

Ters Ozmos İle Ultrafiltrasyonun Temel İlkeleri ve Gıda Sanayiinde Kullanım Alanları

Doç. Dr. Mehmet PALA

E. Ü. Gıda Fakültesi

1. GİRİŞ VE TANIMLAMALAR

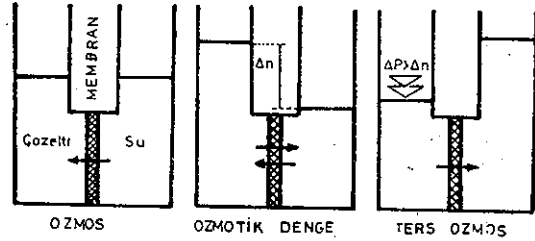
Gıda sanayiinde yeni yöntemlerin araştırılarak uygulamaya konulması, üretilen gıdaların kalitelerini düzeltmek yönünden olduğu kadar, söz konusu yöntemlerin optimizasyonu açısından da önem taşır. Son 20 yıl içerisinde ilk kez deniz suyundan içme suyu eldesinde kullanılan ters ozmos yöntemi, gıda sanayiinde yaygın bir uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Ters ozmos, bilinen ozmos olayının tersine yönlendirilerek uygulandığı bir yöntemdir. Bu nedenle konunun daha iyi aydınlanması bakımından, canlı metabolizmasında pek çok örnekler görülen ozmos olayının açıklanması gerekir. Bu olayın en basit örneği bir çözelti ile çözücünün yarı geçirgen bir membranla birbirinden ayrıldığı sistemde görülebilir. Bu sistemde şeker çözeltisi ile saf suyun yarı geçirgen bir membranla ayrıldığını düşünecek olursak; çözücünden yani suyun bulunduğu bölümden şeker çözeltisinin bulunduğu ortama doğru bir difüzyon olayı meydana gelecektir. Doğada çok rastlanan bu olaya ozmos olayı adı verilir (Şekil 1).

Az yoğun ortamdan daha yoğun ortama doğru oluşan bu difüzyon, hidrostatik basınç ozmotik basınca eşit oluncaya kadar sürer. Böylece membranın iki yanında ozmotik denge sağlanmış olur. Sağlanan bu ozmotik denge sırasında şeker çözeltisi ile su arasında oluşan hidrostatik basınç farkına ozmotik basınç adı verilir.

Membranın iki yanı arasında oluşan ozmotik basınçtan daha büyük bir basınç şeker çözeltisine uygulanacak olursa; ozmos olayındaki sıvının akış yönünü değiştirmek mümkündür. Böylece çok yoğun ortamdan, daha az yoğun ortama sıvı akışı sağlanmaktadır. Diğer bir tanımlama ile ozmos olayı tersine işletilmektedir. Bu nedenle de adına ters ozmos denilmektedir.

Ters ozmosda çözeltinin ozmotik basıncı önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan ozmotik basınç üzerinde durmak gerekecektir. Bilindiği gibi uçucu ve elektrolit olmayan maddelerin

çözeltilerinin ozmotik basınçları da diğer özellikler gibi çözeltide bulunan çözünmüş maddenin molekül sayısına bağlıdır. Çözücünün, çözeltiye doğru akışı, yani suyun şeker çözeltisine doğru membrandan difüzyonu termodinamik açıdan istemli bir olaydır. Çünkü saf çözücünün kimyasal potansiyeli daha fazladır. Çözünen madde, çözüldüğü çözücünün kimyasal potansiyelini azaltır. Başka deyimle; çözücü moleküllerini çekerek onların membrandan geçme eğilimlerinin azalmasına neden olurlar. Çözeltiye, çözücü geçişinin zıt yönünde uygulanan ozmotik basınç; çözeltideki çözücünün kimyasal potansiyelinin saf çözücününkine eşit olmasını sağlar. Zıt yönde uygulanan bu ozmotik basınç, çözeltinin kısmi buhar basıncını saf çözücünün buhar basıncına eşit oluncaya kadar artırır.



Şekil 1. Ters ozmosun çalışma ilkesi

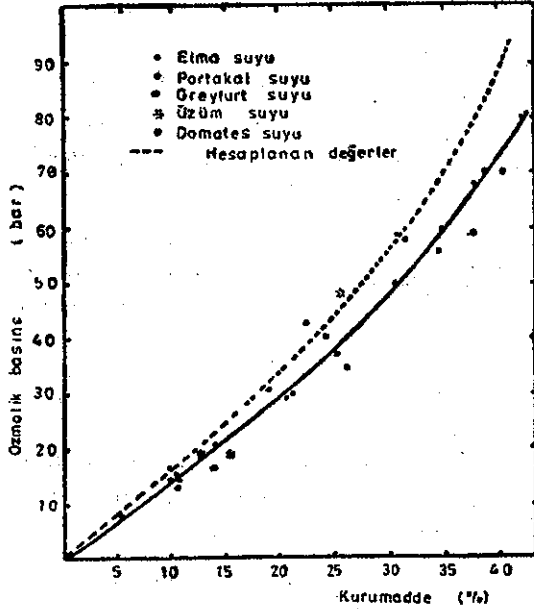
Ozmotik basınç her çözelti ve gıdaya özgü bir madde özelliğidir ve birinci derecede çözünmüş madde konsantrasyonuna bağlıdır. Genel olarak küçük molekülü çözeltilerin ozmotik basıncı, büyük molekülü çözeltilere göre daha fazladır. Ozmotik basınç, çözeltilerin konsantrasyonu ve sıcaklığına paralel olarak artar.

