

SÜT SANAYİNDE ÇOK ETKİLİ EVAPORATÖRLER VE MALİYET HESAPLARI

MULTIPLE EFFECT EVAPORATORS AND COST CALCULATIONS IN THE DAIRY INDUSTRY

Atilla YETİŞMEYEN

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü, ANKARA

ÖZET: Yüksek kapasite ile çalışan süt fabrikalarında kurutulmuş süt ürünleri, yoğurt, şekerli ve şekerli kondanse süt gibi ürünlerin üretiminde çok etkili evaporatörler vazgeçilmez ve zorunlu makine gruplarıdır. Yatırım maliyetleri yüksek olan bu evaporatörlerin seçiminde üretim amaçları, etki sayısı ve enerji alternatiflerinden ekonomik olanın tercihi gibi faktörler etkilidir. Elektrik enerjisinin ucuz olduğu yerlerde termik kompresörler yerine mekanik buhar kompresörü çok etkili evaporatörler önerilmektedir.

ABSTRACT: In the dairy plants which have high capacity, multiple effect evaporators are indispensable group of machine in the production of milk products, such as dried milk products, yoghurt, sweetened and unsweetened condensed milk. The aim of production, the level numbers of effect and the type of energy to be used economically are the important factors having influence on the selection of the most suitable type of evaporator which have high investment cost. The mechanic multiple effect evaporators are recommended in place of the thermic multiple effect evaporators where electric energy is cheaper than other energy sources.

GİRİŞ

Evaporasyon kavramından sıvı süt ürünlerinin, meyve sularının, çözünmüş, emülsiyeye veya suspansiyeye edilmiş ekstraktların konsantre edilmesi veya koyulaştırılması anlaşılmaktadır. Bu işlemde materyaldeki su buharlaştırma ile uzaklaştırılmaktadır.

Termik ayırma metotlarından sayılan evaporasyonla bir karışımdaki hafif uçucu bileşenler çok veya az miktarda buhar olarak ayrılmakta, böylece çözeltideki doymuşluk konsantrasyonu yükselmekte ve son üründe katı unsurlar yoğunlaşmaktadır.

İnsan beslenmesinde her zaman önemli bir rol oynayan sütün yüksek besin değerli kurumda (%12.5)'si ile onun yedi katı su (%87.5) bakteriler için de uygun gelişme ortamıdır. Sütten su uzaklaştırıldığı zaman daha iyi dayanım özellikleri gösteren ve kurumda içinde protein, yağ, laktoz ve mineraller gibi önemli besin maddelerini içeren konsantre veya toz ürün elde edilmektedir. Bunun dışında ağırlık ve hacim azaldığı için nakliye masrafları ve depolama kapasitesi düşmektedir.

Sütün konsantrasyonunun ve dehidrasyonunun gerekliliği süt üretiminin kendine özgü yapısından kaynaklanmaktadır. Şöyle ki;

1. Süt üretimi mevsimseldir. İlkbahar ve yaz mevsiminde üretim yüksek, kışın ise düşüktür. Mamafih tüketim ise kış aylarına yığılmıştır.
2. Evaporatör ve kurutucuların da içinde yer aldığı büyük süt fabrikalarının kurulması, sütün işlenmesi çiftliklerden fabrikalara ve oradan da tüketiciye kadar uzunca bir hat gerektirdiğinden hacimce azaltmak amacıyla önemlidir.
3. Süt üretiminin olmadığı bölgelerde daha yüksek süt tüketimi için nakil ve depo edilebilen ürünler bulunmalıdır.

Süt sanayiinde konsantrasyon, şekerli ve şekerli kondanse süt üretiminde, yağsız sütozu, yağlı sütozu, peyniraltı suyu tozu, permeat tozu ve yayıkaltı tozu üretiminde, laktoz üretiminde ve yoğurt üretimi gibi diğer alanlarda gereklidir.

