklüğü sıvı içinde bulunan katı maddelerin büyüklüğünden daha küçük olmalıdır. Kullanılan süzme maddelerinin cinsi kullanım amacına göre değişmektedir. Çünkü süzme maddesi süzülecek sıvının yapısını bozucu bir etki yapmamalıdır. Diğer taraftan ekonomik yönden de uygun olması gereklidir. Süzme maddesi olarak delikli sac, tel elek, seramik elek; doğal ve yapay elyafı dokuma; kağıt, keçe, lastik ve deri gibi keçeleştirilmiş tabakalar; kok, kum, talaş, kizelgur, amyant ve kömür gibi gevşek dolgu maddeleri; seramik cam, suni maddeler, metal ve lastikten yapılmış gözenekli maddeler; deri veya membran kullanılır. Delikli metalden (paslanmaz çelik) yapılmış, içinden süzülen sıvı fazdaki katı ve yarı katı fazları tutabilen süzgeçler sökülüp temizlenebilirler. Çiğ sütün süt alım hattındaki ön filtrasyonunda ve taş parçalarının, saman, böcek ve benzeri iri taneli yabancı maddelerin tutulmasında telli, bezli ve delikli metal sacdan yapılmış süzgeçler kullanılır (EVRA NUZ, 1985; BENNETT ve MYERS, 1988; SALDAML I ve SALDAML I, 1990).

Süzme Yardımcı Maddeleri

Süzme ortamı gözeneklerinin tıkanarak süzme hızının yavaşlaması en önemli işletme sorunlarından biridir. Süzme işlemi sırasında karşılaşılan diğer bir sorun ise süzünüün istenilen berraklıkta elde edilmemesidir. Bu sorunların çözümünde, süzme yardımcı maddeleri denen sert yapıllı ince toz halindeki sıkıştırılmaz bir karaktere sahip maddelerden yararlanılır. Süzme yardımcı maddelerinin esas görevi süzme ortamı üzerinde gözenekli bir tabaka oluşturmaktır. Bu gözenekler çok küçük olduğundan beslemedeki bulanıklılığa neden olan kolloid maddeler bu tabakanın sağlandığı kanallar ve/veya boşluklarda tutulur. Böylece kolloid maddelerin süzme ortamının gözeneklerini tıkamaması önlenir ve süzme süresi uzar.

Süzme yardımcı maddesi süzülecek sıvıyla kolayca karışabilmeli ve süzme işlemi süresince süspansiyon halinde kalmalıdır ve süzülecek sıvının özelliklerini bozabilecek çözünebilir tuzlar, organik maddeler, tad ve koku veren maddeler bulunmamalıdır. Süzme yardımcı maddesinin süzme ortamı üstünde meydana getirdiği tabaka, süzme işlemi sırasında uygulanan basınç altında sıkışmamalı ve geçirgenliğini uzun süre devam ettirebilmelidir. Süzme yardımcı maddesinin tanecikleri, mikroskopla gözlenebilen irilikte, değişik şekillerde ve gözenekli olmalıdır. Ancak bu sayede, süzme yardımcı maddesinin oluşturduğu filtre kekinin geçirgenliği fazla, süzünü akışına gösterdiği direnç az ve katı maddeleri tutma özelliği en fazla olur.

En fazla kullanılan süzme yardımcı maddesi kizelgurdur. Kizelgur (diatomit) jeolojik zamanlarda 5 milyon yıl önceki miojen devrinde durgun sularda yaşayan tek hücreli bitkilerden yosun sınıfına ait diatomelerin silis iskeletleridir. Bu iskeletler hemen hemen saf silisyum dioksitten ibaret olup çok küçük tanecikler halindedirler ve ancak mikroskopla rahat olarak görülebilirler. Kolloidlerin adsorplanmasına yarayacak çok