Meyve sularının ozmotik basınçları esas olarak karbonhidratlar ve organik asitlerden kaynaklanmaktadır. Çeşitli meyve sularının ozmotik basınçları, içerdikleri kuru madde miktarına göre değişik bir şekilde toplanacak olursa, çizelge 1'de görüldüğü gibi hemen hemen tüm değerlerin aynı eğri üzerinde olduğu izlenebilir (PALA ve Bielig 1978). Bunun nedeni, meyve sularında ozmotik basıncın aynı içerik maddelerinden kaynaklanmasıdır. Çizelgede gös-

terilen eğriden de anlaşılacağı gibi, % 40 kuru madde içeren bir meyve suyunun ozmotik basıncı 80 bar'ın üzerinde bulunmaktadır. Gösterilen şekilde kesik çizgilerle belirtilen eğri meyve sularının ozmotik basıncının hesaplanması için verilen empririk eşitlikle yapılmıştır. Bu eşitliğe göre :

$$x = \text{kuru madde (\%)} \\ \Pi = 132 \frac{x}{100 - x}$$

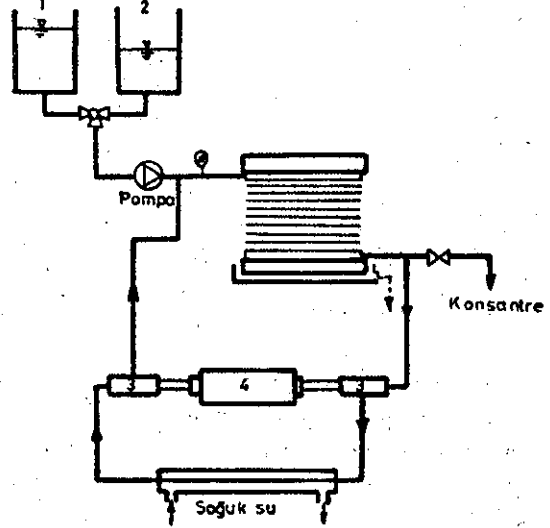
Deneysel olarak bulunan ozmotik basınç değerlerinin hesaplama ile belirlenen değerlere, özellikle düşük konsantrasyonlarda çok yakın olduğu görülmektedir.



Çizge 1. Değişik meyve sularında ozmotik basınç.

Osmotik basınç ters ozmosda önemli rol oynadığına göre, işlemde itici güç olarak kullanılacak olan basıncın, çözeltinin ozmotik ba-

sıncından daha büyük olması zorunludur. Bir ters ozmos ve ultrafiltrasyon aygıtının yapısına bakılacak olursa oldukça basit bir sistem görülür (Şekil 2). Nitekim en önemli kısmını membranın bulunduğu modül bölümü oluşturur ve asıl ayırma veya konsantrasyon işlemi burada gerçekleşmektedir.



Şekil 2. Plakalı modüllü bir ters ozmos aygıtı.

Ters ozmos ve ultrafiltrasyonda membran dan geçen sıvıya permeat, tutulan veya konsantre edilen sıvıya da konsantrat adı verilmektedir. Ters ozmos ile ultrafiltrasyon gerçekte çalışma ilkeleri bakımından birbirlerine benzerler. Ancak çalışma koşullarında ve ayırma özelliklerinde birbirlerinden farklılık gösterirler. Çizelge 1'de bu farklılıklar toplu olarak verilmiştir.

Ultrafiltrasyon ve ters ozmosda sistemin en önemli parçasını membran bölümü oluşturur. Bu nedenle burada kullanılan membranların transport mekanizmaları ve özellikleri hakkında temel bilgilerin bilinmesinde yarar vardır.

Çizelge 1 : Ters Ozmos ile Ultrafiltrasyon Arasında Farklılıklar

	Ters Ozmos	Ultrafiltrasyon
Çözünen Maddenin molekül ağırlığı	< 500 - 1000	> (500) 1000
Çözünen maddenin molekül büyüklüğü	$10^{-9}m$ <	$10^{-6}m$ <
Çözeltinin ozmotik basıncı	max. 80 bar	çok düşük
Çalışma basıncı	ozmotik basınca göre max. 100 bar	ortalama 10 max. 40 bar
Membranın transport mekanizması	Difüzyon	Gözenek - modeli

2. MEMBRANLARIN TRANSPORT MEKANİZMALARI

Membranların kütle transferi mekanizmaları gözenek ve difüzyon modeli olmak üzere iki modelle açıklanmaktadır (Merten, 1966; Lonsdale, 1972). Ancak pratikte her iki modelin de membrandaki transport mekanizmasında rol oynadığı kabul edilmektedir.

Gözenek Modeli : Membranalardaki ayırma veya konsantre işlemi önceleri gözenek modeli ile açıklanmaktaydı. Bu modelde çözeltilerdeki moleküllerin büyüklüklerine göre ayrıldığı varsayılmaktadır. Membranın molekül seçiciliğine ve permeat akışına membranın porozitesi ile gözeneklerin dağılımı etki etmektedir. Ayrıca gözeneklere permeat arasındaki karşılıklı spesifik etkileşim yine membran seçiciliği ve permeat akışını belirleyen etmenlerdendir. Gözenek modelinde gözeneklerden büyük olan moleküller tutulmakta, küçük olanlar membrandan geçmektedirler.

Gözenek modeline göre permeatın gözeneklerden geçişi katmanlı akım (Laminer akım) için verilen eşitlik ile tanımlanabilmektedir.

$$J = \frac{\varepsilon \cdot r^2}{8\zeta \cdot \Delta x} (\Delta p - \Delta \pi)$$

$$J = \text{Permeat hızı (m/s)}$$

$$\varepsilon = \text{Porozite (-)}$$

$$r = \text{Gözenek çapı (m)}$$

$$\zeta = \text{Viskozite kg/ms veya (Pa.s)}$$

$$\Delta x = \text{Membran kalınlığı [m]}$$

$$\Delta \pi = \text{Ozmotik basınç farkı [bar]}$$

$$\Delta p = \text{Uygulanan Basınç [bar]}$$

Bu eşitlik membrandaki akımı basit bir şekilde tanımlamakla birlikte teknik hesaplamalar için yeterli duyarlılıktadır. Aynı eşitlik filtre kekinden geçen akımın hesaplanmasında da kullanılır.

