

EVAPORASYON (BUHARLAŞTIRMA)

Konsantre ürünler elde etmek amacıyla fazla miktarda su içeren gıda maddelerindeki suyun uzaklaştırılmasında çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler;

- 1) Evaporasyon (sıvılar)
- 2) Dondurarak konsantre etme (sıvılara uygulanır %40-50 düzeyine kadar)
- 3) Ters ozmoz (sıvılara uygulanır. %10' dan düşük sıvılar)
- 4) Kurutma (hem sıvı hem katı) Çok enerji gerektirir. En yüksek konsantrasyon elde edilir.

Hangi yöntem tercih edilmelidir?

- 1) Söz konusu ürünün özellikleri
- 2) Ulaşılmak istenen konsantrasyon düzeyi
- 3) Mevcut enerji kaynakları
- 4) Maliyet gibi faktörler tarafından belirlenmektedir.

Evaporasyon en yaygın kullanılan yöntemdir. Evaporasyon sistemlerinde ulaşılmış gelişmeler bu yöntemi hem ekonomik hem de diğer açılardan üstün hale getirmiştir. Evaporasyonla sıvı gıdaların çok düzeylere kadar konsantre edilmesi mümkündür. Buharlaştırma genellikle seyreltik sıvı gıdalardan konsantre sıvı ürünlerin elde edilmesi için uzaklaştırılması amacıyla uygulanan temel işlemdir. Uçucu bir sıvının katı maddeden buharlaştırma ile ayrılması işlemine evaporasyon denir. Temel amaç, çözücünün çözeltiden kaynama işlemi ile buhar olarak ayrılması ve bunun sonucunda katı konsantrasyonunun artırılmasıdır. Bu işlemde kaynamakta olan bir sıvı çözeltiden buhar uzaklaştırılır ve geriye daha derişik bir çözelti kalır. Normalde sıvı halde bulunan fakat konsantre veya tamamen kuru bir ürüne dönüştürülmüş olan gıdaların üretiminin bir aşamasında çoğu kez buharlaşma uygulanmaktadır. Evaporasyonda, buharlaştırılacak olan sıvı, sıvının bulunduğu koşullara (basınca) bağlı olarak önce kaynama derecesine kadar ısıtılır sonra da bu derecede buharlaşmasını sağlayacak olan “buharlaşma gizli ısı” verilir. Buharlaşma gizli ısı kaynama derecesine, kaynama derecesi de basınca bağlıdır.

- 1) Süt tozu üretimi (Belli düzeye kadar konsantre etme (Evaporasyon) → sonra kurutma (Sprey kurutma))
- 2) Meyve suları (Konsantre Etme (evaporasyon))
- 3) Reçel ve marmelat (Konsantre Etme, (evaporasyon))
- 4) Şeker üretimi (Konsantre Etme) (evaporasyon)
- 5) Malt ve glikoz şurupları (evaporasyon)
- 6) Sebze pulpları (evaporasyon)
- 7) Domates salçası, domates püresi (evaporasyon)
- 8) Sütün yoğurta işlenmeden önce konsantre hale getirilmesi (evaporasyon)
- 9) Herhangi bir sıvının buharlaştırılması için ısıya gereksinim vardır. Evaporasyon işleminde önemli olan, önce bu ısının sağlanmasıdır.
- 10) Güneş enerjisinin sağladığı ısıdan yararlanarak yalnızca tuz eldesi için kullanılan yöntem (doğal evaporasyon) bugün dahi uygulanır.

Evaporasyonun (konsantre etme) Amaçları

- 1) Raf ömrünü artırmak
- 2) Stabil hale getirmek
- 3) Depolama kolaylığı
- 4) Taşıma kolaylığı
- 5) Kıvam sağlamak
- 6) Kurutmayı kolaylaştırmak

- 7) Su aktivitesi deęerini dūřūrmeđ
- 8) Mikrobiyolojik bozulmaları engellemek
- 9) Kristalize etmek
- 10) Ürün hacminin azaltılması
- 11) Kurutmayı kolaylaştırmak (ön işlemi gibi)

Evaporasyon ile elde edilen avantajlar ve evaporasyonun etkileri

Ürünün işlenmesi için gerekli olan enerjiden ekonomi sağlanır.

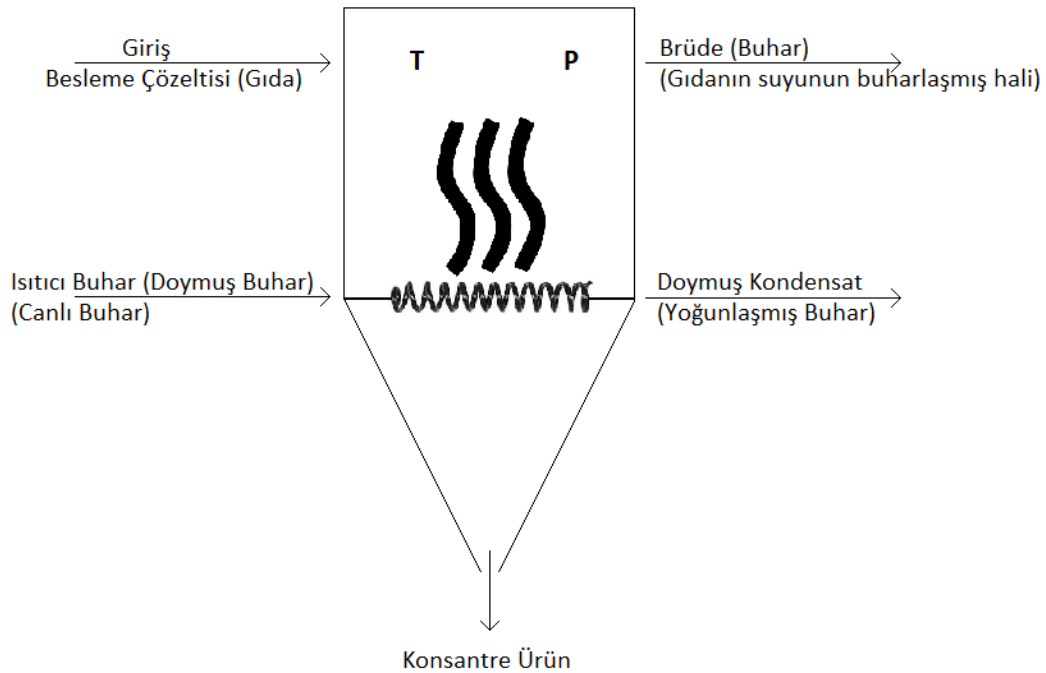
Taşıma, depolama ve ambalajlama maliyetlerini azaltır.

Kuru maddeyi arttırarak su aktivitesini dūřürür.

Üründeki tat-koku ve renk özelliklerini değiştirir ve

Üretimde istenilen bazı teknik ve teknolojik özelliklere örneğin, ürüne mikrobiyolojik yönden bozulmayan bir nitelik kazandırmak gibi sonuçlara ulaşmayı sağlar.

Evaporasyon, basit tanımı ile yapıdaki suyun kısmi uçurulmasıdır. Buharlaştırma kurutmadan farklıdır. Çünkü buharlaştırma işleminde son ürün sıvı fazda kalır. Buharlaştırma aynı zamanda damıtmadan da farklıdır. Çünkü buharlaştırmadan elde edilen buhar sudan oluşur ve fraksiyonlarına daha fazla ayırlamaz. Sistemde kaynama olabilmesi için buhar basıncının dış basınca eşit olması gerekir.



