

KOYULAŞTIRMA VE KOYULAŞTIRMA TESİSLERİ (BUHARLAŞTIRICILAR)

PROF. DR. AHMET ÇOLAK

PROF. DR. MUSA AYIK

10. KOYULAŞTIRMA VE KOYULAŞTIRMA TESİSLERİ (BUHARLAŞTIRICILAR)

Gıda sanayinde, koyulaştırma yada buharlaştırma denilince, sıvı ürünlerin içerdikleri suyun belirli bir miktarının buharlaőtırılarak uzaklaőtırılması anlaşılır. Koyulaőtırılmış ürünler, daha sonraki işlem aőamalarında kolayca kurutulabilirler. Öte yandan, bu tür ürünlere őeker katkısı ile dayanıklılıkları artırabildiği gibi depolanma ve taőtınmaları da kolaylaőtırır.

10.1 Koyulaştırma İşleminde Buharlaştırılan Su Miktarı

Ürün içindeki su miktarı m_{Su} ve yağ dahil kuru madde içeriği de m_{KM} ise x su oranı aşağıdaki eşitliğe göre bulunur:

$$x = \frac{m_{Su}}{m_{Su} + m_{KM}}$$

Kuru madde oranı ise;

$$KM = \frac{m_{KM}}{m_{Su} + m_{KM}} = 1 - x \text{ olur.}$$

Koyulaştırma başlangıcında su oranı x_0 ve su miktarı m_{sub} ise; koyulaştırma sonunda su oranı x ve su miktarı da m_{Su} olana dek. buharlaştırılan su miktarı şöyle bulunur:

$$m_{sub} - m_{Su} = \left(\frac{x_0}{1 - x_0} - \frac{x}{1 - x} \right) \cdot m_{KM}$$

Bu değer, koyulaştırılmadan önceki su miktarına oranlandığında, başlangıç su miktarına göre buharlaştırılan su oram, bulunabilir.

$$\frac{m_{\text{Sub}} - m_{\text{Su}}}{m_{\text{Sub}}} = 1 - \frac{x(1 - x_0)}{x_0(1 - x)} \text{ eşitliğinden}$$

Sıvıların buharlaştırma ile koyulaştırılmasında önemli unsurlar;

- ▶ Buharlaştırma odasındaki basınç yada vakum.
- ▶ Sıvı sütununun hidrostatik basıncı ve
- ▶ Çözelti konsantrasyonuna bağlı ozmotik basınçtır.

Buna göre, kaynama ve buharlaştırma işi, ilk aşamada basınca bağlı olarak ayarlanabilir. Kaynayan sıvıda oluşan buhar ile sıvı karşılıklı denge konumunda olup, buharlaşma sıcaklığı, doymuş buhar basıncına göre değişmektedir. Öte yandan, kaynayan sıvının üst yüzey sıcaklığı da oluşan buharın sıcaklığına eşitir.

Sıvı üzerine etkili basıncın düşürülmesiyle (vakum), buharlaşma sıcaklığı da düşürüldüğü için, 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda buharlaştırma sağlanmaktadır. Örneğin, saf suyun, basınca bağlı buharlaşma sıcaklıkları şekil 10.1'de grafik olarak verilmiştir.