Difüzyon Modeli : Gözenek modelinin tersine difüzyon modelinde; çözeltideki moleküler komponentler membran içinde dağılarak membrandan geçmektedirler. Membrandaki bu madde transportu, kimyasal potansiyel farklılığından kaynaklanarak, moleküler difüzyonla olmaktadır. Difüzyon modelinde moleküler transportta gözenekler rol oynamamakta, membran içerisindeki moleküller özelliklerine göre geç-

mektedirler. Moleküllerin membrandan geçiş hızları, moleküllerin yer değiştirmeleri için gerekli olan aktivasyon enerjisine bağlıdır.

Membran işlemlerinde çözelti içerisindeki moleküler difüzyona iki güç etki etmektedir. Bunlardan birincisi konsantrasyon farklılığı, ikincisi ise basınç farkıdır. Değişik moleküllerin membrandaki dağılımları ve difüzyonla geçmeleri, membranın moleküler spesifikliğı ile fiziko-kimyasal özelliklerine bağlıdır. Membrandan geçen kütle akımı Merten (1966) tarafından şu formüllerle belirlenmiştir.

$$J_L = K_L \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\Delta X} \quad \text{çözgen için}$$

$$J_G = K_G \frac{\Delta C}{\Delta X} \quad \text{çözünmüş madde için}$$

$\Delta C = \text{Konsantrasyon farkı}$

Bu formüldeki K_L ve K_G permeat katsayıları olup her membrana göre değişmektedir. Deneysel olarak saptanırlar.

Yukarıda açıklanan membranların ayırma modellerini pratikte birbirinden ayırmaya olanak yoktur. Bu nedenle ters ozmos ve ultrafiltrasyon membranlarının ayırma işlemlerinde her iki modelin de birlikte etkili olduğu üzerinde birleşilmektedir.

3. TERS OZMOS VE ULTRAFİLTRASYONDA KULLANILAN MEMBRANLARIN ÖZELLİKLERİ :

Teknikte ters ozmos ve ultrafiltrasyon için bir çok membran kullanılmaktadır. Bunlar arasında selüloz asetat, selüloz, polietilen, naylon, selofan gibi polimer yapıları membranları örnek gösterebiliriz.

Bir membranın pratikte kullanımını etkileyen en önemli dört etmen şunlardır :

1 — Membranın seçicilik yeteneği :

Membranların belli büyüklük ve çeşitteki molekülleri yüzeylerinde tutarken bazı moleküllerin geçmesine olanak tanımaları gerekir. Örneğin; meyve sularının konsantre edilmesinde membranın suyun geçmesine izin verirken besin içerik maddelerini tutması bu özelliklerle belirlenir.

2 — Bir membranın permeat akışı büyük

olmalıdır. Bilindiği gibi permeat akışından, birim membran alanından birim zamanda geçen permeat miktarı anlaşılır. Ters ozmos ve ultrafiltasyon işlemlerinin ekonomik olması için membranın yüksek permeat akışı sağlaması gerekir.

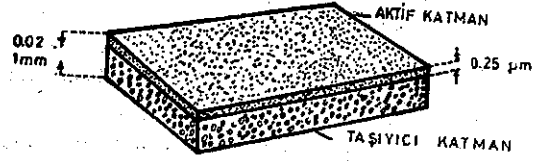
3 — Membranın stabilitesi : Membranlar kullanımları sırasında kimyasal, mekaniksel ve ısısal etkilere karşı dayanıklılık göstermelidir.

4 — Membranın fiyatı düşük olmalıdır. Ters ozmosda membranlar zamanla tıkanıyor için değiştirilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle fiyatlarının düşük olması yine işlemin ekonomikliği açısından önem taşımaktadır.

MEMBRANLARIN YAPILARI

Membran yöntemlerinde amaçlanan teknolojik işlemin uygunluğu, kullanılan membranın materyaline ve özelliklerine göre belirlenir. Esas olarak membranlar birbirlerinden yapısal ve fonksiyonel açıdan farklılık gösterirler. Buna paralel olarak da membranlar; gözenekli membranlar, çözünürlük membranları ve asimmetrik membranlar şeklinde üç grupta toplanabilirler.

Gözenek membranları süngerimsi bir yapı gösterirler ve ortalama gözenek çapları 20 - 2 000 Å'dır. Bir filtre gibi çalıştılarından daha çok ultrafiltasyonda kullanılır. **Çözünürlük membranları** homojen bir katmandan oluşurlar ve işlem sırasında madde transportu kimyasal potansiyel farkının etkisi altında moleküller difüzyonla gerçekleşmektedir. Ters ozmos yönteminin teknik uygulamasında kullanılan en önemli membranlar **asimetrik membranlardır**. Asimetrik membranlar sözünü ettiğimiz gözenek ve çözünürlük membranlarının özelliklerini birlikte gösterirler. Asimetrik membranlar çok ince bir aktif katmanla gözenekli taşıyıcı katmandan oluşurlar. Şekil 3 de böyle bir asimetrik membranın şematik şekli gösterilmiştir. Bir asimetrik membranın toplam kalınlığı 0.02 ile 1 mm arasındadır. Aktif katman homojen bir polimer tabakasından oluşur ve asıl membran işlevini yapar. Buna karşın taşıyıcı katman membrana mekanik stabilite verir. Aktif katmanın kalınlığının yapılan elektron mikroskop çalışmaları sonucunda 0.25 µm olduğu belirlenmiştir. (Merten, 1966).