geniş yüzeylere sahiptirler. Büyüklükleri ve şekilleri çok çeşitlidir. Büyüklükleri 3-100 mikron arasında değişir. Süzme kabiliyeti de büyüklüğüne bağlıdır. Küçük olanlar çok daha berrak süzme yaptıkları haide süzme hızı yavaştır. Büyük olanlar ise çabuk süzerler, fakat çok ince kolloidleri tutamazlar. Bugüne kadar 40 bin cins kizelgur bulunmuştur. Kizelgurun yapısının esasını silis oluşturur. Ancak doğada bulunan ham kizelgur değişik oranlarda organik ve anorganik maddelerle karışıktır. Anorganik maddelerin esasını demir, alüminyum ve kalsiyum oluşturur. Ham kizelgurun rengi çerdığı organik madde miktarına bağlı olarak beyazdan kahverengiye kadar değişir.

Diğer bir süzme yardımcı maddesi perlitir. Perlit, volkanik kaynaklı, amorf alüminyum silikattır. Küçük, yuvarlak, camsı taneciklerden oluşmuştur. Perlit, esas olarak alüminyum silikat olduğu için, genelde kimyasal tepkimelere girmesi güçtür ve kolayca çözündürülemez. Ancak perlitte alüminyum oksit, potasyum karbonat ve sodyum karbonat miktarının fazla oluşu, perlit süzme yardımcı maddelerinin pH'sı 4-9 arasında olan sıvılarda güvenli bir şekilde kullanılmasını gerektirir. Kizelgur, perlitte kıyasla biraz daha fazla asitli veya bazik ortamlarda kullanılabilir. Perlit süzme yardımcı maddesinin tanecikleri de kizelgur kadar olmamakla birlikte, düzgün olmayan şekillerdedir. Fakat kizelgurun aksine, gözenekli değildir. Bu nedenle de, perlitin oluşturduğu kekin yüzey alanı düşük olup, sıvıların berraklaştırılması için yapılan süzme işlemlerinde etkinlikleri göreceli olarak azdır. Ancak ticari uygulamalarda, perlitin daha ucuz olması nedeniyle, istenilen berraklık derecesinden bir ölçüde feragat ederek, perlit kullanımı, ekonomik avantaj sağlar. Perlitin oluşturduğu kek yoğunluğu, kizelgurun oluşturduğu kek yoğunluğundan daha az olduğundan aynı kalınlıktaki kek oluşumu için, kizelgura göre daha az miktarda perlit gerekir. Bu durumlarda da, perlit kullanımı işletme için avantajlı olmaktadır.

Selüloz da süzme yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır. Kayın ağacı veya kızılçam ağacından elde edilen kağıt hamuru lifleri bu amaçla kullanılır. Kağıt hamuru liflerinin kizelgurla birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca lif, amyant, aktif kömür gibi maddeler de süzme yardımcı maddeleri olarak kullanılır.

Süzme yardımcı maddesinin süzülecek karışıma karıştırılması üç şekilde olur. Bunlardan birincisi, filtre yüzeyinin bu maddelerle ince bir tabaka halinde kaplanmasıdır. Bu işlem, süzülecek maddede bulunan kolloidal parçacıkların süzme ortamının gözeneklerini tıkamasını ve süzme ortamının direncinin artmasını önler. Ayrıca filtrasyon işlemi sonunda filtre kekinin uzaklaştırılması işlemini kolaylaştırır. Bu işlemde filtrasyon süzme ortamından çok filtre yardımcı maddesi tarafından yapılır. Bu yöntem daha çok bir kek meydana getiremeyecek kadar az olan bulanıklıkları gidermek için kullanılır. Süzme yardımcı maddelerinin kullanılışındaki ikinci yöntem, süzme yardımcı maddelerini belirli bir yüzde oranında süzülecek madde ile iyi bir şekilde karıştırmaktır. Süzme yardımcı maddelerinin varlığı, süzme ortamı yüzeyine oturacak çökeltinin geçirgenliğini artırır, onun sıkıştırılabilirliğini azaltır ve filtrasyon sırasında filtre kekinin direncinin artmasını önler. Süzme yardımcı maddelerinin kullanılışındaki üçüncü yöntem, önceden özel olarak bu yardımcı maddelerle örtülmüş filtrelerin kullanılmasıdır. Bu yöntem daha çok vakum altında, çalışan, döner silindirik filtrelerde kullanılır ve filtre kekinin gereksiz olup filtre yüzeyinden uzaklaştırılması gerektiği durumlarda kullanılır. Süzme yardımcı maddesinden çökeltinin ayrılması kimyasal bir yöntemin uygulanması ile mümkündür. Kullanılan filtre yardımcı maddeleri beslemenin kimyasal özelliklerini bozmamalıdır. Örneğin; beslemenin pH ve rengi üzerinde etkili olmamalıdır (TAYGUN ve ÇETİN, 1977; EVRANUZ ve ark., 1984; CENGİZ ve ark., 1986; BENNETT ve MYERS, 1988; EVRANUZ ve BERÇİN, 1988).