Eğer sistemde suya dışarıdan yeterli düzeyde bir ısı transferi sağlanarak soğuma engellenir ve sıcaklık sabit tutulursa buharlaşmanın aynı hızda ve kesintisiz olarak devam etmesi sağlanabilir. Bunun için iki şart vardır:

- 1) Brüdenin (sistemi terk eden buharın) sürekli olarak uzaklaştırılması
- 2) Sıvı gıdaya sürekli olarak buharlaşma gizli ısısının aktarılmasıdır.

Gıdanın özelliklerini korumak amacıyla evaporasyon işleminin dūřük sıcaklıklarda yapılması gerekmektedir. Bunu sağlamak için evaporasyon vakum altında yapılmalıdır.

Doymuş buhar; Doygunluk sıcaklığındaki (yoğunlaşma sınışındaki) buhara denir. Su içermeyen veya çok çok az su içeren buhara denir.

$$Su \rightarrow 1 \text{ atm (760 mmHg veya 101,325 kPa)}$$

100°C de kaynar \rightarrow Buharlaşma gizli ısı 2257 kJ/kg (buharlaşması için alması gereken ısı)

$$Su \rightarrow 20\text{mmHg (2,57 kPa)}$$

22,5°C de kaynar \rightarrow Buharlaşma gizli ısı 2448 kJ/kg (buharlaşması için alması gereken ısı)

****Sıvıların buharlaşma gizli ısıları da kaynama derecesine bağlı olarak değişmekte, kaynama derecesi düştükçe buharlaşma gizli ısı yükselmektedir.

Buharlaşma (evaporasyon) ile ilgili bazı tanımlar

Evaporatör: Seyretilik bir sıvının buharlaştırma yolu ile daha yoğun bir ürüne (konsantre)dönüştürüldüğü cihaz yada sisteme evaporatör denir. Gıda sanayinde yüksek vakumlu evaporatörler kullanılır.

Etki: Bir evaporatör sisteminde oluşan brüdeden (buhar) sistemin diğer bir ünitesinde ısıtma amacıyla yararlanılması bir etki olarak anılmaktadır. Etki aynı basınçta çalışan bir evaporatör ünitesini tanımlayan bir terimdir.

Brüde; Evaporasyonla konsantre edilen sıvıdan ayrılan buharı (vapor) tanımlayan kelime brüde' dir. Evaporatörlerde buharlaşma sonucu oluşan buhar brüde olarak anılmaktadır. Yoğuşan brüde tek bir öge, yoğuşan ve yoğuşmayan öğelerden oluşan bir karışım, iki ya da daha çok yoğuşan öğelerden oluşan bir karışım olabilir. Örneğin, meyve sularının evaporasyonu sırasında üründen uzaklaştırılan brüdenin içinde meyveye özgü aroma öğeleri vardır. Bunlar çeşitli alkoller, aldehytler, ketonlar, esterler ve asitlerden oluşan kolaylıkla uçucu öğelerdir. Bu nedenle, evaporasyondan önce kondensasyon yöntemi ile üründen ayrılmaları gerekir.

Aşama: Konsantre edilmekte olan sıvının geçtiği evaporatör sırasını tanımlayan bir terimdir. Aşama sayısı ile etki sayısı aynı olmak zorunda değildir. Ama etki=aşama olarak kullanılmaktadır.

Çok etkili evaporatör: Bir etkide oluşan brüdenin kaynamanın daha düşük sıcaklıkta gerçekleştiği bir sonraki etkide ısıtma amacıyla kullanıldığı evaporatör sistemlerine denir. İki etkili, üç etkili ve hatta 5 – 6 etkili sistemler bulunmaktadır.

Evaporatör kapasitesi: Genellikle saatte buharlaştırılan suyun kg olarak miktarıdır (kg su/saat). Birim zamanda buharlaşan su miktarı daima sabit bir değer olduğu için bu birim daha doğrudur.

Besleme: Konsantre edilmek amacıyla evaporatöre alınan seyreltik sıvı besleme olarak anılır. Çözelti (besleme) berrak meyve suyu, Süspansiyon (besleme) domates pulpu katı parçacıklarını taşıyan)

Evaporatör Üniteleri

1. Isı değiştirici
2. Seperator
3. Vakum Ünitesi (kondensatör)

1. Isı değiştirici; enerji kaynağı olarak kullanılan buhardan gıdaya ısı tarnsferini sağlayan ünitelerdir. Genellikle borusal (tubuler) ve fakat aynı zamanda plakalı tipte olabilmektedir. Bazen kalondria olarakta bilinir

2. Seperatör; Buhar ile sıvının birbirinden ayrıldığı ünitelerdir. Isınmış seyreltik sıvı gıda, vakumun hakim olduğu separatöre boşalınca, uygun koşullarla karşılaştığından birden bire buharlaşır (flashing) ve buhar sıvıdan ayrılır. Buhar kondensatöre yönelir ve orada yoğunlaştırılır. Seperatör aynı zamanda, kaynama hücresi (flashing chamber) veya brüde hücresi gibi isimlerle anılmaktadır.

Vakum ünitesi; Evaporatörlerde ısıtma, ilke olarak buhar üreticisinden (buhar kazanı) sağlanan buharın kondensasyonu ile sağlanmaktadır. Buhar üreticisinden sağlanan doymuş buhar (steam) diğer buhar türüyle (vapor) karıştırlmaması için canlı buhar olarak adlandırılmıştır. Isıtma ünitesinde yoğunlaşarak ısısını serbest bırakan buhar, sistemi çoğu kez doymuş sıvı niteliklerinde terk eder. Bu sıvıya kondensat denir.

Gıda endüstrisinde, koyulaştırılmak ya da kurutulmak istenen ürünlerin yapılarındaki suyun belirli bir miktarını yapıdan buharlaştırarak (evaporasyon) çıkarmak büyük önem taşır. Buharları, buharlaşma gizli ısılarını alarak yoğuşturan ve sıvı haline getiren makina veya düzene kondensör (yoğuşturucu) denir.

Evaporasyonda Karşılaşılan Sorunlar

1) Meyve sularının aroma bileşikleri sudan daha uçucu olduğu için ısıtma yüzeyinde ince bir katman oluşturulabilir. Bu katman ısı transferini engeller, yanar ve kopan parçalar zamanla konsantreye karışır. Domates salçası üretiminde bu tür olumsuzluklar çok görülür.

2) Kristalizasyon oluşması. Üzüm sularının konsantre edilmesinde tartarat kristalizasyonunun oluşması. şeker üretiminde ise kristalizasyon oluşması zaten temel amaçtır ve istenen durumdur.

3) Aşırı köpük oluşması: Proteince zengin gıdalarda gerçekteşir. Bu durum bazen ürünün tümünün brüdenin izlediği yol ile sistemin terk edebilirliği ile karşılaşılabılır. Genellikle süt gibi ürünlerde sorun oluşturur. Yapılması gereken işlem karışırma ile köpük oluşumunun azaltılmasıdır.

Buhar Ekonomisi: Evaporasyonda tüketilen birim buhar miktarına karşın konsantre edilen sıvıdan buharlaştırılarak uzaklaştırılan su miktarı (kg su/kg buhar) olarak tanımlanmaktadır. Bu değer ne kadar yüksekse evaporatör o kadar ekonomik çalışıyor demektir.