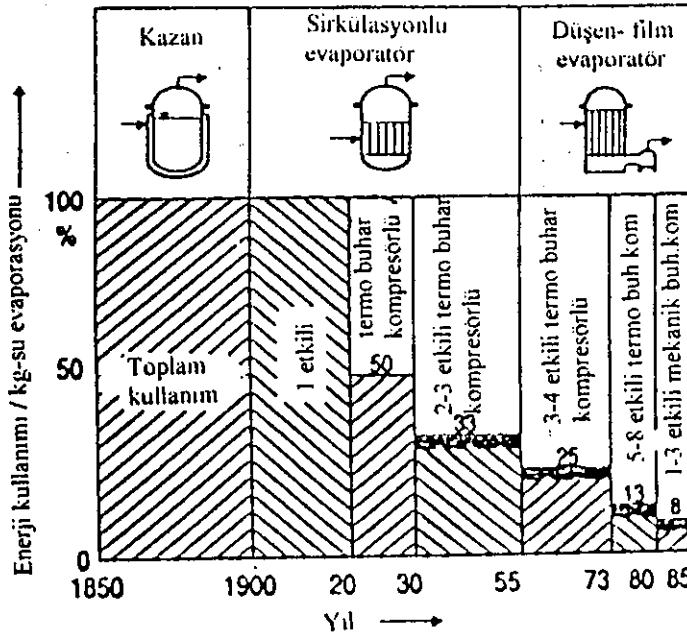
Süt ve süt ürünlerinden suyun uzaklaştırılması normal koşullarda iki kademe gerçekleşmektedir.

Yağlı ve yağsız süt önce bir evaporatör yardımıyla %50 kurumadeye kadar konsantre edilmekte ve daha sonra bir spreyci kurutucuda %3 veya 4 nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Bu şu anlama gelmektedir; sütteki toplam suyun %85-90 gibi büyük bir bölümü evaporatörde uzaklaştırılmaktadır. Yani evaporasyon tekniği süttozu üretiminde hem ekonomiklik hem de toz kalitesinde olumlu etki yapmaktadır. Bazı süt ürünlerinin evaporasyon öncesi ve sonrası ortalama su içeriği aşağıda verilmiştir:

Evaporasyon öncesi su içeriği	Evaporasyon sonrası su içeriği
Yağlı süt için %87	%67 %10 yağlı ve %23 yağsız kurumaddeli kondens süt için
Yağsız süt için %91	%75 %7.5 yağlı ve %17.5 yağsız kurumaddeli kondens süt için
Yaykaltı için %90	%50-60 sonradan kurutulacak süt ürünleri için
Peyniraltı suyu için %94	%82 yoğurt için

EVAPORATÖRLERİN GELİŞİMİ VE BUHAR KOMPRESÖRLERİ

19. yüzyılın ortalarından itibaren süt ve peyniraltı suyu evaporasyonla konsantre edilmektedir. Üründen buharlaştırılacak su miktarına karşılık %100'den daha fazla enerjinin harcandığı ve diskontinü (kesikli) çalışan kazanlardan 50 yıl boyunca yararlanılmıştır. Şekil 1'de evaporatör teknolojisindeki gelişme gösterilmiştir.

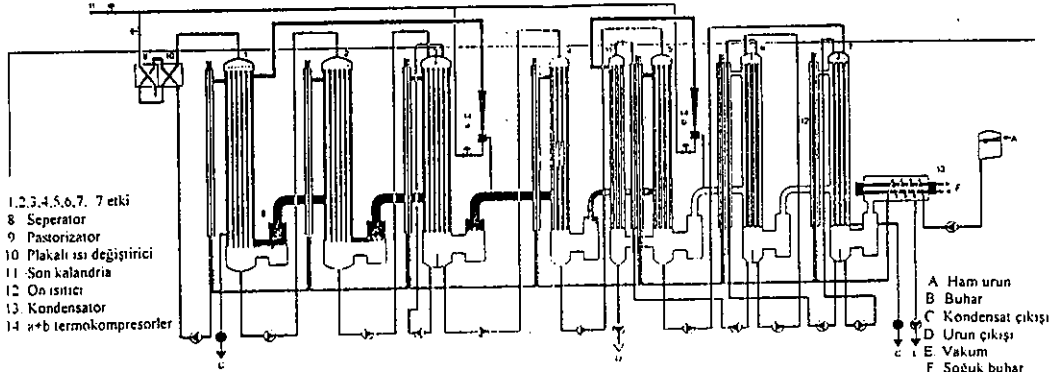


Şekil 1. Süt endüstrisinde evaporasyon tekniklerinin gelişimi ile bunların her kg su evaporasyonu için gerekli enerji ihtiyacı (%)

1. ve 2. Teknoloji (TVR Sistemi):

Çok etkili evaporatörlerde üründen alınan su buharı ısıtıcı vasıta olarak evaporasyonda daha düşük basınç ve sıcaklığın kullanıldığı bir sonraki kademede kullanılır. Kademe sayısı tüm sistemdeki sıcaklık farkı ile sınırlanır.