Filtrasyonda Basınç Kaybı

İçerdiği katı maddelerinden arındırılmak istenen sıvı, süzme işlemi sırasında üç türü dirençle karşılaşır: Kullanılan süzme cihazının kanal ve gözeneklerinin neden olduğu direnç, kullanılan süzme ortamının süzüntü akışına gösterdiği direnç ve filtre kekinin direnci.

Sıvıdan uzaklaştırılan katı maddelerin oluşturdukları tabaka süzme işleminin devam ettiği süre içinde sıvı akımına karşı artan bir direnç yaratır. Süzme ortamının direncinden tamamen farklı olan bu dirence "filtre keki direnci" denir. Filtre keki direnci filtrasyon başlangıcında sıfır iken filtrasyon süresince yükselir ve filtrasyon sonunda maksimuma ulaşır.

Süzme işleminin başlangıcında, karışım içindeki katı maddeler, süzgeç bezinin gözeneklerine dolarak, süzme ortamının süzüntü akışına gösterdiği direnci artırır. Gerçek süzme ortamı, süzgecin yüzeyinde toplanan

ilk çökelti taneciklerinin oluşturduğu tabakadır. Genel olarak, süzme işlemi ile ilgili teorik hesaplamalarda, süzme cihazının kendisinin neden olduğu direnç ihmal edilir. Buna göre, filtrasyonun herhangi bir anındaki toplam direnç ya da toplam basınç kaybı, filtre keki ve süzme ortamı dirençlerinin toplamına eşittir (Şekil 1).

$$-\Delta P = (P_a - P_i) + (P_i - P_b)$$

$-\Delta P_c = P_a - P_i =$ Filtre kekindeki basınç düşüşü

$-\Delta P_m = P_i - P_b =$ Süzme ortamındaki basınç düşüşü

$$-\Delta P = P_a - P_b = \text{Toplam basınç düşüşü}$$

düşüşü

$$P_a = \text{Giriş basıncı}$$

$$P_b = \text{Çıkış basıncı}$$

$$P_i = \text{Filtre keki ve süzme ortamı arayüzündeki basınç}$$

Eşitlikteki Δ çıkış ve giriş koşulları arasındaki farkı simgeler. Bu nedenle $\Delta P = P_b - P_a$ 'dır ve değeri negatiftir (EVRAUZ ve ark., 1984; BENNETT ve MYERS, 1988).

Bir karışımın filtrasyonunda kontrol altında tutulan başlıca değişken "toplam basınç kaybı" dir. Basınç kaybı sabit olursa, filtrasyon başlangıcında maksimum düzeyde olan akış hızı yavaş yavaş azalır. Bu tür filtrasyona "sabit basınç filtrasyonu" denir. Genellikle filtrasyon başlangıcında az olan filtrasyon ilerledikçe yükselen ve filtrasyon sonunda maksimuma ulaşan basınç kaybının değişken olması halinde giriş basıncı sürekli artırılırsa bu tür filtrasyona da "sabit hız filtrasyonu" denir.