Vakum evaporatörlerde 0,75 – 0,95 kg su/kg buhar

Tek etkili evaporatörlerde 0,75 – 0,95 kg su/kg buhar

Çok etkili evaporatörlerde 3 – 6 kg su/kg buhar

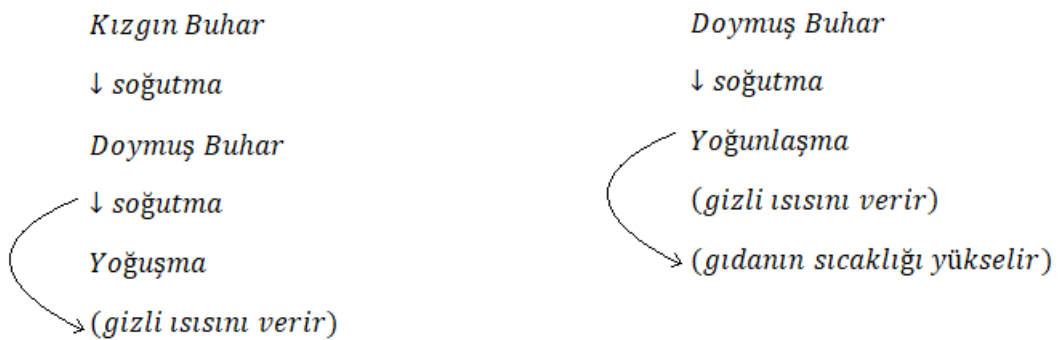
Evaporatör sıvı dolum hacmi; Bir evaporatör sisteminde aynı anda sistem içinde bulunan sıvı ürünün toplam hacmi sıvı dolum hacmi olarak tanımlanır. Kapasitesi birbirine eşit olan iki evaporatörden sıvı dolum hacmi düşük olanın daha üstün nitelikte bir sistem olduğu kabul edilir. Sıvı dolum hacmi daha düşük olanda konsantrasyon daha kısa sürede gerçekteşerek, ısınn ürün üzerindeki olumsuz etkisi sınırlı kalmaktadır.

Evaporasyon işlemini Etkileyen Faktörler

Konsantre edilecek çözeltinin ve uçurulan çözünün fiziksel ve kimyasal özellikleri evaporatör seçimini ve evaporatörün çalışma şartlarını önemli oranda etkiler.

- 1) **Konsantrasyon;** bir çok sıvı gıda maddesinin ısısal ve reolojik özellikleri sıcaklık ve katı madde miktarı ile değişir. Genellikle başlangıçta evaporatöre giren sıvı çözelti seyreltiktir. Bundan dolayı viskozitesi düşüktür ve ısı transfer katsayısı yüksek olur. Evaporasyon işlemi ilerledikçe çözelti daha konsantre hale gelir, viskozitesi artar ve ısı transfer katsayısı düşer. (Cp yüksekse enerji miktarı fazla). Katsayının çok düşük olmasını önlemek için yeterince dolaşım ve/veya türbülans olmalıdır.
- 2) **Çözünürlük;** Çözelti ısıtıldıkça konsantrasyon artar ve maddenin çözünürlük limiti (sınırı) aşılabılır ve böylece kristal oluşabilir. Bu durum evaporasyon işleminden elde edilebilecek maximum konsantrasyonu belirler. Çoğu durumlarda tuzların çözünürlüğü sıcaklıkla artar. Bu bir buharlaştırıcıdan alınan sıcak ve derişik bir çözelti oda sıcaklığına soğutulduğu zaman kristallenmenin meydana gelebileceği anlamına gelir.
- 3) **Gıdanın sıcaklığa karşı duyarlılığı;** Çoğu gıda yüksek sıcaklıklarda ve uzun süre ısıtma ile bozulabilir. Aromalar, vitaminler, renk maddeleri sıcaklığa hassastır. Optimum sıcaklık ve sürenin belirlenmesi gerekir. HTST-(yüksek sıcaklık kısa zaman) Mümkün olduğu kadar bu işlem uygulanır.
- 4) **Köpük oluşturma;** Bazı gıda maddeleri özellikle protein ve yağ asitleri içeren gıdalar buharlaştırma sırasında ve karıştırma sırasında köpük oluşturur. Bu oluşan köpüklerde buharlaştırma sırasında buhar ile dışarı atılmaktadır. Bu durum besin maddelerinin kaybına sebep olmaktadır. Eğer mümkünse köpük önleyici maddeler kullanılabilir. Sütte köpüğe neden olan proteinlerdir.
- 5) **Tortu oluşumu ve Materyal aşınması;** Isıtma sırasında yüzeyde tortu oluşabilir. Bu durum ısı transfer katsayısını düşürür. Bunun sonucunda enerji kaybı yaşanır. Isı transfer katsayısı düşer. Bunu önlemek amacıyla evaporatörün düzenli olarak temizlenmesi gerekir. Malzeme korozyona dayanıklı olmalıdır.
- 6) **Basınç ve Sıcaklık;** Çözeltinin kaynama noktası sistemin basıncına bağlıdır. Buharlaştırıcının çalışma basıncı yükseldikçe kaynama sıcaklığı da yükselir. Derişim arttıkça kaynama noktası yükselir. Sıcaklığa hassas gıdalar için, 1 atm ' nin altında çalışmak gerekir. Konsantrasyon sıvı gıdalarda artarsa kaynama noktası yükselmesi oluşur. Tahmin edilmesi zordur. Donam noktası düşer. Genelde yaygın olan durum, kaynama noktasının tahmin edilmesidir. **Dühring kuralı;** Aynı basınç altında çözeltinin kaynama noktası sıcaklığı ile suyun kaynama noktası sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki vardır.

Kızgın Buhar: Eğer doymuş buhar sabit basınçta ısıtılırsa kızgın buhar elde edilir. Entalpisi aynı basınçtaki doymuş buharın entalpisinden daha yüksek olan buhardır. Aynı zamanda sıcaklığı kaynama noktasından buhardır. Kızgın buhar etkin bir ısıtma aracı değildir. Evaporatörlerde ve ısı değıştircilerde kızgın buhar kullanılamaz. Kızgın buhardan ısı uzaklaştırılınca buharın sıcaklığı önce kaynama noktasına düşer. Daha sonra yoğunlaşma başlar ve tümüyle yoğunlaşana kadar sabit sıcaklıkta kalır.



İnterpolasyon Nasıl yapılır.

$$60^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Entalpi} = 2240$$

$$65^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Entalpi} = ?$$

$$70^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{Entalpi} = 2460$$

$$\frac{(\text{ilk değişken}) - (\text{son değişken})}{(\text{ara değişken} - (\text{son değişken}))} = \frac{(\text{ilk değer}) - (\text{son değer})}{(\text{ara değer}) - (\text{son değer})}$$