10.2 Buharlaştırıcı Tipleri

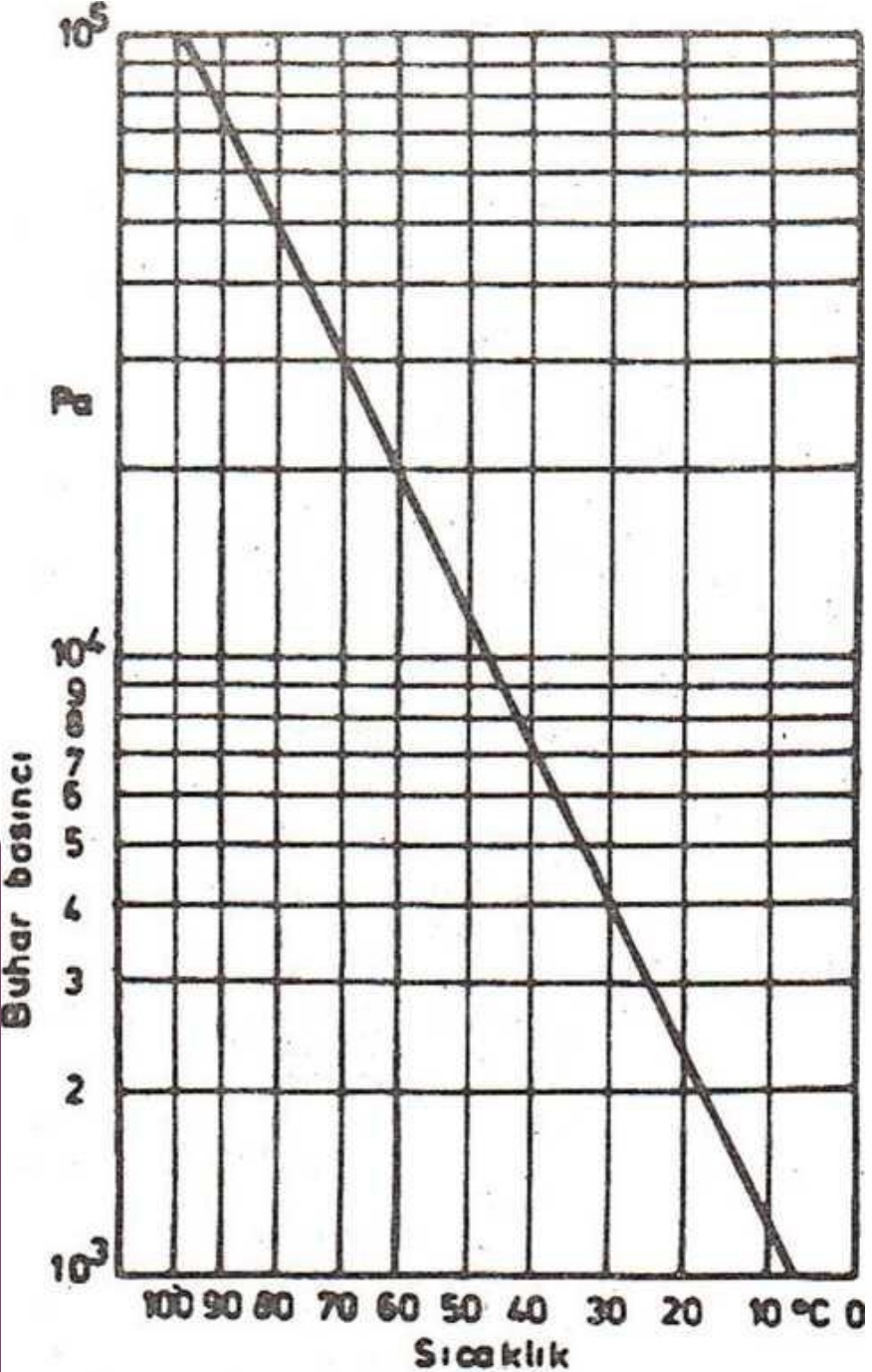
Buharlaştırma işi için çok çeşitli buharlaştırıcılar (evaporatörler) geliştirilmiştir. Uygulamalarda, kesintili çalışan (porsiyonvari) buharlaştıncılar yerine, sürekli (kontinü) alışan buharlaştırıcı tipleri giderek yaygınlaşmaktadır.

şekil 10.2'de suyu, 100 °C'den düşük sıcaklıklarda buharlaştıran bir tesisin ana organları şematik olarak verilmiştir. Süt ve benzeri ürünlerin koyulaştırılması, genel olarak, 75 ... 40 °C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilir. Bu sınırlar; daha yüksek sıcaklıklarda ürünün yanması, daha düşük sıcaklıklarda da soğutma suyunun sıcaklığı ile belirlenmektedir.

Buharlaştımcıların ana organları, genel olarak şunlardır:

- ▶ Isı değiştirme işi için vakumlu buharlaştırma kazanı.
- ▶ Artık buharın koyulaşmış üründen ayrıldığı, ayırıcı.
- ▶ Artık buhar için yoğuşturucu.
- ▶ Yoğuşan suyun atılarak vakumun üretilmesi için gerekli düzen.