Kademeler üzerindeki termik buhar kompresörleri yardımıyla ekonomiklikte önemli bir iyileştirme elde edilebilir. Birinci etkiden ayrılan ürün buharı ile buhar enjektörü vasıtasıyla sıkıştırılır ve karışım birinci etkiye ısıtıcı ortam olarak gönderilir. Şekil 2'de termik buhar kompresyonu üçüncü etkiden birinciye gönderilmektedir.



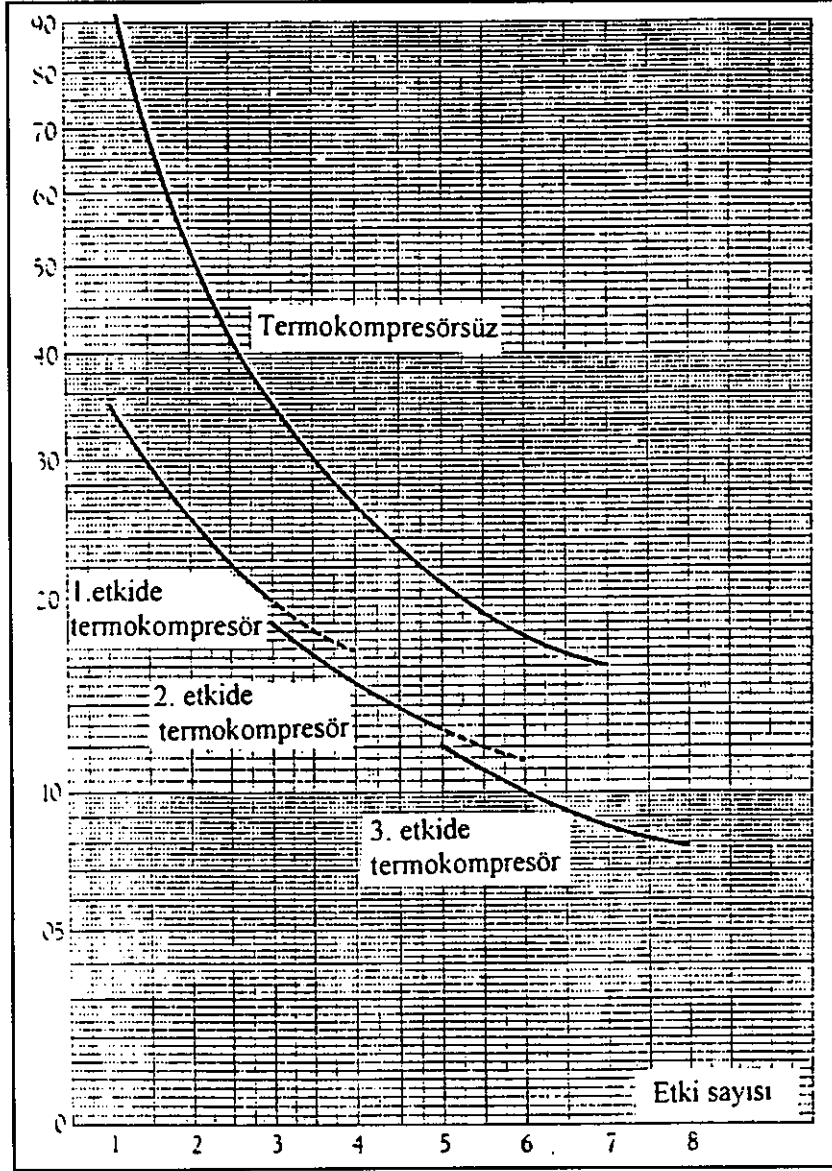
Şekil 2. 7 etkili evaporatör (3. Etkiden 1. Etkiye termik buhar kompresörlü)

Evaporasyon prosesi daha önce çok enerji gerektiren bir tekniktir. Özellikle 70'li yıllardan itibaren enerji masraflarını en aza indirmek bakımından evaporatör sistemlerinin gelişimi daha bir önem kazanmıştır. Fakat bu arada yatırım masrafları da yüksek olmamalıdır. Birbirini takip eden enerji krizleri nedeniyle termik buhar sıkıştırılmalı (Termokompresör) evaporatörlerin etki sayısı 3'den 5'e yükselmiş ve alınan buharın sıkıştırılmasında da mekanik kompresör kullanılmıştır.

Enerji tüketimi bakımından kompresörlerin gelişimi aşağıdaki gibi olmuştur:

1. Birinci etki üzerinde termik kompresörlü 3 etkili bir evaporatör
2. Üçüncü etki üzerinde termik kompresörlü 7 etkili bir evaporatör
3. Üçüncü etki üzerinde mekanik kompresörlü 3 etkili bir evaporatör

Buhar tüketimi ve etki sayısı arasındaki ilişki aşağıdaki kurvede görülmektedir; Termik buhar kompresörü (Termokompresör) bir veya daha fazla etki üzerine monte edildiğinde su evaporasyonunun %'si olarak buhar tüketimi değerleri kurve haline getirilmiştir.