Şekil 3. Bir asimetrik membranın yapısı

4. TERS OZMOS VE ULTRAFİLTASYON İŞLEMLERİNE ETKİ EDEN ETMENLER

Ters ozmos ve ultrafiltasyon işlemlerinin yönlendirilmesinde membran özelliklerinin yanında şu işlem faktörleri önem taşımaktadır:

1. İşlemden uygulanan basınç
2. Sıcaklık ve pH
3. Konsantrasyon Polarizasyonu

Bu etki eden faktörlere göre her membranın kullanılma süresi değişiktir.

Bir membranın ekonomik olarak kullanılma süresine membranın ömrü adı verilmektedir. Genel olarak bir membranın ömrü, başlangıçta verdiği randımanın % 40 değerine inmesi için geçen süredir. Membran işlemlerinde mümkün olduğu kadar çok maddeyi ayırmak veya konsantre etmek amaçlanır. Bu nedenle ters ozmosda permeat akışını yüksek tutmak zorunluğudur. Böylece işlemin ekonomik çalışması sağlanmış olur.

4.1. BASINCIN ETKİSİ

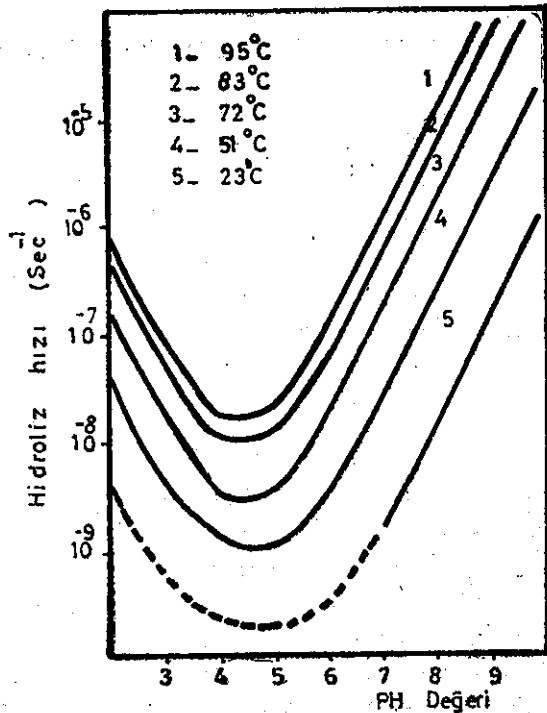
Membran yöntemlerinde permeat akışı uygulanan basınçla artar. Ancak çalışma basıncı ile permeat akışı arasında özellikle yüksek basınçlarda doğrusal bir bağıntı bulunmaktadır. İşlem sırasında uygulanan basınç nedeniyle membranda bir sıkışma ve şekil değişikliği meydana gelmektedir. Bunun sonucu permeat akışında azalma görülür. Yapılan araştırmalarda uygulanan 40 bar'lık bir basıncın sonucu asimetrik membranlarda irreversibel şekil değişmelerine neden olduğu ortaya konulmuştur (Marquard, 1973). Bu bakımdan ters ozmos işleminin belli amaçlar için uygun basınçlarda yürütülmesi gerekir. Bu nedenle de elde edilen membrana ve besin maddesine göre işlem koşullarının optimizasyonu deneysel olarak bulunmalıdır.

4.2. MEMBRAN İŞLEMLERİNE SICAKLIK VE pH'NİN ETKİLERİ :

Sıcaklığın artırılmasıyla çözünen maddenin difüzyon katsayısı artmakta; buna karşın viskozitesi azalmaktadır. Yapılan araştırmalarda işlem sıcaklığının 10°C'den 30°C'ye çıkarılması sonucu membranın su geçirgenliğinin arttığı saptanmıştır.

Şeker çözeltisinin sıcaklığını 25°C'den 35°C'ye çıkararak uygulandığı ter ozmosla konsantrasyon işleminde permeat akışında % 20 artış sağlanmıştır (Monge ve ark. 1973). Nitekim diğer bir araştırmada da aynı sonuca varılarak; membran geçirgenliğinin artan her bir derece sıcaklıktan ortalama %2 arttığı bulunmuştur (Marquard, 1973).

Ancak membranlarının yüksek sıcaklıkta çalıştırılmaları kullanım ömürlerini azaltmaktadır (Lonsdale, 1970). Selüloz asetat membranı 45°C'de ortalama 310 gün çalışırken aynı membran 25°C'de 1200 gün çalışmaktadır. Membranların kullanım ömürlerine sıcaklığın yanında konsantre veya ayırma işlemine tabi tutulacak olan gıdanın pH- değerinin de etkisi vardır. Selüloz asetat membranları alkali ve kuvvetli asit ortamlarda hidrolize olmakta ve bu neden-



Çizge 2. pH değerine bağlı olarak hidroliz hızı.

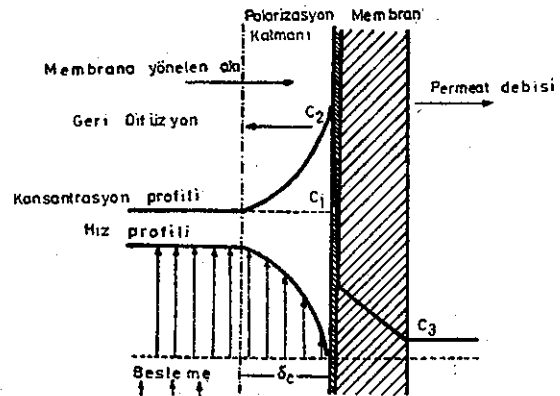
le membranın çözünmüş maddeyi konsantre içerisinde tutma özelliği önemli ölçüde azalmaktadır.