Buharlaştırma içinde gerekli ısıtma buharı tüketimi, uygulamalarda ekonomik işletmeciliği sınırlayan bir etmendir. Bir kademeli buharlaştıncılarda genel ortalama olarak;

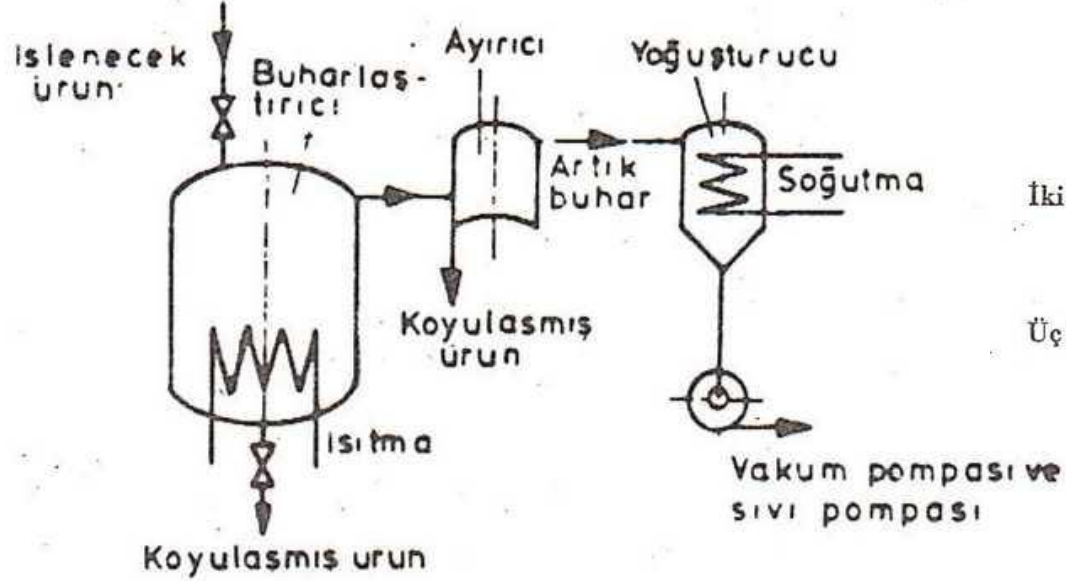


Şekil 10.1. Saf suyun basınca bağlı buharlaşma sıcaklıkları.

$$\text{Özgül buhar tüketimi} = \frac{\text{Isıtma buharı miktarı}}{\text{Buharlaştırılacak su miktarı}} = 1$$

olmaktadır. Bunun yanında, koyulaştırılacak ürünün ön ısıtılması ve ısı kayıpları nedeniyle, buhar tüketimi % 10 ... 15 artmaktadır.

Isıtma buharı tüketiminin azaltılabilmesi için çok kademeli buharlaştırıcılar kullanılır. Bu durumda, özgül buhar tüketim değerleri şöyle olmaktadır:



Şekil 10.2. Buharlaştırma tesislerinin ana organları.

$$\text{İki kademeli buharlaştırmada; } \frac{\text{Isıtma buharı miktarı}}{\text{Buharlaştırılacak su miktarı}} = \frac{1}{2} \\ = \% 50$$

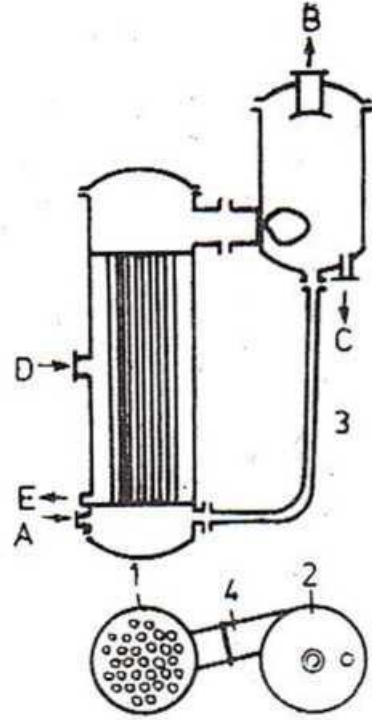
$$\text{Üç kademeli buharlaştırmada; } \frac{\text{Isıtma buharı miktarı}}{\text{Buharlaştırılacak su miktarı}} = \frac{1}{3} \\ = \% 33$$

10.2.1 Yükselme Borulu ve Geri Dönürlü Buharlaştırıcılar

Bu tip buharlaştırıcının çalışma prensibi Şekil 10.3'de Őematik olarak gösterilmiştir, işlenecek ürün kesintisiz olarak A'dan verilirken koyulaştırılmış ürün C'den ve artık buhar da B'den alınır.