Sabit basınç filtrasyonunun bazı sakıncaları vardır. Basıncın yüksek olması halinde süzme ortamı tarafından tutulan çökelti parçacıkları gözenekleri tıkar ve filtrasyonun geri kalan kısmında düşük bir süzüntü debisine neden olur. Ayrıca, çökelti parçacıklarının homojen bir yapı büyüklük göstermemeleri (kristal ve koloidal yapıdaki parçacıkların bir arada bulunmaları) halinde yüksek basınç çökeltinin koloidal kısmını kristal kısım tarafından meydana getirilen ilk çökelti tabakası arasındaki boşlukları doldurmaya zorlar ve süzüntü debisinin önemli derecede azalmasına neden olur. Eğer başlangıçtaki basınç düşük tutulursa çökelmiş tanecikler tarafından süzme ortamı üzerinde oluşturulan ilk tabaka gevşek yapılı ve gözenekli olur. Bu da yüksek bir süzüntü debisine neden olur. Bu durumda çökelti tabakası süzme ortamının deliklerini dolduramaz ve oluşan kekin süzme ortamından temiz bir şekilde kolaylıkla alınması mümkün olur. Başlangıç basıncının düşük olması durumunda süzme ortamından geçene ilk süzüntü biraz bulunur. Bu bulanıklık kısa sürer, buna karşılık yüksek bir süzme debisi ve dolayısıyla büyük bir süzme kapasitesi elde edilir (BENNETT ve MYERS, 1988).

Süzme Teorisi

Filtrasyonda filtre kekinin kütlesi, kekin kalınlığı ve süzüntünün hacmi arasındaki ilişkileri bilmek önemlidir. Kütlesi dM_c olan bir katı içeren ve kalınlığı dx olan diferansiyel bir kek elemanı düşünelim (Şekil 1). Kek kütlesini kek içinden uzaklık (x) ile aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$dM_c = (1-\epsilon) P_s A dx$$

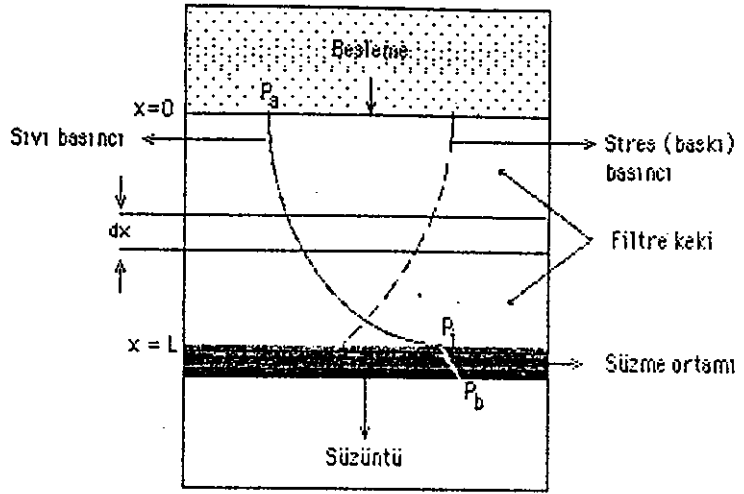
$$\epsilon = \text{Boşluk kesri, kekin gözenekliliği, boşluk hacmi/yaş kek hacmi}$$

$$1-\epsilon = \text{katı hacmi/yaş kek hacmi}$$

$$P_s = \text{Keki oluşturan katı parçacıkların yoğunluğu (kg/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Akış yönüne dik kek kesit alanı (m}^2\text{)}$$

Taneciklerin meydana getirdiği topluluğun direnci; topluluğun kalınlığına, taneciklerin büyüklük ve şekillerine, tanecikler arasındaki boşluğun hacmine bağlıdır. Bu nedenle taneciklerin gösterdiği direnci



Şekil 1. Filtre tablası ve kekindeki basınç değişimi

etkileyen faktörlerin yer aldığı bir eşitliğin kullanılması gerekir. Bu bağıntı Kozeny-Carman tarafından geliştirilmiştir. Diferansiyel bir kalınlık için Kozeny-Carman eşitliği aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\frac{dP}{dx} = \frac{kS_v^2 \mu v (1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \quad (2.2)$$