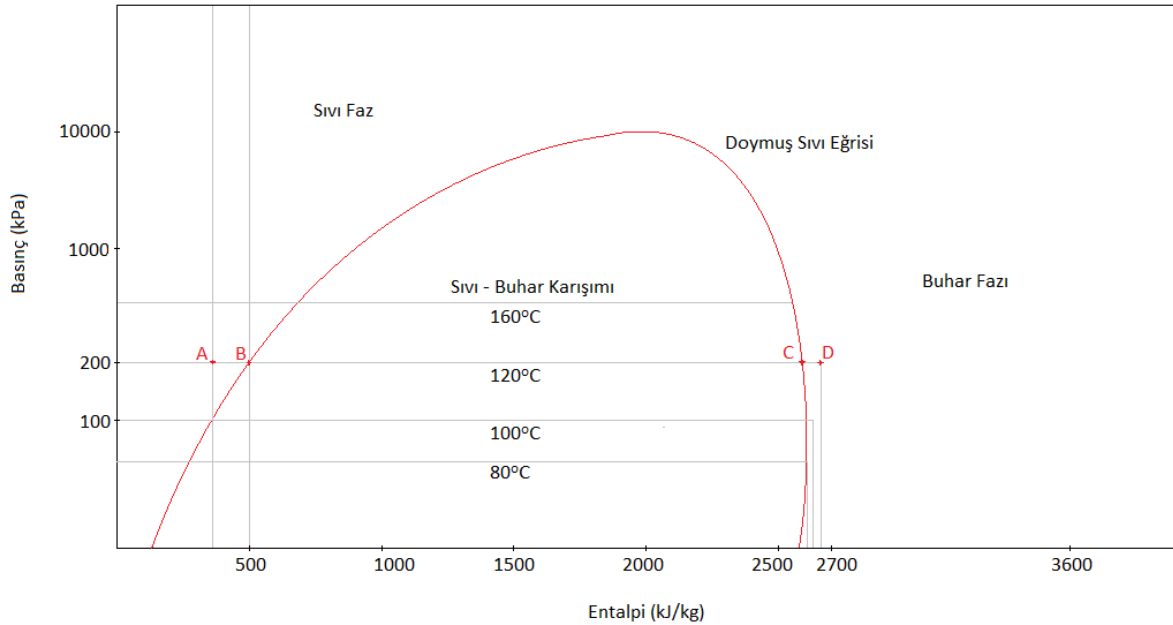
$$\frac{60 - 70}{65 - 70} = \frac{2240 - 2460}{x - 2460}$$

$$x = 2350$$

Not: Bu buhar (kızgın buhar) çeşidi gıda sanayisinde meyve ve sebzelerin kabuklarının soyulmasında da kullanılmaktadır.

BUHAR ÜRETİMİ

Isının taşınmasında en iyi araç olması nedeniyle gıda endüstrisinde değişik proseslerde gereksinim duyulan ısı çoğunlukla buharla karşılanmaktadır. Evaporatörlerin ısı değiştirme ünitelerinde daima buhar kullanılması nedeniyle buhar, evaporasyonun temel bir aracı olarak görülür. Buhar ısı değiştiricilerde yoğunlaşarak gizli ısını serbest bırakmakta ve ısınma bu yolla sağlanmaktadır. Buhar, sıvı fazdaki suya ısı yüklemesi sonucunda suyun faz değiştirmesiyle oluşmaktadır. Bu oluşum katı, sıvı veya gaz yakıttan yararlanılarak buhar jeneratörlerinde yani, buhar kazanlarında gerçekleştirilir. Su doymuş sıvı konumundayken, suyun buhar basıncı ile üzerindeki buharın basıncı birbirine eşittir. Tam bu konumdaki su kaynama noktasına erişmiş demektir.



Katı, sıvı veya gaz yakıttan yararlanılarak buhar jeneratörlerinde yani buhar kazanlarında doymuş buhar üretilerek ısı değiştiricilere verilerek buhara gıdayla karşılaşan doymuş buhar yoğunlaşma gizli ısını serbest bırakmakta ve seyreltik konsantrasyonda sıcaklığı düşük olan gıda maddesi bu şekilde ısınmaktadır.

A Noktası

$$Su\ Fazı\ (sıvı) \left\{ \begin{array}{l} Sıcaklık \rightarrow 80^{\circ}C \\ Basınç \rightarrow 200\ kPa \\ Entalpi \rightarrow 335\ kJ/kg \end{array} \right.$$

A noktasında basınç sabit tutularak bir miktar ısı transfer edilirse B noktasına ulaşılır.

B Noktası

$$Sıvı - Buhar\ Karışımı \left\{ \begin{array}{l} Sıcaklık \rightarrow 120^{\circ}C \\ Basınç \rightarrow 200\ kPa \\ Entalpi \rightarrow 500\ kJ/kg \end{array} \right.$$

B noktasında suyun buhar fazına dönüşmeye başladığı görülür. Bu noktada sıvı doymuş su formundadır (kendi buharı ile denge halinde bulunan su). Bu durumda suyun buhar basıncı ile üzerindeki buharın basıncı birbirine eşittir.

Bu noktadaki suya ısı transferi yapılırsa sıcaklığı değişmez ($120^{\circ}C$) sabit kalır ve fakat suyun buhar fazına dönüşmeye başladığı görülür. Transfer edilen ısı suyun faz değiştirmesine harcanmıştır. Bu ısıya buharlaşma gizli ısı denir. Suyu ısı transfer edildikçe faz değişimi aynı basınç ve sıcaklıkta devam eder ve buhar fazına dönüşen su oranı gittikçe artar. Nihayet doymuş buhar çizgisi üzerindeki C noktasına ulaşıncaya suyun tamamı yani %100 buhar fazına dönüşmüştür. Su bu noktada doymuş buhar niteliği kazanmıştır.

C Noktası (doymuş Buhar)

$$Doymuş\ Buhar \left\{ \begin{array}{l} Sıcaklık \rightarrow 120^{\circ}C \\ Basınç \rightarrow 200\ kPa \\ Entalpi \rightarrow 2706\ kJ/kg \end{array} \right.$$

Bu noktada doymuş buhar likit su ile denge halinde bulunan buhardır. Bu koşullar her basınçta ve buna eşdeğer olan kaynama sıcaklığında gerçekleşir.

B – C Arası (sıvı + buhar karışımı)

Buhar kazanlarındaki buhar üretiminde gerçekleşen değişimi temsil etmektedir. Bu aralıkta doymuş sıvı ve buhar karışım halinde bulunur.

Evaporatörlerde ve ısı değiştiricilerde daima doymuş buhar kullanılır. Ancak amaca bağlı olarak kullanılacak buharın sıcaklık ve basıncı değişebilir.

$120^{\circ}C - 200\ kPa$

$80^{\circ}C - 47,4\ kPa$

$125^{\circ}C - 232\ kPa$ buhar kullanılabilir.

Herhangi bir nitelikteki doymuş buharın eğer basıncı sabit tutulurken sıcaklığında hafif bir düşme gerçekleşirse derhal yoğunlaşmaya başlar ve buharın oluşması sırasında kazandığı buharlaşma gizli ısını bu defa yoğunlaşma gizli ısı olarak serbest bırakır. **İşte buharla yapılan ısıtma serbest alan bu yoğunlaşma gizli ısı ile sağlanır.** C noktası koşullarındaki doymuş buhar ısıtma amacıyla bir evaporatörde kullanılırken ısı transfer duvarının diğer tarafındaki daha soğuk materyal nedeniyle sıcaklığı bir miktar düşünce derhal yoğunlaşmaya başlar ve serbest kalan gizli ısı aradaki duvarı aşarak duvarın öbür tarafındaki soğuk gıda maddesini ısıtır. Bu olay C noktasından B noktasına kadar yani buharın tümü yoğunlaşana kadar sabit basınç ve sıcaklıkta devam eder. Bu süreçte $2706 - 504 = 2202\ kJ/kg$ ısı serbest kalır.