Vos ve ark. (1966) yaptıkları deneyler sonucunda membranın hidroliz hızının en az pH = 4.8'de ve düşük sıcaklıklarda olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum Çizelge 2'de açık bir şekilde görülmektedir. Belirlenen pH - değerlerinden daha asit veya alkali ortamlara geçildikçe selüloz asetatın hidrolizi artmaktadır. Nitekim pH-değerini 4.8'den 2 değer yükseltmekle veya azaltmakla membranın hidroliz olma hızı 100 kat artmaktadır. Bu da gösteriyor ki membranların ömürlerini uzatmak ve verimli bir şekilde kullanabilmek için işlem sıcaklığının 30°C'nin altında ve ortamın pH-değerinin de hafif asitlik bölgesinde bulunması gerekmektedir.

KONSANTRASYON POLARİZASYONU

Ters ozmos ve ultrafiltrasyonda çözeltiden suyun permeat olarak ayrılmasıyla membran yüzeyinde çözelti konsantrasyonu yükselmektedir. Bu konsantrasyon yükselmesi membrandan geçmeyen ancak membran yüzeyinde kalan büyük moleküllü besin içerik maddelerinden kaynaklanmaktadır. Membran yüzeyinde bu lokal konsantrasyon artışına konsantrasyon polarizasyonu adı verilmektedir. Bu olay normal filtrasyonda filtre plakası üzerinde biriken filtre keki ile aynı paralelde meydana gelmektedir.

Şekil 4.'de membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon polarizasyonu şematik olarak gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi membran



Şekil 4. Ters ozmos ve ultrafiltrasyonda konsantrasyon polarizasyonunun şematik olarak gösterilmesi.

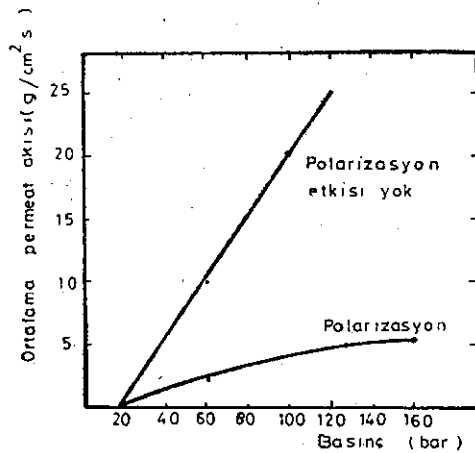
yüzeyinde besleme sıvısına göre bir konsantrasyon değişimi meydana gelmekte ve akışkanlar mekaniği açısından hız ve akış rejimini etkileyici bir durum ortaya çıkmaktadır.

5. KONSANTRASYON POLARİZASYONU SONUCUNDA ULTRAFİLTASYON VE TERS OZMOS İŞLEMLERİNDE ORTAYA ÇIKAN OLUMSUZ ETKİLER

1. Membran yüzeyinde meydana gelen konsantrasyon yükselmesi, çözünmüş maddelerin membrandan daha çok geçmesine neden olur. Böylece membran işleminin ayırma veya konsantre etme etkinliği azalır.

2. Yükselen konsantrasyona bağlı olarak membran yüzeyinde ozmotik basınç artmakta ve ters ozmos ile ultrafiltrasyon için itici güç olan, uygulanan basınç farkının etkinliği azalmaktadır. Azalan basınç farkı nedeniyle ters ozmos işleminin verimliliği yani permeat akışı düşer.

3. Protein, pektin, nişasta gibi büyük moleküllü gıda içerik maddelerinin birikmesi sonucunda membran yüzeyinde jele benzeyen bir katman oluşmaktadır. Böylece membranın kendisine ek olarak permeat akışına karşı ikinci bir direnç ortaya çıkar. Ortaya çıkan ikinci direncin permeat akışına etkisi genellikle membrandan daha fazla olmaktadır. Ters ozmos ve ultrafiltrasyonun kararlı çalışmaları durumunda yüzeyinde oluşan Polarizasyon katmanı permeat akışına karşı aynı zamanda konsantrasyon farklılığından doğan geri difüzyona neden olmaktadır. Bu da işlemin etkinliğini azaltmaktadır.



Çizge 3. Permeat akışına polarizasyonun etkisi.

Konsantrasyon polarizasyonu akışkan gıdaların veya çözeltilerin konsantre edilmesinde permeat akışını doğrudan etkilediğinden ters ozmos aygıtlarının konstrüksiyon ve çalıştırılmalarında çok önemli rol oynamaktadır.

Nitekim Çizge 3'den anlaşılacağı gibi polarizasyon permeat akışını önemli ölçüde azaltmaktadır. % 10'luk bir şeker çözeltisinin % 20'ye ters ozmos yardımıyla konsantre edilmesi sırasında elde edilen değerler Çizge 3'de verilmiştir (Merson ve ark., 1969). Uygulanan basıncın artmasına karşın polarizasyonun olduğu işlemlerde permeat akışı pek az artmasına karşın, polarizasyonun ortadan kalkmasıyla permeat akışının basınçla doğru orantılı arttığı gözlenmektedir. Genel olarak buradan da anlaşıldığı gibi konsantrasyon polarizasyonu membran işlemlerinin verimliliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu bakımdan ters ozmos ve ultrafiltrasyon işlemlerinin uygulanmasında polarizasyonu önlemek için bazı önlemlerin alınması gerekmektedir.

Konsantrasyon polarizasyonu gerçekte çok kompleks bir olaydır. Membran yüzeyinde polarizasyonun oluşumu konsantre edilecek ya da işleme alınacak olan akışkan gıda maddesinin içerik ve özelliklerine bağlıdır. Akışkan gıdalarda bulunan özellikle pektin, protein ve nişasta gibi büyük moleküllü içerik maddelerinin polarizasyona neden olduğu bilinmektedir.

Polarizasyonun önlenmesinde iki olanak bulunmaktadır :

- 1 — İşlem parametrelerinin değiştirilmesi
- 2 — Ters ozmos ve ultrafiltrasyon aygıtlarının polarizasyonu önleyici bir şekilde konstrükte edilmesidir.