Koyulaştırılacak ürün, 1 nolu ısıtıcı içinde ısınarak kaynamaya başlar. Bu sırada oluşan su buharı sayesinde ürün, ısıtıcı borularında yükselir. Buhar ve koyulaşmış ürün karışımı 2 nolu santrifüj ayırıcıya geçerek birbirinden ayrılır. Genel olarak, bu tip buharlaştırıcılarda ürünün buharlaştırıcıdan bir kez geçmesiyle istenilen koyulaşma sağlanamaz. Bu nedenle, ürün, 3 nolu geri dönüş borusundan tekrar buharlaştırıcıya girer.

istenilen koyulaşma sağlanana dek, ürünün buharlaştırıcıda ortalama kalma süresi oldukça uzundur. Öte yandan, ısı değiştirici tabanında sıvı halde biriken ürün, buharlaşma sıcaklığının artmasına da neden olmaktadır (İm ürün yüksekliğinin neden olduğu artış 10 °C).



- A İşlenecek ürün
- B Artık buhar
- C Koyulaşmış ürün
- D Isıtma buharı
- E Yoğuşmuş su
- 1 Isıtma elemanı
- 2 Santrifüj ayırıcı
- 3 Geri dönüş borusu
- 4 Karışım kanalı

Şekil 10.3. Ürünün otomatik olarak dolaştığı geri dönüşlü ve yükselme borulu buharlaştırıcı.

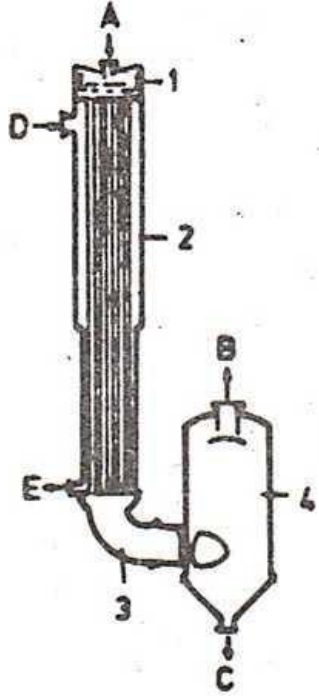
Bu nedenlerle, aşırı buharlaşma sıcaklığı ve uzun buharlaşma süresinin kaliteyi etkilediği ürünler için, bu tip koyulaştırma tesisleri uygun değildir.

10.2.2 Serbest Akışlı Buharlaştırıcılar

Bu buharlaştırıcılardaki ısı değiştirici bölmesi de borulu tiptir. Şekil 10.4'de verilen serbest akışlı buharlaştırıcıda A'dan giren işlenecek ürün, buharlaşma bölmesine dikey yönde serbest olarak akar. Isı değiştiricinin boru boyu 4 ... 8 m ve boru çapları da 20 ... 40 mm'dir.

Koyulaştırılacak rn, 1 nolu giriş bölmesinde düzgün bir Şekilde dağıtılır. Böylece, borulardan eşit miktarda akışkanın akması sağlanır. Dağıtma işi, ya bir elek, yada döner başlıklı plverizasyon memesiyle gerçekleştirilir.

Ürünün, ince film tabakası halinde aşağı doğru akma süresi içinde, buharlaşma miktarı giderek artar. Buhar ve koyulaşmış ürün, 4 nolu ayırıcıda birbirinden ayrılarak, B'den buhar ve C'den de koyulaşmış ürün alınır.



- A İşlenecek ürün
 B Artık buhar
 C Koyulaşmış ürün
 D Isıtma buharı
 E Yoğuşan su
 1 Giriş bölmesi
 2 Isıtma elemanı
 3 Karışım kanalı
 4 Ayırıcı

Şekil 10.4. Serbest akışlı buharlaştırıcı.