B noktasındaki buhar tekrar başlangıçtaki doymuş sıvı konumuna geçer. Artık bu sıvı kondensat olarak isimlendirilir. B – C arasında sıvı-buhar karışımı vardır. B’ den C’ye doğru buhar oranı gittikçe artar. Tersinde de sıvı artar. Yüzde olarak ifade edilen bu orana buhar kalitesi denir. Örneğin %50 kalitede buharın yarısı doymuş sıvıdan, geri kalan yarısıda doymuş buhardan oluşur. Isı değiştiricilerde %100 buhar yani doymuş buhar kullanılır. Çünkü doymuş buhar entalpisi en yüksek buhardır. Tüm sıvılar içinde su en fazla buharlaşma ısıasına sahip olanıdır. Su molekülleri katı solüsyondan ya da kolayca buharlaşamayan sıvıdan buhar olarak ayrılabilme için yeterli enerjiyi elde ettiklerinde evaporasyon oluşur

D Noktası

C noktasında 120°C ’ den sonra D noktasında da buhar bulunması söz konusudur. Eğer doymuş buhar sabit basınçta ısıtılırsa kızgın buhar elde edilir. Kızgın buharın entalpisi aynı basınçtaki doymuş buharın entalpisinden daha yüksek olan buhar olarak tarif edilmektedir. Yani sıcaklığı kaynama noktasından daha yüksek olan buhar kızgın buhar olarak anılır. Kızgın buhardan ısı uzaklaştırılınca önce kaynama noktasına düşer. Daha sonra yoğunlaşma başlar ve tümüyle yoğunlaşana kadar sıcaklığı sabit kalır. Bu nedenle kızgın buhar etkin bir ısıtma aracı değildir.

A noktası--- 80°C ’ de -----200kPa basınç----335 kJ/kg (doymuş sıvı (su))

B noktası---- 120°C ’ de (kaynama noktası sıcaklığı)----200kPa basınç----504 kJ/kg (Kaynama noktasında doymuş sıvı)

C noktası--- 120°C ’de (kaynama noktası sıcaklığı)---200kPa basınç---2706kJ/kg (doymuş buhar)

D noktası $T > 120^{\circ}\text{C}$ ’ de (kaynama noktası sıcaklığı)-----200kPa (kızgın buhar)

B—C arası---- buhar üretim aralığı (sıcaklık basınç sabit, Entalpi farklı)

Doymuş buhar tablosundan kullanımı

Aşağıdaki özelliklerin en iyi bu tablodan okumak gerekir. Sıcaklık, basınç, doymuş sıvının entalpisi, doymuş buharın entalpisi ve buharlaşma gizli ısı gibi değerler okunabilir. Ayrıca özgül hacim (m^3/kg) ve entropi değeri ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$) de okunabilir. Doymuş buhar tablolarında %100’ den daha düşük kalitedeki herhangi bir buharın entalpisini doğrudan bulmak mümkün olmayıp, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$H_b = H_c + X_b (H_g - H_c)$$

H_b = %100 buhardan daha küçük kalitedeki buharın entalpisi (kJ/kg)

H_c = Doymuş sıvının entalpisi (kJ/kg)

H_g = Doymuş buharın entalpisi (kJ/kg)

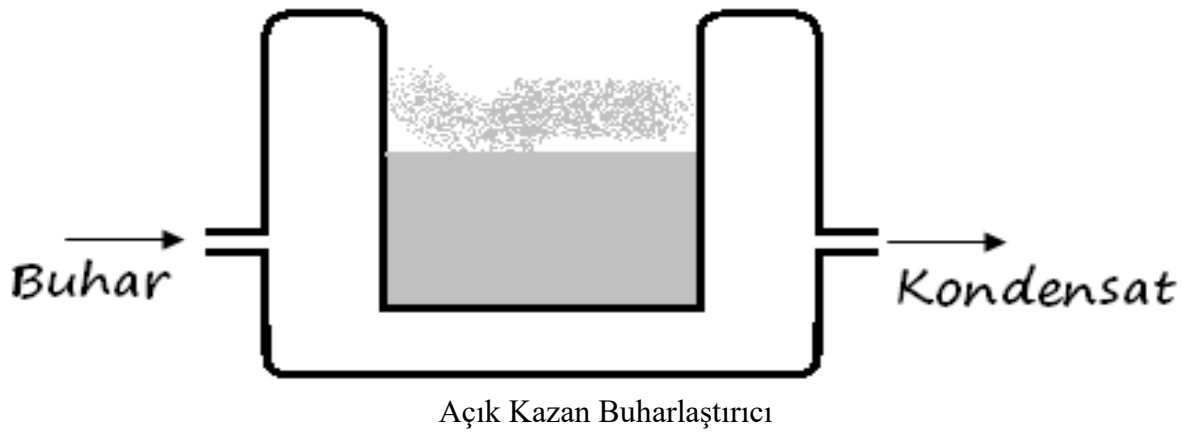
X_b = Buharın Kalitesi (%)

Evaporatör Çeşitleri

- 1) Açık kazan
- 2) Yatay tüplü doğal dolaşım
- 3) Dikey tüplü doğal dolaşım
- 4) Uzun tüplü dikey tip
- 5) Düşen film tipi
- 6) Zorlanmış dolaşım tipi
- 7) Çalkalamalı film tipi

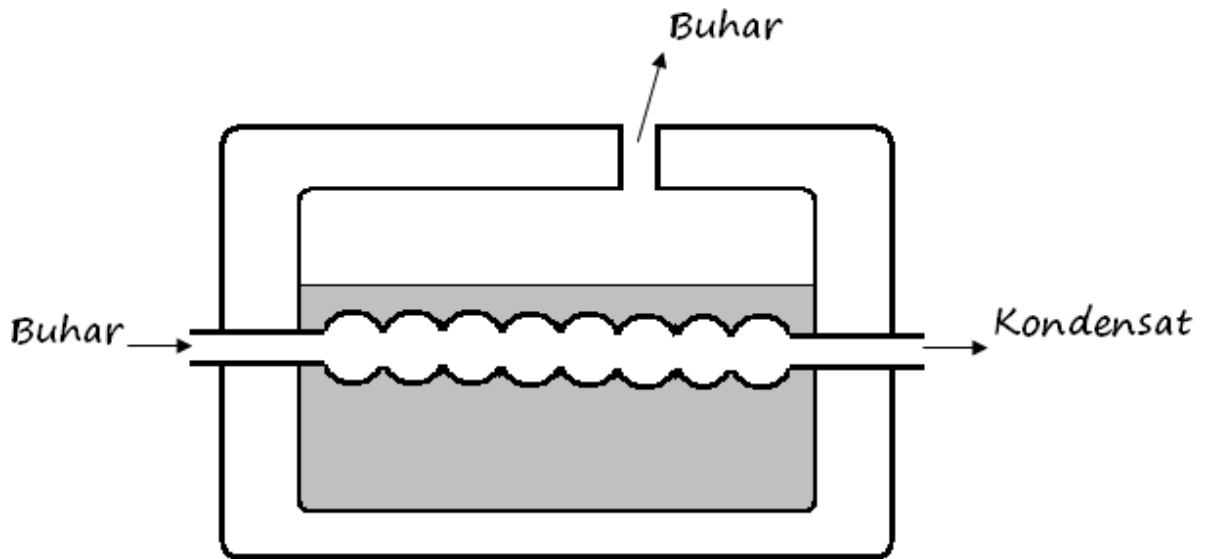
Açık kazan Buharlaştırıcılar

Evaporatörlerin en basiti ve ucuz olanı doğal sirkülasyonlu, atmosfere açık kazanlardır. Başka bir evaporatörde ceketli bir ısıtıcı bulunmaktadır. Ürünün ısıtılması ya da kaynatılması amacıyla kullanılan bu evaporatörler çok yaygındır. En basit yapılı buharlaştırıcılardır. İçerisinde sıvının kaynatıldığı açık kazandır. Bu tip buharlaştırıcılarda ısı, buhar ceketisi yardımıyla veya çift cidar ile veya buhar boruları yardımıyla uygulanır. Kazanda karıştırmayı sağlamak üzere kazıyıcılar veya paletler bulunabilir. Yatırım harcamaları düşüktür. Ancak buhar tasarrufu az olduğunda işletme harcamaları yüksektir. Buhar ceketli açık evaporatörler marmelat yapımında ve bazı meyve sularının konsantrasyonun da kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve uzun süreli konsantrasyon ürünün yapısında bozulmalara neden olur. Ayrıca, ürünün kalınlaşması ve kazan iç yüzeyinde yapışması ısı aktarımını yavaşlatmakta ve konsantrasyonu geciktirmektedir. Ceketli evaporatörler sakıncalarına rağmen yaygın olmamakla beraber bazı meyve sularının konsantrasyonunda, şeker karamelizasyonu ile renk eldesinde ve tipik aroma oluşturulması istenen durumlarda halen kullanılmaktadır.