Şekil 3. Çok etkili bir evaporatörde (Anhydro) su evaporasyonunun % buhar ihtiyacı (Kurve-ler tipik bir ürünün standart koşullarını göstermektedir).

Yükselen petrol fiyatları nedeniyle MVR sistemi "geleceğin evaporatör tesisi" olarak tanımlanmaktadır. TVR- ve MVR- sisteminin işletme verileri:

	TVR	MVR
Kapasite, kg-su buharı/saat	15.000	10.000
Pompaların güç ihtiyacı, kW	40	30
Her kg su buharı için özgül buhar ihtiyacı, kg	0.09	-
Mekanik buhar kompresörünün güç ihtiyacı, kW	-	100
Pastörizasyon (85°C) dahil olduğunda buhar tüketimi, kg/h	1350	85

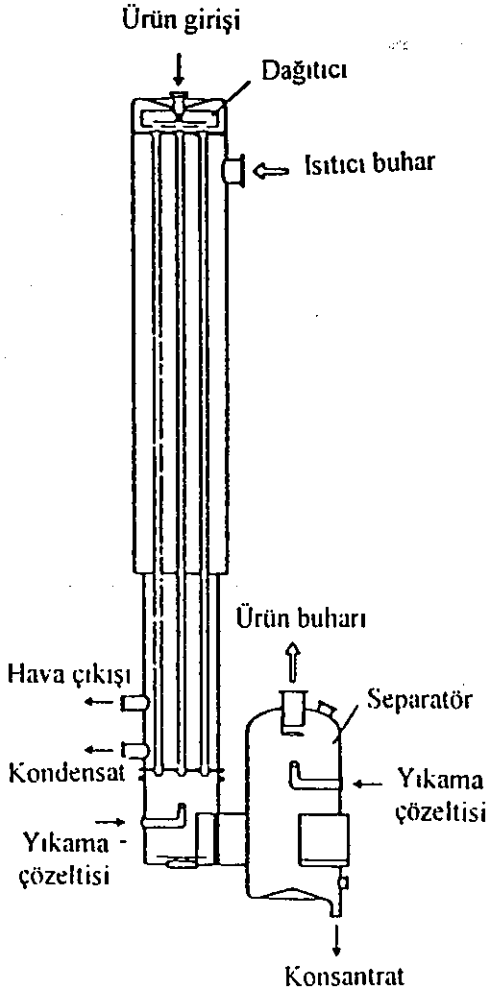
3. Teknoloji (MVR):

Eğer elektrik masrafları fazla değilse, o zaman mekanik buhar kompresörünün kullanımı (MVR) işletme masraflarında önemli bir tasarruf sağlar. MVR sistemli evaporasyon prosesinde kullanıma bağlı olarak kompresörde çok az veya hiç buhar gerekmez. Tüm buhar miktarı bir kompresöre veya bir yüksek basınç vantilatörüne gönderilir, burada basınç artışı bir buharın sıcaklığının yükselmesine neden olur. Kompresö edilmiş (sıkıştırılmış) buharlar daha sonra evaporatör için ısıtıcı vasıta olarak kullanılabilir. Ayrıca kondensat ürünün ön ısıtması için oldukça uygundur. Gerekli tüm buhar miktarı kompresö edilir ve kullanılmış buharın kondensasyonu için soğuk su gerekmez.

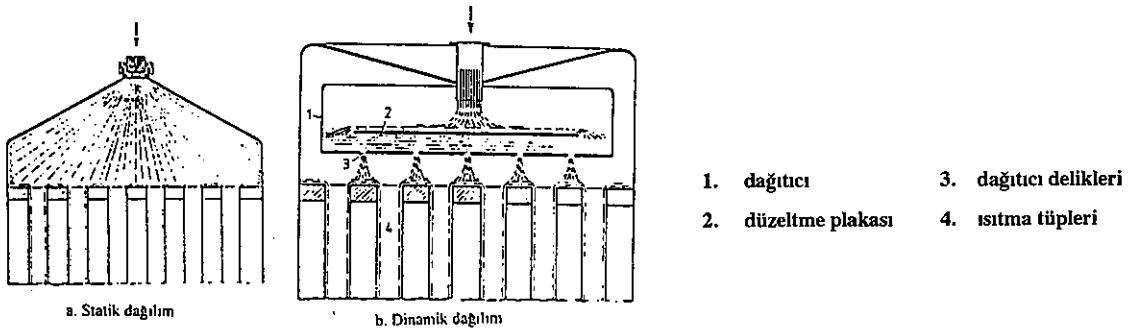
Bu kompresörün tahrik edilmesi elektromotorlar, buhar- veya gaz türbinleri ile olmaktadır. Elektrik enerjisinin yeterli ve ucuz olduğu yerlerde MVR-evaporasyon tesisi enerji masrafları bakımından geleneksel evaporatörlere tercih edilmektedir.