S_v (özgül yüzey) = S_p/V_p (birim tanecik hacminin alanı) (m^{-1})

S_p = Tek parçacığın yüzey alan (m^2)

V_p = Tek parçacığın hacmi (m^3)

μ = Süzütünün viskozitesi (kg/ms)

v = Süzütünün laminer hızı (m/s)

ϵ = Filtre kekinin gözenekliliği

k = Sabit

Kek yatağı katmanlarının dirençlerinin değişik oluşu, kekin mekaniksel yapı ve etkisinin sonucudur. Süzüntü basıncı, kekin üst yüzeyinde en yüksek, süzme ortamı üzerinde ise en düşüktür. Burada kekin gözenekliliğinin kekin üst yüzeyinde en az, süzme ortamı sınırında ise en yüksek olduğu düşünülebilir. Ancak, gerçek tamamen bunun tersidir. Süzüntü parçacığın bulunduğu bir noktadan geçerken parçacığı süzme ortamı yönünde doğru sürüklenme (çekme) eğilimindedir. Ancak bu çekme kuvveti parçacık tarafından eşdeğerde fakat ters yönde bir karşı kuvvetle karşılaşır. Kekin her katmanı, bir önceki katmanda oluşan karşı koyma ve çekme kuvvetlerini kendisinde oluşan kuvvetleri de ekleyerek kümülatif olarak bir sonraki katmana iletir. Süzme ortamı üzerinde gelen bu kümülatif kuvvetin süzme ortamı yüzey alanına bölünmesi kuvvetin basınç olarak değerini verir. Bu basınca karşı koyma yada stres (baskı) basıncı denir (Şekil 1). Stres basıncı, süzüntü basıncının maksimum olduğu (P_a) kek üst yüzeyinde sıfır değerinde iken süzüntü basıncının minimuma düştüğü (P_i) süzme ortamı sınırında maksimum düzeye çıkar. Bir başka deyişle, süzüntü basıncı düştükçe stres basıncı artmaktadır. Süzüntü basıncı tüm yönlerde doğru etkili iken stres basıncı yalnızca akış yönü paralelinde etkilidir. Bu nedenle parçacığı yassılma eğilimindedir. L kalınlığındaki kekin kümülatif çekme kuvveti ($P_a - P_i$) olarak ifade edilebilir.

k , taneciklerin şekillerine ve konumlarına, geçitlere ait kesit alanlarının şekline ve akışkanın izlemiş olduğu yol uzunluğunun tanecik topluluğuna ait kalınlığına oranına bağlıdır.

Eşitlik (2.1)'deki dx 'in değeri eşitlik (2.2)'de yerine koyulursa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$dP = \frac{kS_v^2 \mu v (1-\epsilon)^2}{P_s A \epsilon^3} dM_c \quad (2.3)$$

Sert ve tekdüze parçacıkların oluşturduğu bir sıvı-katı karışımının, basınç düşüşünün çok düşük olduğu bir filtre yatağından filtrasyonu gibi özel durumlarda eşitlik (2.3)'ün sağ tarafındaki tüm faktörler kek yüksekliğinden bağımsızdır. Eşitlik (2.3) integre edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P_a - P_b = -\Delta P_c = \frac{kS_v^2 (1-\epsilon)^2 \mu V M_c}{P_s A \epsilon^3} \quad (2.4)$$

Birim yükseklikteki filtre kekinin süzüntü akışına gösterdiği direnç (spesifik kek direnci) α (m/kg) aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\alpha = \frac{kS_v^2 (1-\epsilon)^2}{P_s \epsilon^3} \quad (2.5)$$

Bu eşitliğe göre kek gözenekliliği süzme basıncındaki artış ile azaldığından daha yüksek süzme basınçlarında daha yüksek spesifik kek dirençleri elde edilir.

Eşitlik (2.4) ile eşitlik (2.5) birleştirilirse,

$$\frac{-\Delta P_c}{M_c} = \frac{\alpha \mu v}{A} \quad (2.6)$$

eşitliği elde edilir.