Yatay tüplü buharlaştırıcılar

Yatay tüplü buharlaştırıcılarda açık kazanın üstü diket silindir oluşturacak şekilde kapatılmıştır. Isıtıcı tüpler bu silindirin alt kısmında veya sıvı içerisine dalmış vaziyettedir. Bu tip buharlaştırıcılarda sıvı sirkülasyonu oldukça yavaştır. Açık kazan tipi buharlaştırıcıların biraz daha geliştirilmiş şeklidir.



Dikey tüplü buharlaştırıcılarda dikey tüpler kullanılarak ısınan sıvının doğal olarak sirkülasyonundan yararlanılır. Dikey tüplerde yatay tüplere göre daha iyi bir ısı iletimi sağlanır. Sıvı 5-8 m çapındaki dikey tüpler içerisinde yükselir. Tüp; tüp demetinin üst ucunda kaynar ve orta tüpten aşağı giderek yeniden sirkülasyona gider. Sıvı; hidrostatik bir düzen yardımıyla geri döndürülerek tüplerin üzerinde fazla kaynama oluşması önlenir. Tüplerin uzunluğunun çapına oranı; 15/1'dir. Bu tip buharlaştırıcılar kesikli çalışır.

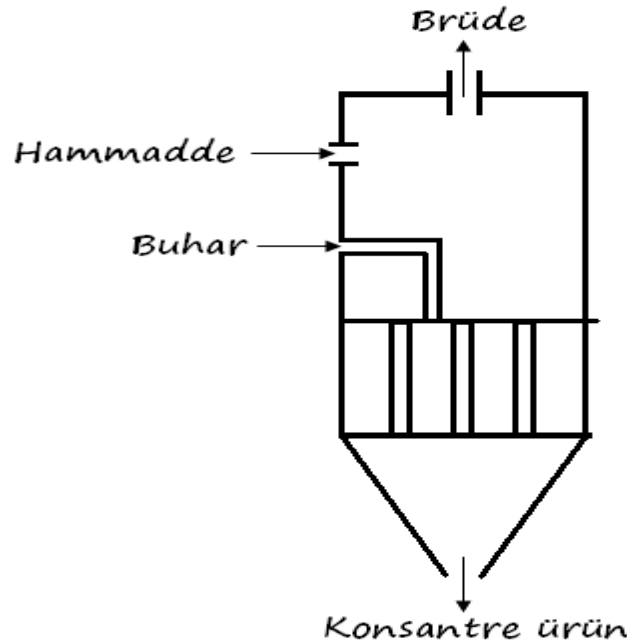
Uzun tüplü buharlaştırıcılar

Bu tip buharlaştırıcılarda kullanılan tüpler uzundur. Uzunluğun çapa oranı 100/1 civarındadır. Bunlarda da tüpler dikine olarak buhar gömleğinin içerisinde geçer.

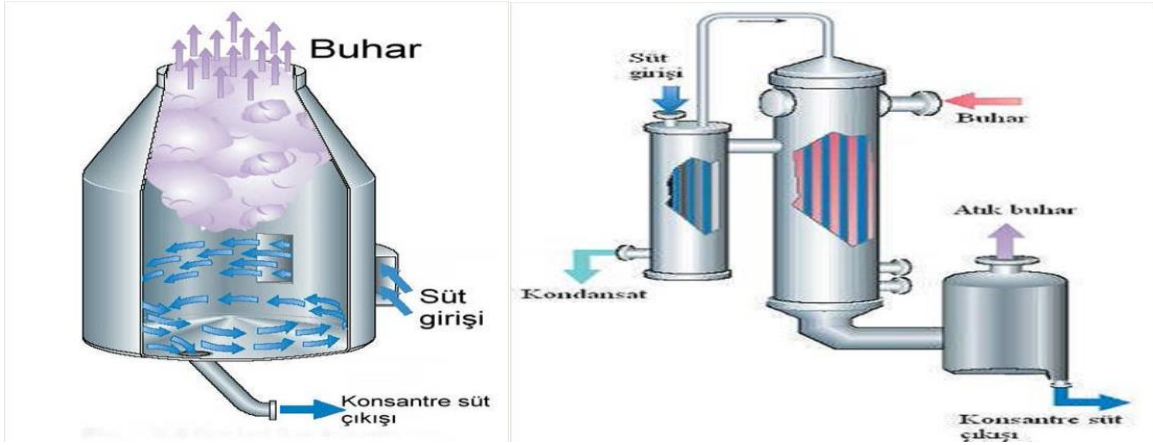
Buharlaştırılacak eriyik; tüplerde yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere geçerse bu buharlaştırıcıya **düşen (inen) film tipi buharlaştırıcı** denir. Eriyik, buharlaşan sıvı tarafından aşağıdan yukarıya doğru taşınırsa bu buharlaştırıcıya **yükselen (tırmanan) film tipi buharlaştırıcı** denir.

Buharlaşma; tüplerin duvarlarında oluşur. Çünkü dolaşım hızı yüksektir ve yüzeylerdeki film tabakası incedir. Bu tip buharlaştırıcılarda ısı iletim hızı yüksek ve ısıtma süresi kısa olduğundan ısıya duyarlı hammaddelerin koyulaştırılmasında iyi sonuç verir. Sıvı genellikle tekrar dolaşıma bırakılmaz. Eğer bir geçişte yeterli buharlaştırma sağlanamazsa sıvı yeniden bir geçişe tabi tutulur.

Yükselen film tipi buharlaştırıcılarda sıvı kaynadığında tüpün iç tarafında buhar kürecikleri oluşur ve buhar kaynamakta olan koyulaşmış sıvıyı yukarı doğru sürükler. Tüpler 2-5 cm çapında olup, sıvının kalış süresi 5-10 saniye gibi kısa bir süredir.

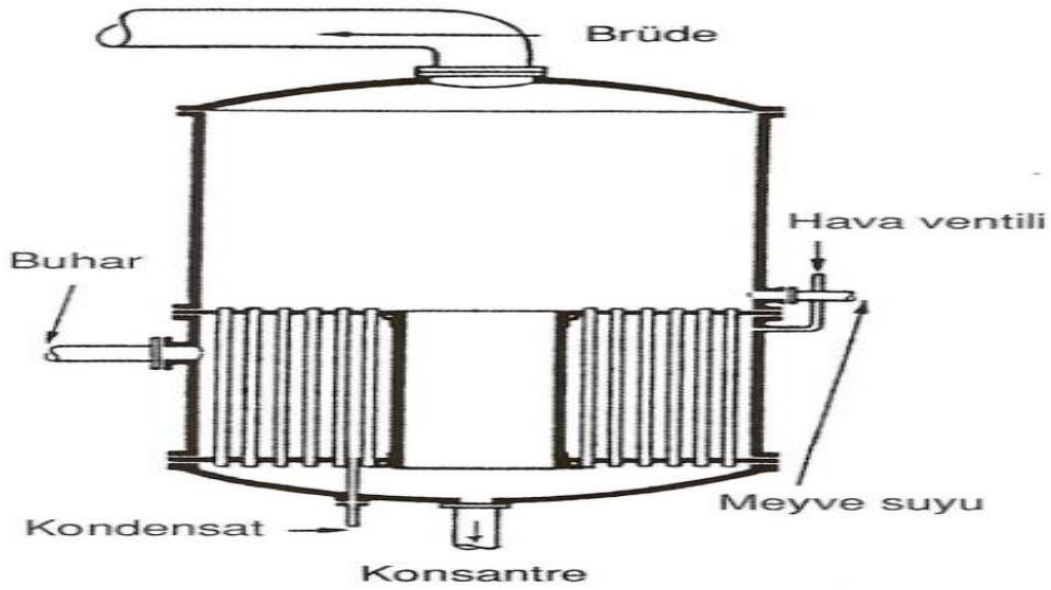


Tek etkili evaporatörde ürün borular içinden bir kez geçer. Buharlaşma bu tek geçişle olmaktadır.