Bu 3 evaporatör tipi arasında buhar ve elektrik tüketimi bakımından J. van Loon (Niro Atomizer) bir karşılaştırma yapmıştır:

	3 etkili termik	7 etkili termik	3 etkili mekanik
Buhar, kg	260	90	10
Elektrik, kW	2	4	12
Maliyet masrafları, %	100	39.3	20.6



Şekil 4. Düşen-film evaporatör (GEA-Wiegand)



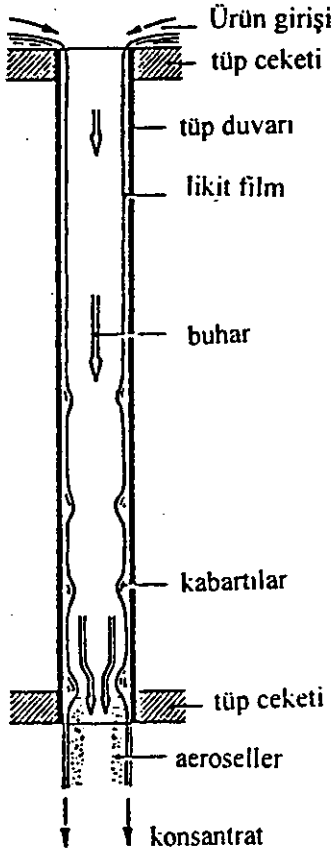
Şekil 5. Çok etkili evaporatörlerde statik ve dinamik dağılım

SÜT İŞLETMELERİNDE KULLANILAN EVAPORATÖR TİPLERİ

Evaporasyon işleminin kullanımından beri birçok evaporatör tipi gelişmiştir. Her zaman daha iyi bir ürün kalitesi elde etmek için önemli ölçüde gelişen teknikler eski model evaporatörleri (örneğin rotary tip) devre dışı bırakmış ve onun yerini sürekli (sürekli) çalışan modeller almıştır. Evaporatörlerin gelişiminde enerji maliyetleri kadar gıdanın özellikleri de etkilidir. Genelde gıdaların konsantrasyonunun daha düşük sıcaklıkta gerçekleştirilmesi gerektiğinden buharlaştırma, atmosfer basıncı altındaki basınçlarda, yani vakum altında gerçekleştirilir.

Aşağıdaki şekilde süt sanayiinde bugün genellikle kullanılan düşen-film evaporatör şeması görülmektedir.

Düşen film evaporatörler ısı değiştirici yüzey alanı olan borular demetinden oluşmaktadır. Bu borular düşey olarak dizayn edilmiş ve ürün boru iç yüzeyinden film zarfı şeklinde aşağıya akmaktadır. Boruların boyu 4-12 m, çapları ise 25-80 mm arasında değişmektedir. Ürün, boruların bulunduğu kalandrianın üst kısmında aynı miktarda dağılmalıdır, ki ürün tek tek borular içinde belirli, eşit miktarda ve film şeklinde aşağıya akarken evaporasyon da aynı ölçüde gerçekleşsin. Boruların biri diğerinden çok az veya çok fazla dolmamalıdır. Akışkan dağılımı statik bir süzgeç yardımıyla veya dinamik bir konik meme vasıtasıyla sağlanmaktadır (Şekil 5).



Şekil 6. Düşen-film evaporatörlerde bir ısıtıcı tüp içindeki işlem

Akışkan, film halinde kendi ağırlığı ile borular içinden akarken, evaporasyon nedeniyle ürünün buhar miktarı artmakta ve film akışı etkilenmektedir (Şekil 6). Karışım kalandriaya alttan bağlı olan seperatöre tanjantinal şekilde gelir ve burada buhar ve konsantrat birbirinden ayrılır.

SÜT SANAYİNDE NİÇİN ÇOK ETKİLİ EVAPORATÖRLER KULLANILIYOR?