R_m ile gösterilen süzme ortamı direnci eşitlik (2.6)'nın bir benzeri olan aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir.

$$\frac{-\Delta P_m}{R_m} = \mu v \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.6) ve (2.7) yardımıyla aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$(-\Delta P) = (-\Delta P_c) + (-\Delta P_m) = \mu v \left(\frac{\alpha M_c}{A} + R_m \right) \quad (2.8)$$

$$V = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (2.9)$$

V filtrasyonun başlangıcından t süresine kadar toplanan süzüntü hacmi, c birim süzüntü hacmi başına süzme ortamında biriken katı maddelerin kütlesi, v süzüntünün laminer hızı olmak üzere, $M_c = CV$ olduğundan eşitlik (2.8) ve (2.9) yardımıyla aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$(-\Delta P) = \mu \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \left(\frac{\alpha cV}{A} + R_m \right) = \mu \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} (R_c + R_m) \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'dan görüldüğü gibi süzme hızı (dV/dt), süzme ortamının iki yüzü arasındaki basınç farkına, süzme ortamının alanına, süzülen sıvının viskozitesine, filtre kekinin direncine ve süzme ortamının direncine bağlı olarak değişir. Toplam direnç (R), filtre keki direnciyle (R_c) süzme ortamı direncinin (R_m) toplamına eşittir.

Eşitlik (2.10)'un düzenlenmesiyle aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu \left(\frac{\alpha cV}{A} + R_m \right)}{A (-\Delta P)} = \frac{\mu \alpha cV}{A^2 (-\Delta P)} + \frac{R_m \mu}{A (-\Delta P)} \quad (2.11)$$

Burada V süzüntü hacmi (m^3), t süre (s), dV/dt süzme hızı (m^3/s), $-\Delta P$ süzme basıncı (Pa), A süzme ortamı alanı (m^2), μ süzüntünün viskozitesi (Pas), R_m süzme ortamı direnci (m^{-1}), a spesifik kek direnci (m/kg), c birim süzüntü hacmi başına toplanan katıların kütlesidir (kg/m^3).

Süzme ortamının direnci, süzme ortamının direncine eşit dirence sahip hayali kekin oluşumu için gerekli süzüntü hacmi (V_e) cinsinden de yazılabilir.

$$R_m = \alpha cV_3/A \quad (2.12)$$

Sabit basınç filtrasyonu için, eşitlik (2.11) integre edilirse,

$$t/(V/A) = \mu \alpha cV/2(-\Delta P) A + \mu R_m/(-\Delta P) \quad (2.13)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik çeşitli süzme basınçlarında spesifik kek dirençlerini belirlemek için kullanılabilir. Filtrasyon işlemiyle elde edilen süzüntü hacmi-süre verileri kullanılarak hesaplanan V/A 'ya karşı $t/(V/A)$ değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğruların eğiminden spesifik kek direnci α kaymasından süzme ortamı direnci R_m hesaplanabilir.

Sabit bir süzme basıncı için, eşitlik (2.10) gereğince spesifik kek direncinin düşmesi süzme hızının artması anlamına gelir. Bu nedenle gıda endüstrisindeki filtrasyon işlemlerinde; spesifik kek direncinin düşürülmesi, dolayısıyla süzme hızının artırılması için önkaplama (süzme ortamını süzme yardımcı maddesi ile kaplama) ve çözeltiye katkı (süzme yardımcı maddesinin süzülecek karışıma ilave edilmesi) gibi teknikler kullanılmaktadır.