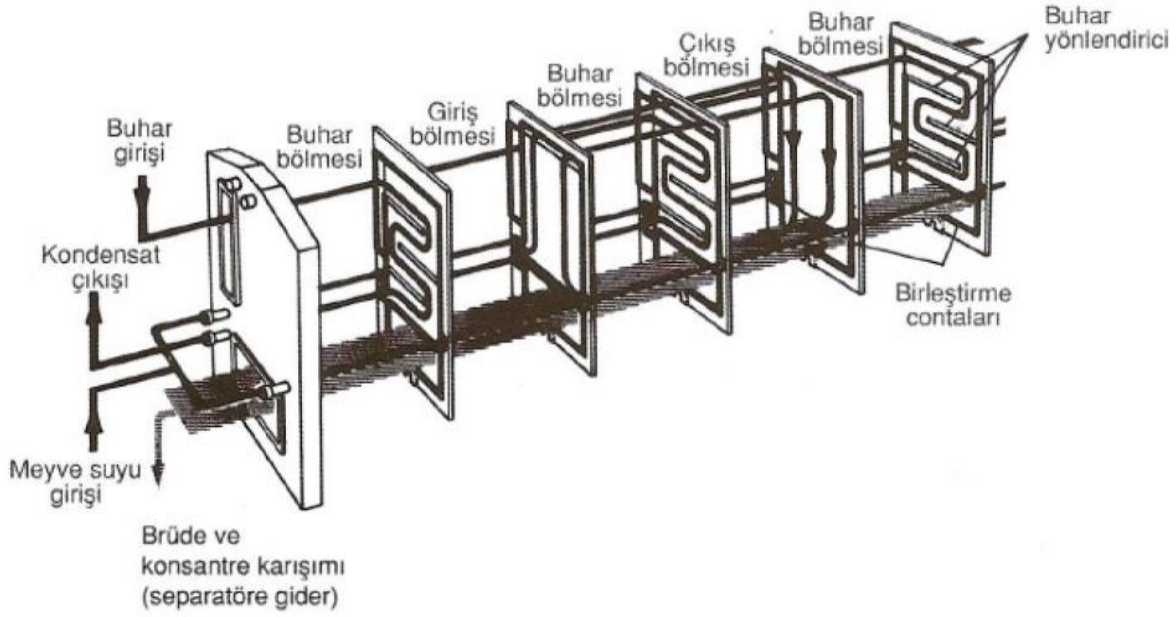


Çok etkili evaporatörlerde iki, üç hatta dört ünite birbirine borularla bağlanmıştır. Evaporatörün her ünitesi tek etkili gibi çalışır.

Borulu Evaporatörler. Gıda endüstrisi fabrikalarında en çok rastlanan evaporatörler borulu olanlardır. Koyulaştırılan ürün uzun süre yüksek sıcaklık derecesinde kaldığından ısıya duyarlı olmayan ürünlerin konsantrasyonuna, örneğin salça üretimine elverişli olan evaporatörlerdir.



Plakalı Evaporatörler. Yan yana dizilmiş olan plakalardan birisinde buhar, yanındaki komşu plakada ise ürün sirküle eder. Sirkülasyonu sağlayan bir pompadır. Ürün, bir bölümün ürün plakasında tırmanan film, diğer ürün plakasında ise inen film şeklinde ısınır. Bu olay her dört plakalık bölümlerde aynı anda oluşur.

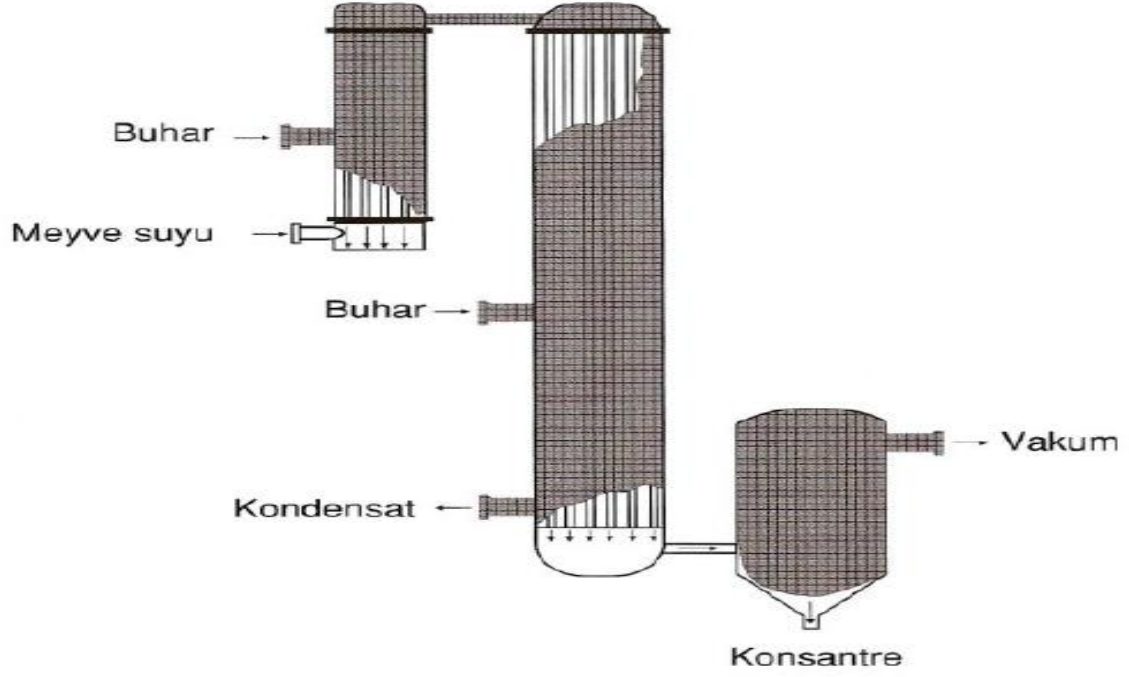


Düşük Sıcaklık (Vakum) Evaporatörleri. Buhardan ekonomi sağlamanın bir diğer yöntemi de sisteme düşük basınç uygulamaktır. Düşük basınç nedeniyle ürünün kaynama noktası da düşürülmüştür. Vakum konsantrasyonunun çeşitli avantajları vardır. Isıya duyarlı ürünler bazı özelliklerine zarar verilmeksizin evapore edilirler.