Bilindiği gibi permeat akışı, akışkan besinin konsantrasyonu ile viskozite ve difüzyon katsayısı gibi fiziksel özellikler polarizasyonu doğrudan etkileyen işlem parametreleridir. Ters ozmos ve ultrafiltrasyon aygıtlarının konstrüksiyonuna yönelik parametreler; modül çapı veya aralığı ile uzunluğu ve karıştırma etkinlikleridir.

Konsantrasyon polarizasyonuna etki eden işlem ve konstrüksiyon parametrelerine kısaca değinmek yararlı olacaktır.

1. Permeat akışı : Permeat akışı ile konsantrasyon polarizasyonunun oluşması arasında yakın bir ilişki vardır. Permeat akışı arttıkça polarizasyon da artmaktadır. Bu duruma göre permeat akışının azaltılmasıyla konsantrasyon polarizasyonunda azalması söz konusudur. Ancak ters ozmos ve ultrafiltrasyon aygıtlarının kapasitesini tam olarak kullanmak için permeat akışı mümkün olduğu kadar arttırmak zorunluğudur. Ayrıca istenilen konsantrasyon için de bu gereklidir. Bir yandan permeat akışının artırılması ve bir yandan da polarizasyonu önlemek için permeat akışının azaltılması işlemin optimizasyonu sorununu ortaya çıkarmaktadır. Optimizasyon sorunu konsantre edilecek olan madde ve kullanılacak ters ozmos veya ultrafiltrasyon aygıtları göz önüne alınarak deneysel olarak çözümlenmelidir.

2. Polarizasyonun önlenmesi veya etkisini azaltmak için ikinci olarak besleme debisini artırma olanağı vardır. Örneğin belli boyutlardaki boru veya plaka modülü bir membran aygıtında besleme debisini artırarak modül içerisindeki sıvı hızını arttırmak mümkündür. Artan hızla oluşturulacak turbülanslı akım sonucu membran yüzeyindeki polarizasyon katmanı hareketlendirilerek dağıtılabilir. Böylece permeat akışı ve membranda tutulması istenilen molekülleri ayırma özelliği de korunmuş olmaktadır. Ancak bu şekil bir uygulama modül içerisinde aşırı basınç kaybına neden olmakta ve pompalama düzeni için gerekli enerji tüketimini artırmaktadır. Bu bakımdan besleme debisini aşırı artırmaktan kaçınılmalıdır.

3. İşleme alınacak olan akışkan gıdanın fiziksel özelliklerini değiştirerek polarizasyonun azaltılması da söz konusudur. Örneğin sıcaklığın artırılması ile difüzyon katsayısının değeri artarken viskozite azalır. Polarizasyonun oluşması difüzyonla ters viskozite ile doğru orantılıdır. Ancak teknikte çok kullanılan selüloz asetat membranlarının optimum çalışma sıcaklığı 20°C civarındadır. Bu bakımdan sıcaklığın artırılması önemli bir yarar sağlamayacaktır.

4. Sen olarak polarizasyon, ters ozmos ve ultrafiltrasyon aygıtlarının konstrüksiyonunda gerçekleştirilecek önlemlerle en az düzeye indirilebilir. Boru modülü aygıtlarda boru çapı-

nı, plaka modüllü aygıtlarda plaka aralığını küçük tutarak belli besleme debilerinde turbülansın oluşmasını sağlamak ve böylece polarizasyon katmanını dağıtmak mümkün olmaktadır. Ancak bu şekil bir uygulamada daha önce de belirtildiği gibi aşırı basınç kaybını dikkate almak gerekir.

Genel olarak ters ozmos aygıtlarında oluşan konsantrasyon polarizasyonunun önlenmesi veya giderilmesinde turbülanslı akımın sağlanması veya bu aygıtlara karıştırıcı düzenlerin yerleştirilmesi gereklidir. Herhangi bir işlem sırasında konsantrasyon polarizasyonu tamamen giderilemiyorsa; en azından polarizasyon katmanının zaman zaman temizlenmesi yeterli permeat akışının sağlanması bakımından önem taşımaktadır.

6. MEMBRAN İŞLEMLERİNİN OLUMLU VE OLUMSUZ YÖNLERİ :

Söz konusu bu membran işlemleri benzer işleri yapabilen diğer ayırma ve konsantre etme yöntemleriyle karşılaştırıldığında aşağıdaki üstünlüklere sahiptirler :

1. Kullanım alanı çok geniştir.
2. Ultrafiltrasyon ve ters ozmos aygıtları basit yapıdadırlar. Çalıştırılmaları kolaydır.
3. İşletme giderleri ve enerji gereksinimi düşüktür.
4. Özellikle ısıya duyarlı gıdaların herhangi bir sakınca olmaksızın işlenebilmelerine olanak sağlar.
5. Kullanım amacı ve kapasitesi kolayca değiştirilebilir. Kapasitesi membran alanının değiştirilmesiyle kolayca azaltılabilir veya artırılabilir.
6. Membran aygıtları sürekli çalıştırılabilirler için üretimde süreklilik sağlarlar.
7. Bazı uygulamalarında randımanı artırıcı etki yaparlar. Örneğin bu yöntemle işlenen peynirlerde % 25'e varan randıman artışı gerçekleştirilebilir. Ayrıca peynir mayası, starter kültürü ve tuz gibi yardımcı maddelere olan gereksinimi oldukça azalttığı için maliyeti düşürür.

8. Molekül büyüklüğüne göre selektif ayırma yapmaktadır.
9. Çalışma sırasında ani değişen işlem koşullarına karşı elastiklik gösterir.
10. Maddeleri ayırma veya konsantre etme sırasında faz değişiklikleri olmaz.
11. Optimal kaliteye ulaşmada üretim denetimi kolay olmaktadır.
12. Membran işlemlerinin uygulanmasıyla hijyenik çalışma koşulları sağlanır.