Kek direnci eşitlik (2.10)'dan görüldüğü gibi αc ile orantılıdır. Bu direnç hem süzme yardımcı maddesi dışındaki katı maddelerinin hem de süzme yardımcı maddesinin dirençlerini içermektedir TILLER ve ark. (1977). Bu amaçla

$$\alpha_i c_i = \alpha c \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanan bir α_i hayali kek direncini hesaplamışlardır. Burada c_i birim süzüntü hacmi başına süzme yardımcı maddeleri dışındaki süzme ortamında biriken katıların kütlesidir. Süzme yardımcı maddeleri dışındaki katı maddeler için kütle dengesi yapıldığında

$$c_i = c(1-x) \quad (2.15)$$

eşitliği elde edilir. Burada x süzme yardımcı maddesinin ağırlık oranıdır. Eşitlik (2.14) ve (2.15)'in birleştirilmesiyle

$$\alpha_i = \alpha/(1-x) \quad (2.16)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik (2.16) kullanılarak sadece süzme yardımcı maddesi dışındaki katılar yani beslemedeki katılar için spesifik kek dirençleri hesaplanabilir (RUTH, 1935; KIRK-OTHMER, 1967; ÇATALTAŞ, 1985; GARZA ve BOULTON, 1984; Mc CABE ve ark., 1985; TAKAI ve ark, 1987; BENNETT ve MYERS, 1988; BAYINDIRLI ve ark., 1989; SALDAMLI ve SALDAMLI, 1990; WU, 1994; GENÇ ve TOSUN, 1994).

Filtre Kekleri

Süzme basıncının artması ile taneler birbirine yaklaşır, şekilleri bozulur ve eğer varsa flok kümeleri kırılır. Bu yüzden farklı süzme basınçları, değişik spesifik kek dirençlerinin oluşmasına yol açar. Spesifik kek direncinin süzme basıncının bir fonksiyonu olduğu durumda kek sıkıştırılabilir kekdir. Sıkıştırılabilir filtre keklerinin spesifik kek direnci (α) için amprik iki eşitlik yaygın olarak kullanılır.

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta P)^{\nu} \quad (2.17)$$

$$\alpha = \alpha_0 [1+\beta (-\Delta P)^{\nu'}] \quad (2.18)$$

Eşitliklerdeki α_0 , β , ν ve ν' amprik sabitlerdir. Çeşitli basınç kayıplarında sabit basınç deneyleri ($-\Delta P$) ile α 'nın değiştiğini gösterebilir. α , ($-\Delta P$)'den bağımsız ise karışım sıkıştırılmayan karakterdedir. Eşitlik (2.17), eşitlik (2.18)'e kıyasla daha sınırlı kullanımına karşılık daha basit olan bir eşitliktir. α_0 ve ν değerlerinin bulunması için iki sabit basınç değerinin elde edilmesi yeterlidir. Ancak düşük basınçlarda yanlış sonuç verir. Eşitlik (2.18) için üç deney yapılmasına gerek vardır. Bu eşitlik, sıfır değerinin üzerindeki çeşitli basınç kayıplarına uygulanabilecek kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Eşitlik (2.17)'deki ν sabiti, sıkıştırılabilir niteliğinin sayısal değerini (sıkıştırılabilirlik katsayısı) gösterir. Bu sabit, sıkıştırılmayan karışımlarda sıfır, sıkıştırılabilir karışımlarda ise 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Genelde 0.1-1.0 arasında değişir. ν değeri 1'e ne kadar yakın ise kekin sıkıştırılabilir özelliği de o kadar fazladır. α_0 sabiti birim süzme basıncındaki spesifik kek direncidir. Eşitlik (2-17) ve (2-18)'deki sabitler, deneylerde elde edilen basınç sınırları dışındaki basınçlar için kullanılmamalıdır. Süzme basıncının artmasıyla spesifik kek direncinin artması, filtre kekinin sıkıştırılabilir olduğunu gösterir. (EARLE 1983; BENNETT ve MYERS, 1988; SALDAMLI ve SALDAMLI, 1990; LEE ve HSU, 1993).