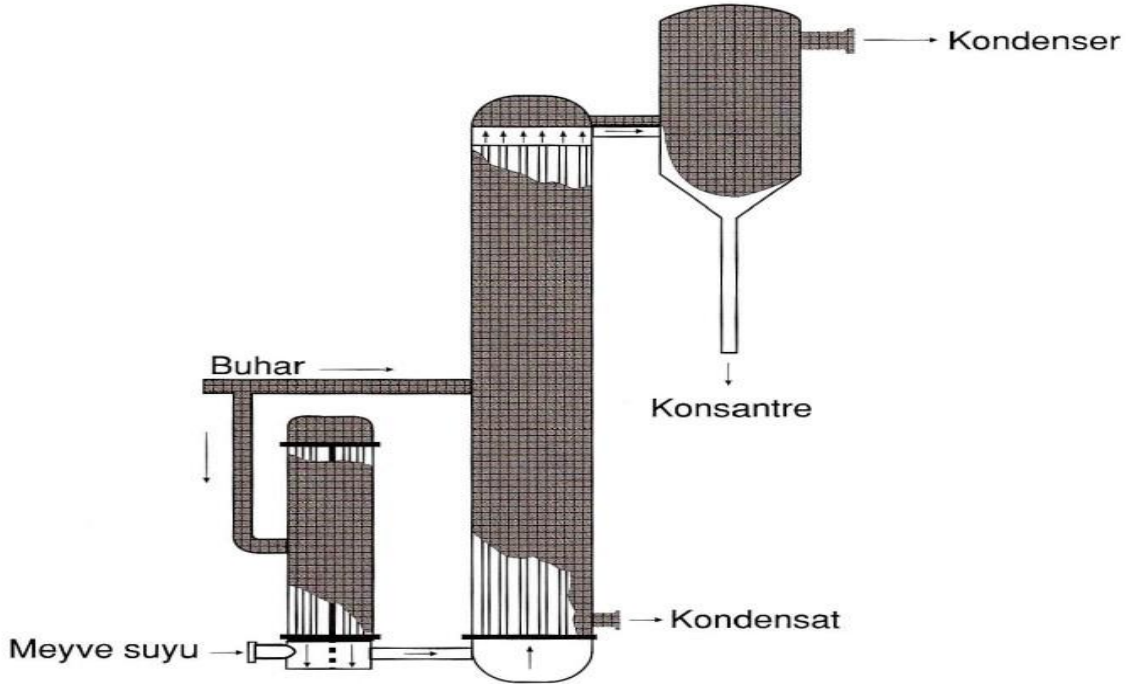
Deaerätörler (Hava Çıkarıcılar). Sıvı, yarı sıvı hammadde ya da yarı işlenmiş gıdaların fabrika üretim hatlarında çeşitli işlemler görmesi sırasında ürüne az ya da çok miktarda hava karışır. Havanın ürüne fazla miktarda karışmış olması teknik ve teknolojik birtakım sorunlar doğurur. Havadaki oksijen, üründe birtakım oksidatif tepkimelere yol açmaktadır.

Deodorizatörler (Koku Alıcılar). Deodorizasyon (koku alma) işleminden amaç, üründe doğal olarak bulunan ya da oksidatif ve hidrolitik (kimyasal, enzimatik, mikrobiyal) tepkimeler sonucu sonradan oluşan ve ürünün kalitesini düşürücü nitelikteki koku ve aroma öğelerinin üründen uzaklaştırılmasıdır. Deodorizasyon çoğunlukla buhar destilasyonu ile yapılır. Üründen çıkarılması istenen yabancı koku öğelerinin buharlaşma basınçları düşük olduğundan düşük basınçta yüksek sıcaklık derecelerinin kullanılması gerekir.

Düşen film evaporatörler az yer kaplayan uzun borulu evaporatörlerdir. Konsantre edilecek olan **ürün üstten verilir**. Genellikle **ısıya karşı duyarlılığı** fazla olan örneğin narenciye suları konsantrasyonunda yaygın olarak kullanılır. Ürün boru **iç yüzeylerinden ince bir film halinde inerken** ısınır. Ürünün borulardaki kalış süresi yaklaşık **1 dakika**, film kalınlığı ise **0.1 mm kadardır**. Boru içerisinde oluşan **buhar**, ürünün ince bir film oluşturmaya yardımcı olur. Evaporatörün altında toplanan brüde-konsantrat karışımı, bir **ayırıcıya gönderilir**. Konsantratın kıvamı yeterli değilse **tekrar sirküle ettirilir** ya da ikinci üniteye gönderilir.



Tırmanan Film Evaporatörler, Boru içerisindeki ürünün, **yukarıya doğru** hareketi ya da **aşağıya doğru inişine** göre adlandırılırlar. Tırmanan film evaporatörde **ürün boru içerisinde**, **buhar ise boru dışında akar**. Evaporatöre ürün beslemesi **alttan yapılır**. Ürün ısındıkça yükselir. Kaynamanın olduğu noktadan itibaren oluşan **kabarcıklar boruların ortasından yükselirken**, **ürün de boru iç yüzeylerinden film halinde** yukarıya doğru tırmanır. Tırmanan film evaporatörlerde **ürünün seviyesi boru yarı uzunluğunun biraz altındadır**. Bu düzeyin üzerinde brüde-konsantrat karışımı yüksek bir hızda boruları terkederek tepedeki ayırıcıya (seperatöre) ulaşır. Tırmanan film evaporatörlerde ürünün boruda **kalma süresi 1 dakika dolayında** olduğundan **ısıl bozulma çok azdır**. Bu nedenle **meyve suyu konsantrasyonunda** kullanılırlar.



Flaş Evaporatörler, Özellikle yüksek viskozitesi nedeniyle film haline getirilemeyen ya da konsantrasyon ilerledikçe yoğunluğu hayli yükselen ürünlerin, örneğin üzüm ve elma gibi meyve sularının ve bazı pulpların konsantrasyonunda ve salça üretiminde flaş evaporatörler kullanılır. Bunlarda gıda maddesi çok küçük partiler halinde ısıtma yüzeyi ile doğrudan temas ettirilir. Isıtılmış ve bir pompa ile evaporatör gövdesine pompalanmakta olan ürüne, açısıal yerleştirilmiş bir enjektörle doğrudan ısı aktarımı yöntemiyle 0.5 sn gibi çok kısa bir sürede 150°C dolayında ısıtılmış temiz buhar püskürtülür. Çok kısa bir süre içinde kaynarak brüde-konsantrat karışımına dönüşen ürün ayırıcıya girdiği anda, büyük hacimli ve silindirik bir gövdeden ibaret olan ayırıcıdaki düşük basınç nedeni ile aniden buharlaşır. Bu olaya “flashing” denilmektedir. Buharlaşma, ürünün sıcaklığı ayırıcıdaki koşullarda kaynama derecesine düşene kadar devam eder.

Kaynayan karışım daha sonra ayırma bölmesine gider ve burada koyulaşmış gıda maddesi alt kısma giderken buhar da çıkış kısmından ayrılır. Evaporatöre fiden konsantre edilecek sıvı ısıtıcı, bölmeden geçerken normal koşullardaki kaynama derecesine kadar ısınır. Bu bölmede evaparasyon olmaz. Çünkü sistem doludur ve sıvı belli bir basınçta tutulur. Yine aynı sebeple sıvı ısıtma yüzeyinde bir film oluşturmaz. Daha sonra ısıtılmış sıvı, bu bölmeyi bir basınç düşürücü üzerinden geçerek evaporatöre gelir. Düşük basınçlı olan bu bölmede sıvıda ani bir buharlaşma olur. Ayrılan buhar bir konsansörden geçirilerek yoğunlaştırılır.