Ultrafiltrasyon ve ters ozmos yöntemlerinin bu sayılan olumlu yanlarına karşın bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bunlar da şu şekilde özetlenebilir :

1. Membranın zaman zaman yenilenmesi zorunludur.
2. Membranların temizlenmesi sorun yaratmakta, çoğu kez niteliklerinin yitilmesine neden olmaktadır.
3. Aygıtların büyüklüklerine oranla membran yüzeyi çok küçüktür.

4. Akışkan gıdaların konsantre edilmeleri sırasında yüksek basınçlara gerek duyulur. Bu nedenle yüksek basınca dayanıklı pahalı aygıtların yapılması zorunludur.
5. Konsantre işlemi sırasında bazı gıda maddelerinde aroma kayıpları meydana gelmektedir.
6. Membran yüzeyinde oluşan konsantrasyon polarizasyonu, işlemi olumsuz yönde etkilemektedir.

7. TERS OZMOS VE ULTRAFİLTRASYONUN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde Ters Ozmos ve Ultrafiltrasyon yöntemleri yukarıda sayılan olumlu ve olumsuz yönlerine göre bir çok değişik gıdanın konsantre edilmesinde ve işlenmesinde artık gıda sanayiinin vazgeçilmez yöntemlerinden biri olmuştur. Gün geçtikçe de kullanım alanları yaygınlaşmaktadır.

Ters Ozmos ve Ultrafiltrasyonun kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir :

1. Akışkan gıdaların konsantre edilmesinde.

Meyve suları

Wucherpfennig ve Neubert, 1977; Matsuura ve Ark. 1973, 1974, 1975; Peri, 1973; Bolin ve Salunkhe, 1971; Harrison, 1970; Merson ve Morgan, 1968

Kahve Ekstraktı

Pancuska ve Mlynarczyk, 1974

Yumurta proteini

Lowe ve Ark. 1969

Şeker ve benzeri

Kearsley, 1976;

Çözelti ve maddeler

Pereira ve Ark. 1976;

Baloh, 1975;

Peeler ve Sitnai, 1974;

Süt, yağsız süt ve

Madsen ve Nielsen, 1974;

peynir suyu.

Madsen ve Olsen, 1974;

Pepper ve Marquardt, 1972;

Fenton - May ve Hill, 1971;

Peri ve Dunkley, 1971;

Elma Şarabının Konsantre edilmesi

Schobinger ve Ark. 1974

2. Gıdaların belli içerik maddelerinin kazanılması veya uzaklaştırılmasında.

Artık sulardan nişasta ve proteinlerin kazanılması.

Meuser ve Smolnik, 1976

- Bira ve şarabın alkol niceliğinin düşürülmesinde. Wucherpfennig ve Neubert. 1976.
- Suyun mineral maddelerden arıtılmasında Neubert, 1974.
3. Atık sulardan ve deniz suyundan içme suyu eldesinde. Marquardt, 1976; Sarbauki ve Miller, 1973; Rautenbach ve Parsternak, 1972.

ÖZET

Ters Ozmos ve Ultrafiltrasyon, gıda sanayiinde giderek önemi artan yeni yöntemlerdir. Önce ozmotik basınç, Ters ozmos ve Ultrafiltrasyon tanımlanmakta, kullanılan membranların transport mekanizmaları ile özellikleri ortaya konulmaktadır. Membran işlemlerine etki eden

basınç, sıcaklık, pH ve Konsantrasyon - polarizasyonun olumsuz etkileri ile giderilme olanakları üzerinde durulmaktadır. Membran işlemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri belirtilmekte ve gıda sanayiindeki kullanım alanlarına değinilmektedir.

ZUSAMMENFASSUNG

Grundprinzipien der Umkehrosiose sowie der Ultrafiltration und Anwendung in der Lebensmittelindustrie.

Umkehrosiose und Ultrafiltrasyon gehören zu den neuen Verfahren, die immer mehr Bedeutung in der Industrie gewinnen. Zur Einführung werden zunächst der osmotische Druck und die Umkehrosiose sowie die Ultrafiltration definiert. Der Transportmechanismus und die Eigenschaften der Membrane werden eingehend erläutert. Die Betriebsparameter, die auf die Prozesse Einfluss haben, wie Druck, Temperatur, pH - Wert und

Konzentrationspolarisation werden beschrieben, wobei insbesondere die Konzentrationspolarisation in Einzelheiten dargestellt wurde. Danach werden die Nachteile und die Vermeidung von Polarisationen in Membranprozessen in detail angegeben. Die positiven und negativen Seiten der Membranprozesse werden hervorheben und auf die Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittelindustrie hingewiesen.

K A Y N A K L A R

- Baloh, T. 1973 : Reversosiose in der Technologie des Zuckers. *Z. Zuckerind.* 25, 452 - 456.
- Bolin, H.R. a. Saiunkhe, D.K. 1971 : Physicochemical and volatile flavor changer occurring in fruit juices during concentration and foam - mat drying. *J. Food Sci.* 36, 665-668.
- Fenton - May, R.I. a. Hill, C.G. 1971 : Use of ultrafiltration reversosiosis systems for the concentration and fractionation of whey. *J. Food Sci.* 36, 14 - 21.
- Harrison, P.S. 1970 : Some applications of reverse osmosis under consideration for industrial use. *Chemistry and Industry*, 323 - 328.
- Kearsley, N.W. 1976 : Umkehrosiose von Zuckersirup. *stärke* 28, 135 - 145.
- Lonsdale, H.K. 1970 : Separation and purification by reverse osmosis, in «Progress in separation and purification». Vol. 3 ed. Perry, E.S. and van Oss, C.J. p. 209. Wiley - Interscience New York.
- Lonsdale, 1972 : Theory and practice of reverse osmosis and ultrafiltration in industrial processing with membranes. Edited von R.E. Lacey und S. Loeb, S. 123 - 178 Wiley - Interscience New York, London, Sydney, Toronto.
- Lowe, E., Durkee, E.L., Merson, R.L., Ijichi, K. and Cimino, S.L. 1969 : Egg white concentrated by reverse osmosis. *Food Technol.* 23, 753 - 762.
- Madsen, R.F. a. Nielsen, W.K. 1974 : Applications of HF and UF in the food and dairy industries. IV. Int. Congress of Food Sci. and Technol. in Madrid. *Work Documents* Nr. 6, 50 - 51.
- Madsen, R.F. u. Olsen, O.J. 1974 : Anwendung