KAYNAKLAR

- BAYINDIRLI, L., ÖZGILGEN, M. and UNGAN, S. 1989. Modeling of Apple Juice Filtrations, *J. Food Sci.*, 54(4): 1003-1006
- BENNETT, C.O. and MYERS, J.E. 1988. *Momentum, Heat and Mass Transfer, Third Edition*, McGraw-hill Book company, Singapore
- ÇATALTAŞ, İ. 1985. *Kimyasal Proses Endüstrileri 2, Dördüncü Baskı, İnkılap Kitabevi, İstanbul*
- CENGİZ, H.İ., KAYIMOĞLU, E. ve AKYAR, O.Ç. 1986 Pekmez Toprağının Şerbet Arıtımına Etkisi, *Şeker*, 32(118): 27-31.
- EARLE, R.L. 1983. *Unit Operations in Food Processing, Second Edition*, Pergamon Press
- EVRAUZ, Ö. 1985. Ayçiçeği Tablalarından Pektin Eldesinde Pektin Kalitesini Etkileyen Faktörler ve Konu ile İlgili Teknolojik Öneriler, *Tübitak MBEAE Beslenme ve Gıda Tek. Bölümü, Yayın no: 92*
- EVRAUZ, Ö. ve BERÇİN, Ö. 1988. Perlit Süzme Yardımcı Maddesi Tipleri ve Kullanım Alanları, *TÜBİTAK Beslenme ve Gıda Teknolojisi Bölümü Yayın No: 119*
- EVRAUZ, Ö., TEKE, İ., ERDAĞ, E. ve DİTYAPAK, İ. 1984. Etibank Perlit Tesis Müdürlüğü Tarafından Üretilen Perlit Süzme Yardımcı Maddesinin Süzme İşlemlerine Yararlılığı, *TÜBİTAK Beslenme ve Gıda Teknolojisi Bölümü, Yayın No: 88*
- GARZA, F.D.L. and BOULTON, R. 1984. The Modeling of Wine Filtrations, *American Journal of Enology and Viticulture*, 35 (4): 189-195
- GENÇ, A. ve TOSUN, İ. 1994. Sabit Basıncılı Filtrasyonda Çamur Derişimi Değişimi, *UKMK-1 Birinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi Tebliğ Kitabı, 1. Cilt, 17-26, Ankara*
- KIRK, D.E. and OTHMER, D.F. 1967 Pectic Substances, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 14: 636-651.
- LEE, D.J. and HSU, Y.H. 1993. Cake Formation in Capillary Suction Apparatus, *Ind. Eng. Chem. Res.* 32: 1180-1185
- MCCABE, W.L., SMITH, J.C. and HARRIOTT, p. 1985. *Unit Operations of Chemical Engineering, Fourth Edition*, McGraw-Hill Book Company, Singapore
- PERRY, R.H. and GREEN, D. 1984. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Sixth Edition*, McGraw-Hill Book Company, Singapore
- RUTH, B.F. 1935. Studies in Filtration III. Derivation of General Filtration Equations, *Ind. Eng. Chem.*, 27:708-723.
- SALDAMLI, İ. ve SALDAMLI, E. 1990. *Gıda Endüstrisi Makinaları, 1. Baskı, Önder Matbaa, Ankara.*
- TAKAI, R., ABE H., JATANABE, H., HASEGAWA, H. and SAKAI, Y. 1987. Average Specific Cake Resistance Determined in the Presence of Sedimentation in Filtration of Starch Slurry under Constant Pressure, *Journal of Food Engineering*, 9:265-275
- TAYGUN, N. 1976. *Şeker Sanayiinde Filtrasyon, İşletme Mühendisleri Seminer Notları, Cilt 1, Türkiye Şeker Fab. A.Ş. Şeker Enstitüsü, Ankara*
- TAYGUN, N., ve ÇETİN C. 1977. Türkiye'de Kizelgur Üretimi Nasıl Gerçekleşti? *Şeker*, 15 (104): 1-15
- TILLER, F.M., ALCIATORE, A. SHIRATO, M. 1977. Filtration in the Chemical Process Industry. In: C. Orr (Editor), *Filtration Principles And Practices, Part I*. Marcel Dekker Inc., New York
- WU, V. 1994. An Analysis of Constant-Pressure Filtration, *Chemical Engineering Science*, 49(6):831-836