Bu tip buharlaştırıcılarda, maksimum buharlaşma hızı, buharlaştırıcı çıkışından önce oluşur. Bu hız, şu eşitlikten hesaplanabilir:

$$v_B = \frac{Q_B}{\pi \cdot d^2} = \frac{m_B \cdot V'}{\pi \cdot d^2} = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot k \cdot \Delta t \cdot V'}{\pi \cdot d^2 \cdot r}$$

$$= \frac{4 \cdot k \cdot \Delta t \cdot V' \cdot L}{r \cdot d}$$

Burada;

- v_B : Buharlaşma hızı, m/s,
 d : Boru çapı, m,
 L : Boru boyu, m,
 k : Toplam ısı geçiş katsayısı, W/m². K,
 r : Buharlaşma ısısı, j/kg,
 V' : Özgül buhar hacmi, m³/kg ve
 Δt : Isıtma ve kaynatma bölmeleri arasındaki sıcaklık farkıdır, K.

Serbest akışlı buharlaştırıcılara, ince katmanlı buharlaştırıcılar da denilmektedir. Bu tip buharlaştırıcılar, buharlaşma sıcaklığının tam ayarlanabilmesi ve buharlaşma süresinin kısa olması gibi avantajları nedeniyle gıda endüstrisinde özel yerleri vardır.

10.2.3 Yatay Borulu Buharlaştırıcılar

Bazı uygulama alanlarında, serbest akışlı buharlaştırıcının ısı değiştirici bölmesi dik konumda yerleştirilmeye uygun olmamaktadır. Bu durumlarda, yatay borulu ısı değiştiriciye sahip buharlaştırıcılar kullanılır. Bu tip buharlaştırıcıda alt ve üst seviyedeki borulardan eşit miktarda buharlaşma sağlanabilmesi için, buharlaştırıcı, üst seviyesine dek koyulaştırılacak ürün ile doldurulur.

Bu tip buharlaştırıcılarda, buharlaştırıcı çıkışındaki sıvı/buhar oranı serbest akışlı buharlaştırıcılardakinden büyüktür. Başka deyişle, buharlaştırma etkisi daha düşüktür.

10.2.4 Plakalı Buharlaştırıcılar

Ölçülerinin küçük olmasına karşın, büyük ısı değişim yüzeyine sahip olan plakalı buharlaştırıcıların yapısı, plakalı ısıtıcılara benzer. Bunlarda, ısıtma buharının geçtiği kesit alanı, yoğuşan suyun geçtiği kesit alanına göre daha büyüktür. Aynı şekilde, artık buhar ve yoğuşmuş ürünün geçtiği kanal kesitleri de, ısıtma buharıinkinden büyüktür.

Buharlaştırma iş akışında, artık buhar ve koyulaşan ürün, plakalı buharlaştırıcı yüzeylerinden, arka arkaya, bir kez yukarı bir kez aşağı doğru akar. Yukarı doğru akışlarda karşımdaki sıvı miktarı daha fazladır.

Plakalı buharlaştırıcılarda, iş verimi çok iyi ayarlanabilir. Ayrıca, temizlenmeleri kolaydır. Ancak, çok viskoz sıvıların koyulaştırılmasında uygun değillerdir.

10.2.5 Mekanik Dağıtma Düzenli Buharlaştırıcılar

Akma yeteneği düşük olan yüksek viskoziteli akışkanların koyulaştırılması için, akışkanın hareketi mekanik düzenlerle gerçekleştirilmek zorundadır. Döner hareketli mekanik dağıtma düzenine (rotor) sahip buharlaşma odasının dış yüzeyinden, ısıtma buharı geçmektedir. Isıtma buharının, rotor iç yüzeyinde dolaştırıldığı tipleri de vardır.

Bu tip buharlaştırıcılar, öteki tiplere göre daha pahalı olduklarından, ancak, ön koyulaştırmadan sonraki aşamalarda, daha koyu ürün elde edilmesi için kullanılırlar.

10.3 Buharlaştırıcı Isıtma Yüzey Alanı Büyüklüğü

Buharlaştırıcılarda ısıtma yüzey alanının büyüklüğü, öncelikle değiştirilen ısı miktarına bağlıdır.