- von Ultrafiltration und Hyperfiltration als Voskonzentrierungs- und Reinigungsstufen in der pharmazentischen Industrie und Nahrungsmittelindustrie. *Chemie-Technik* 3, 81 - 84.
- Marquardt, K. 1973 : Umgekehrte Osmose und Ultrafiltration Anwendungsmöglichkeiten und Beschränkungen des Verfahrens sowie der gegenwärtige Trend im Anlagebau. *Chemie - Technik* 2, 245 - 253.
- Matsuura, T., Baxter, A.G. a. Sourirajan, S. 1973 : Concentration of fruit juices by reverse osmosis using porous cellulose acetate membranes. *Acta Alimentaria* 2, 109 - 150.
- Matsuura, T., Baxter, A.G. a. Sourirajan, S. 1973 : Studies on reverse osmosis for concentration of fruit juices. *J. Food Sci.* 39, 705-711.
- Matsuura, T., Baxter, A.G. U. Sourirajan, S. 1975 : Reverse osmosis recovery of flavor components from apple juice waters. *J. Food Sci.* 40, 1039 - 1046.
- Merson, R.L., Ginnette, L.F. a. Morgan, A.L. 1969 : Reverse osmosis for food processing. *DecHEMA - Monographien* 63, 179 - 201.
- Merson, R.L. a. Morgan, A.L. 1968 : Juice concentration by reverse osmosis *Food Technol.* 22, 631 - 634.
- Merten, U. 1966 : Transport properties of osmotic membranes in «Desalination by reverse osmosis» editor MERTEN, U. The M.I.T. Press Cambridge, London, S. 15 - 54.
- Meuser, F. und Smolnik, H.D. 1976 : Möglichkeiten des Einsatzes der Ultrafiltration und der reversiblen Osmose zur Gewinnung und Aufbereitung Löslicher Inhaltsstoffe aus Prozesswassern *Stärke* 28, 271 - 278.
- Monge, L.E., McCox, B.J. a. Merson, R.L. 1973 : Improved reverse osmosis permeation by heating. *J. Food Sci.* 38, 633 - 636.
- Neubert, St. 1974 : Möglichkeiten zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser zur Verdünnung von Fruchtsaftkonzentraten unter spezieller Berücksichtigung der Umkehrosmose *Flüssiges Obst* 41, 406 - 414.
- Pala, M. und Bielig, H.J. 1978 : Industrielle Konzentrierung und Aromagewinnung von flüssigen Lebensmitteln. Fortschritte in der Lebensmittelwissenschaft Nr. 5 Technische Universität Berlin.
- Pancuska, V. a. Mlynarczyk, A. 1974 : Concentrating caffeine by reverse osmosis. *Food Engineering* 46, 85 - 86.
- Peeler, J.P.K. a. Sitnai, O. 1975 : Reverse osmosis concentration of carbohydrate solutions: Process modelling and costing. I. *Food Sci.* 39, 744 - 750.
- Pepper, D. u. Marquardt, K. 1972 : Umgekehrte Osmose und Ultrafiltration zur Aufbereitung von Milch und Molke Stsch. *Molkerei-Ztg.* 93, 1504 - 1506.
- Pereira, E.N., Matsuura, T. a. Sourirajan, S. 1976 : Reverse osmosis separation and concentration of food sugars. *J. Food Sci.* 46, 672 - 680.
- Peri, C. 1973 : Orange juice concentration by reverse osmosis, retentions, permeation rate and economy of the process internat. Fruchtsaft - Union, Ber. d. Wiss - Techn. Kommission 13, 119 - 145.
- Peri, C. and Dunkley, W.L. 1971 : Reverse osmosis of cottage cheese whey, 1. Influence of composition of the feed. 2. Influence of flow conditions. *J. Food Sci.* 36, 25 - 30; 36, 395 - 399.
- Rautenbach, R. u. Pasternack, A. 1972 : Mehrstufige Membranverfahren für die Meerwasserentsalzung Teil I und Teil II *Verfahrenstechnik* 6, 19 - 22 u. 399 - 405.
- Sarbauki, M.N. a. Miller, I.F. 1973 : On pore flow models for reverse osmosis desalination. *Desalination* 12, 343 - 359.
- Schobinger, U., Karwawska, K. u. Grab, W. 1974 : Über das Verhalten der Aromastoffe bei der Konzentrierung von Apfelwein durch umgekehrte Osmose. *Lebensm. - Wiss. u. Technol.* 7, 29 - 37.
- Vos, K.D., Burris, F.O. a. Ruley, R.L. 1966 : Kinetic study of the hydrolysis of cellulose acetate in the pH range of 2 - 10 *J. Appl. Polym. Sci.* 10, 825 - 832.
- Wuchergfennig, K. und Neubert, St. 1976 : Zur teilweise Entalkoholisierung von Bier mittels Umkehrosmose. *Brauwelt* 116, Teil 1 Nr. 41, 1326 - 1332. Teil 2 Nr. 43, 1419 - 1423. Teil 3 Nr. 47, 1573 - 1579.
- Wucherpennig, K. und Neubert, St. 1977 : Einsatzmöglichkeiten der Ultrafiltration zum Eiweißstabilisieren und der Umkehrosmose zur Konzentrierung von Traubensaft. *Flüssiges Obst* 44, 13 - 24 und 46 - 56.