Süt ve süt ürünleri ısıya hassas ürünler olarak bilinmektedir. Bir taraftan mikroorganizma imhası için uygulanan sıcaklığın ürün özelliklerini etkilememesi, diğer taraftan protein unsurlarının cüzzı de olsa sıcaklık stabilitesinden dolayı ısı uygulamasının mümkün olduğunca optimum ve doğru olarak yapılması gerekmektedir.

Bunun yanında süt sanayiinde her zaman süt ve/veya peyniraltı suyu ile çalışılır. Normal bir süt işletmesi günde ortalama 500 ton sütü süt ürünlerine işlemektedir. Bu da toplam 200-300 ton yağsız (veya yağlı) süt veya peyniraltı suyunun toza dönüştürülmesi anlamına gelmektedir. 7 etkili bir evaporatörün normal olarak kapasitesi 10.000-15.000 litre süt veya peyniraltı suyu/saat'tir. Bu nedenle süt sanayiinde çok etkili evaporatörler her zaman gereklidir.

ÇOK ETKİLİ EVAPORATÖRLERDE MALİYET (=MASRAFLAR) HESABI

Evaporatörlerdeki işletme masrafları diğer süt makinelerinde olduğu gibidir.

Toplam masraflar = Enerji masrafları + Amortisman + Diğer masraflar

$$(1) \dots \dots \dots K_{ges} = K_Q + K_A + K_{sonst.}$$

Q=Enerji miktarı, joule

K_Q =Sıcaklık fiyatı, DM/joule

Enerji masrafları için geçerli olan:

T_B =İşletme süresi, saat/yıl

M=Süt miktarı, kg/saniye

$$(2) \dots \dots \dots K_Q = k_Q + t_B \cdot Q$$

$\Delta(h)$ =Entalpi değişimi, joule/kg

watt/kg

$$(3) \dots \dots \dots Q = M \cdot \Delta(h)$$

Isıtma yüzey masrafları için $q < 1$ olan azalış katsayısı nazarı-dikkate alındığında aşağıdaki eşitlik ortaya çıkar.

$$(4) \dots \dots \dots K_A = k_A \cdot z \cdot A^{(1-q)}$$

K_A =Isıtma yüzeyi masrafı, DM/m²

z= Yıllık masraf ölçüsü, $z = \frac{1}{n}$

n= Yararlanma süresi, yıl

$$(5) \dots \dots \dots A = \frac{Q}{U \cdot \Delta(T_m)}$$

A= Isıtma yüzeyi, m²
 q= Azalış katsayısı
 U= Isı geçiş katsayısı, joule / m² sn°C
 Δ(T_m) = Sıcaklık farkı

Isıtma yüzeyi azalışı nazarı-dikkate alındığında 2., 3., 4. ve 5. eşitlikler 1. eşitlikte yerine konulduğunda toplam masraflar şöyle hesaplanır:

$$K_{ges.} = k_Q \cdot t_B \cdot M \cdot \Delta(h) + k_A \cdot z \cdot \left[\frac{M \cdot \Delta(h)}{U \cdot \Delta(T_m)} \right]^{(1-q)} + K_{sonst}$$

$$k_{spezifisch} = \frac{K_{ges.}}{M} = k_Q \cdot t_B \cdot \Delta(h) + \frac{k_A \cdot z \cdot \left[\frac{\Delta(h)}{U \cdot \Delta(T_m)} \right]^{(1-q)}}{M^q} + \frac{K_{sonst}}{M}$$

k_{spez.} = özgül masraf, DM/kg-süt

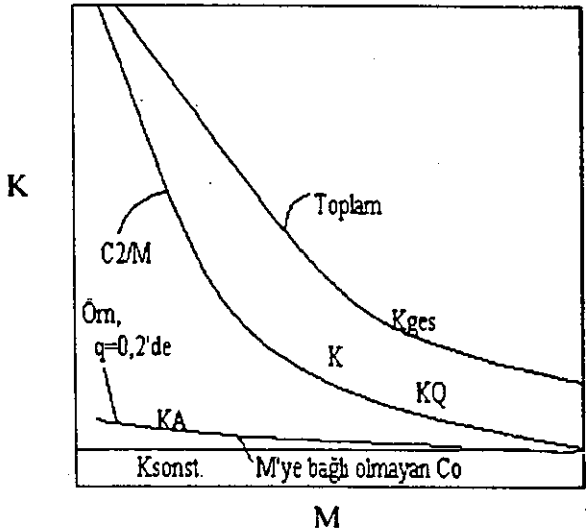
M_q=azalış katsayısına göre süt miktarı

veya formüller kısaltıldığında;

$$k_{spez.} = C_0 + \frac{C_1}{M^q} + \frac{C_2}{M}$$

Böylelikle diğer masrafların yanında ısıtma yüzeyi fiyatı da, yani belirli bir zamandaki ısı miktarı da düşülmüş olmaktadır.