Buharlaştırıcıda kaynama sıcaklığı t_k ise, S miktarındaki suyun buharlaştırılması için gerekli ısı;

$$S \cdot r = F \cdot k \cdot (t_b - t_k) \text{ olur.}$$

Eğer, ürün soğuk olarak buharlaştırıcıya giriyorsa, kaynama sıcaklığına dek ürüne verilmesi gereken ısı da; kadardır.

$$m_{\dot{u}} \cdot c_{\dot{u}} \cdot (t_k - t_0)$$

Bu durumda, suyun buharlaştırılması için gerekli ısıya, ürünün kaynama sıcaklığına dek ısıtılması için verilecek ısı da eklenerek, toplam ısı miktarı bulunur.

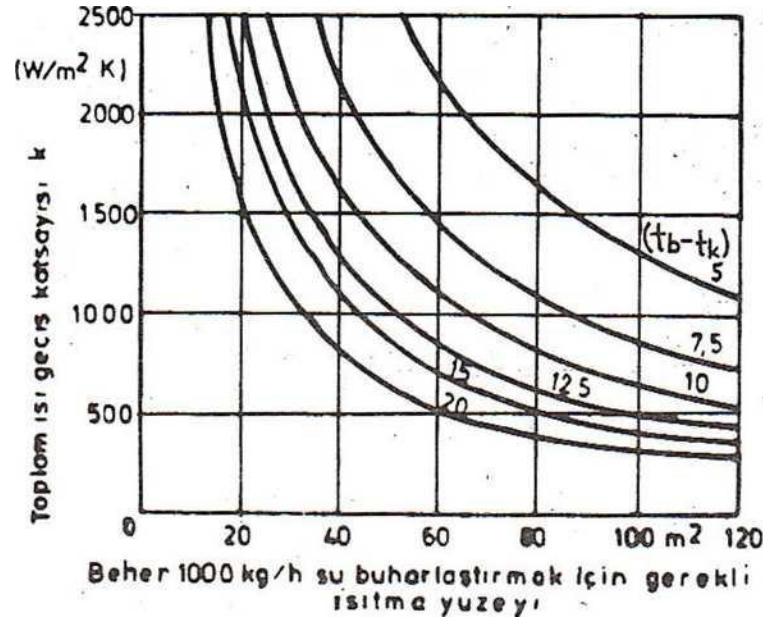
Toplam ısı miktarından gidilerek, ısıtma yüzey alanı ise şu eşitlikten hesaplanır:

$$F = \frac{S \cdot r + m_{\dot{u}} \cdot c_{\dot{u}} \cdot (t_k - t_0)}{k \cdot (t_b - t_k)}$$

Bu eşitlikte;

- F : Isıtma yüzey alanı, m²,
- S : Buharlaştırılacak su miktarı, kg/h,
- r : Buharlaştırma gizli ısısı, kJ/kg,
- m_ü : Koyulaştırılacak ürün miktarı, kg/h,
- c_ü : Ürünün özgül ısısı, kJ/kg. °C,
- t_k : Ürünün kaynama sıcaklığı, °C,
- t₀ : Ürünün ilk sıcaklığı, °C,
- k : Toplam ısı geçiş katsayısı, W/m². °C ve
- t_b : Isıtma buharı sıcaklığıdır, °C.

Eşitliğe göre, buharlaştırılacak su miktarından giderek; toplam ısı geçiş katsayısı, ısıtma buharı ve ürünün kaynama sıcaklıkları farkına bağlı buharlaştırıcı yüzey alanı saptanabilir. Şekil 10.5’de beher 1 000 kg /h suyun buharlaştırılmasında gerekli buharlaştırıcı yüzey alanı, grafik olarak verilmiştir. Ancak, grafik değerleri, ürünün buharlaştırıcıya kaynama sıcaklığında girdiği koşullarda geçerlidir. Yani, soğuk ürünün kaynama sıcaklığına dek ısıtılması için gerekli ısı miktarım içermemektedir.



Şekil 10.5. Beher 1 000 kg/h su buharlaştırmak için gerekli buharlaştırıcı yüzey alanı (ürünün buharlaştırıcıya kaynama sıcaklığında girdiği koşullarda geçerlidir).