Özgül masraflar (şematik)



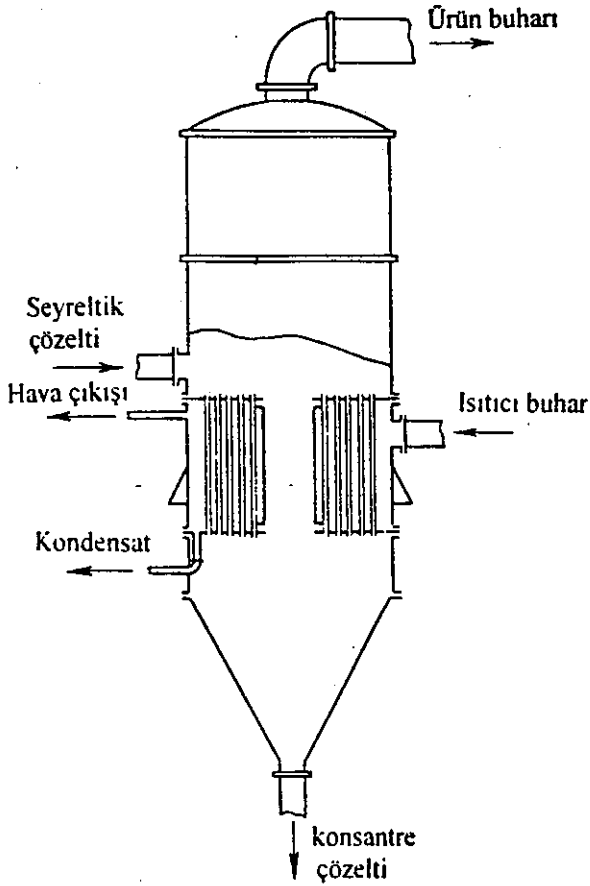
Özel durum q>1 olduğunda (Isıtma yüzeyi masrafları azalışı ihmal edilebilir):

$$k_{spez.} = C_0 + \frac{C_1 + C_2}{M}$$

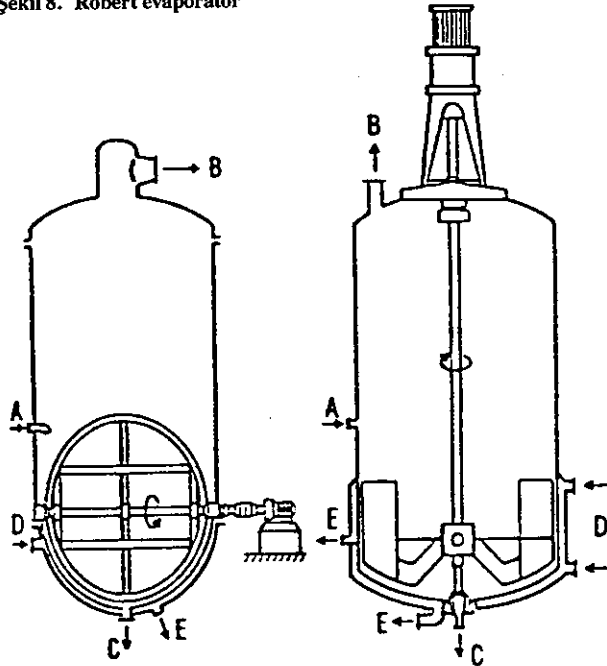
Özel durum C₂> 0 olduğunda ise (Diğer masraflar olmadan sadece ısıtma yüzeyi masrafları azalışı şeklinde):

$$k_{spez.} = C_0 + \frac{C_1}{M^q}$$

Şekil 7. Çok etkili evaporatörlerde süt miktarına (kapasiteye) göre masraflar



Şekil 8. Robert evaporatör



Şekil 9. İki farklı (a ve b) karıştırıcılı ısıtma kazan evaporatörleri (GEA-Wiegand)

- A. Ürün
B. Ürün su buharı
C. Konsantrat
D. Isıtıcı buharı
E. Kondensat

TÜRKİYE'DE ÇOK ETKİLİ EVAPORATÖRLERİN KULLANIMI

Süt sanayii Türkiye'de maalesef çok gelişmemiştir. Süt üretimi yılda yaklaşık 10 Milyon tondur. Dolayısıyla artan nüfusa bağlı olarak tüketim miktarı da azdır. Örneğin kişi başına günlük içme sütü tüketim miktarı 25-30 ml'dir. Oysa batılı ülkelere göre bu değerler bir tarım ülkesi olan Türkiye için oldukça düşüktür.

Elbette bu duruma paralel olarak süt teknolojisi düzeyi çok yüksek değildir. Üretilen çiğ sütün yaklaşık %20'si modern süt fabrikalarında işlenmektedir. Geri kalan kısım ise yarı modern ve/veya ilkel süt işletmelerinde işlenmekte veya sokak sütü şeklinde satılmaktadır. Dolayısıyla piyasada haksız bir rekabet doğmaktadır. Şöyle ki; aynı dükkanda örneğin 1 litre süt veya 1 kg peynir farklı fiyatlarda satılabilmektedir. bu nedenle süt fabrikası sahipleri sermayelerini modern süt makinelerine yatırımlarını yapmaktadırlar.

Türkiye'de seperatörler, homojenizatörler, plakalı ısı değiştiriciler, çok etkili evaporatörler, sprey kurutucular, aseptik dolum makineleri gibi makineler ithal edilirken, daha basit makineler ise yurt içinde imal edilmektedir. Türkiye'de halihazırda evaporasyon işleminden yağsız sütte, peyniraltı suyu tozu ve yoğurt üretiminde yararlanılmaktadır.

Kurumaddenin %12.7'den %17-18'e yükseltilmesinin gerektiği yoğurt üretiminde evaporasyon işlemi Robert evaporatör tipi evaporatörde veya karıştırıcılı ısıtma kazanlarında (Şekil 8 ve Şekil 9) yapılmaktadır. Bu evaporatör tipleri kurumaddenin çok az yükseltilmesinden dolayı günde 5-40 ton süt kapasiteli üretimlerde tercih edilmektedir. Türkiye'de birçok yoğurt işletmesi evaporasyonda bu makinelerden yararlanmaktadır. Bu evaporatör tipleri, özellikle Robert evaporatör, Türkiye'de imal edilebilmektedir.

Diğer taraftan yağsız sütte ve/veya peyniraltı suyu tozu üreten sadece 4-5 süt fabrikası vardır. Bunlar 3-6 etkili evaporatör ve sprey kurutucuya sahiptirler. Her birinin kapasitesi en az 50.000 litre yağsız süt ve/veya peyniraltı suyu/gün'dür. Türkiye'deki çok etkili evaporatör tiplerinin tümü düşen film evaporatörlerdir.

SONUÇ

Modern teknoloji ve yüksek kapasite ile çalışan süt fabrikalarında kullanılan çok etkili evaporatörlerin kaç etkili olacağını asıl olarak, kullanılacağı ürün çeşitleri, kapasite ve enerji giderleri belirlemektedir. Bugünkü girdilere göre çok etkili evaporatörlerin ekonomik çalışabilmesi için günde en az 50-60 bin litre süt veya peyniraltı suyunun işlenmesi gerekmektedir.

Ayrıca evaporatörlerde enerjinin verimli kullanımında kompresörler önemli yer tutmaktadır. Ancak termik veya mekanik kompresörlerden hangisinin seçileceği ise çoğunlukla yerel enerji kaynaklarının birim maliyetlerine bağlıdır. Avrupa'da son yıllarda daha çok mekanik kompresörlü evaporatörler tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

- APV. Die Anhydro Eindampfanlagen mit mechanischer Brüdenverdichtung (MVR). APV Anhydro AS, Dänemark.
APV. Die Anhydro Eindampfanlagen mit thermischer Brüdenverdichtung (TVR). APV Anhydro AS- Dänemark.
HANSEN, R. Evaporation, Membran Filtration and Spray Drying. North European Dairy Journal, Denmark.
KESSLER, H.G. 1994. Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, Molkereitechnologie. Verlag A. Kessler. D-80687 München.
MILITZER, K.E. u.a. 1968. Lehrbuch der chemischen Verfahrenstechnik. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
Van LOON, J. 1982. Neuentwicklung beim Eindampfen von Milch und Milchprodukten. DMZ Deutsche Molkerei Zeitung 2/1982, 42-47.
Van LOON, J. 1983. Einige Konstruktionsparameter, die bei der Wahl von Eindampfern für die Molkereiindustrie zu berücksichtigen sind. North European Dairy Journal 2/1983, 41-48.

GIDA DERGİSİ 2000 yılı Abone Ücreti 6 sayı için 10.000.000.-TL.
(On milyon) olarak belirlenmiştir.

Fiyata KDV ve normal posta ücreti dahildir.

GIDA TEKNOLOJİSİ DERNEĞİ
YÖNETİM KURULU