

# ISI DEĐIŐTİRİCİLER

**Isıtma ve soğutma işlemleri** süt teknolojisinde en sık kullanılan işlemlerdir.

- **Sütün ısıtılmasında;** düşük basınçlı buhar veya sıcak su gibi bir ısıtıcı ortamdan yararlanır.
  - Belirli miktardaki ısı, ısıtıcı ortamdan süte iletilir, buna bağlı olarak sütün sıcaklığı yükselir ve ısıtıcı ortamın sıcaklığı da o ölçüde azalır.
- **Sütün soğutulmasında;** soğutucu ortam olarak soğuk su, buzlu su, salamura veya glikol gibi bir alkol çözeltisinden yararlanılabilir.
  - Isı sütten soğutucu ortama iletilir ve böylece sütün sıcaklığı istenen dereceye düşerken soğutucu ortamın sıcaklığı da artar.

## Isı İletim Teorileri

- Isıyı bir maddeden diğetine iletmek için iki maddenin farklı sıcaklıklara sahip olması gerekir. Isı daima sıcak haldeki maddeden soğuk haldeki maddeye geçer.



- İki madde arasındaki sıcaklık farkı fazla olduğunda ısı akışı da hızlanır. Isının iletimi sırasında sıcaklık farkı giderek azalır ve iletim hızı yavaşlar, sıcaklıklar eşitlendiğinde ısı iletimi durur.

Isının iletimi;

- kondüksiyon,
- konveksiyon ve
- radyasyon olmak üzere üç yolla gerçekleşir.

**Kondüksiyon (Isı iletimi):** Termal enerjinin katılardan ve durgun haldeki sıvı katmanlarından iletimidir. Sıcak su içindeki kaşığın sapının ısınması bu tip ısı iletimine örnektir.

- **Konveksiyon (Isının taşınımı):** Yüksek ısılı partiküller, soğuk haldeki partiküllerle karıştıklarında, ısılarının soğuk partiküllere iletilme şeklidir. Örneğin, bir çay kaşığı musluktan akan soğuk suya tutulduğunda, ısı su tarafından absorbe edilir ve kaşıkla suyun sıcaklığı eşit hale gelinceye kadar kaşık soğumaya devam eder.
- **Radyasyon:** Isının, termal enerjiyi toplayan bir cisimden yayılmasıdır. Bunun için, termal enerji radyant enerjiye çevrilir, cisimden yayılır ve bu cisimle karşılaşan diğer cisimler tarafından absorbe edilir. Gün boyunca güneş ısını toplayan bir çatıdan gece ısının yayılması buna bir örnektir.

# Isı İletim Prensipleri

Süt teknolojisinde ısının iletimi **konveksiyon ve kondüksiyon** yoluyla gerçekleşir.

İlk olarak sıcak ortamdan konveksiyon ile katı yüzeye, katı yüzey boyunca kondüksiyon ile, katı yüzeyden soğuk ortama konveksiyonla iletilir.

Isı iletiminde iki prensipten yararlanılır: Direkt ısıtma, indirekt ısıtma.

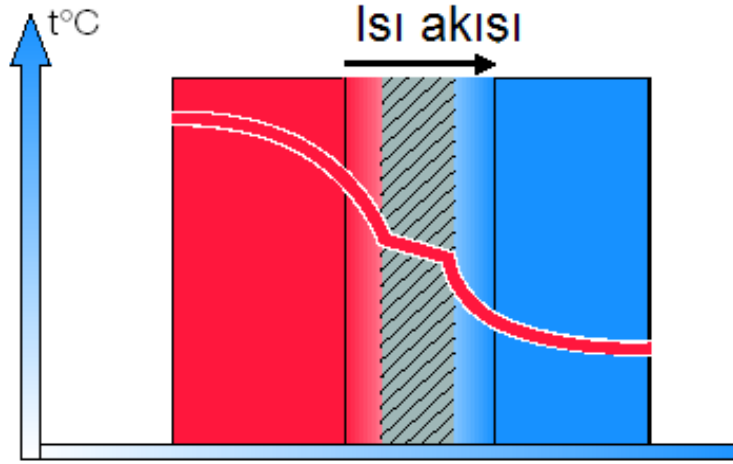
1. **Direkt ısıtma**; ısıtıcı ortamın doğrudan ürünle karıştığı ısıtma şeklidir.

Bu teknik kullanım amaçları;

- Suyu ısıtmak için.
- Sütün direkt yöntemle UHT sterilizasyonu için.
- Belirli tipteki peynirlerin yapımında pıhtıyı ısıtmak için

Hızlı bir ısı iletiminin istendiği durumlarda direkt yöntem etkili bir yoldur. Fakat, ısıtıcı ortam, ürünle direkt olarak karıştığı için yüksek niteliklere sahip olmalıdır.

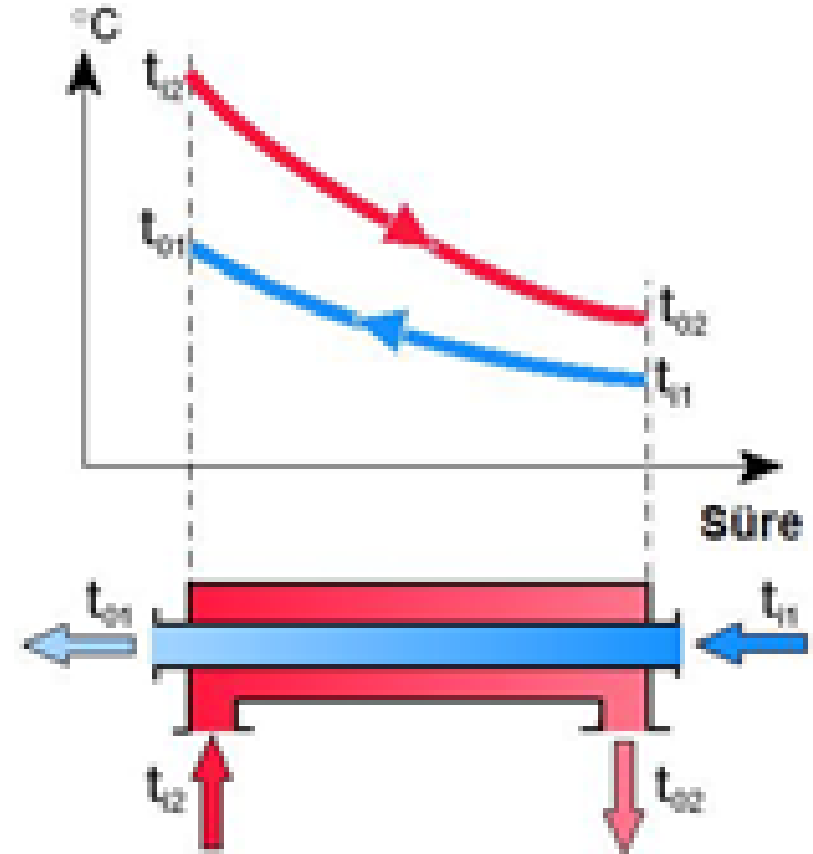
2. İndirekt ısıtma; süt teknolojisinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde ürünle yardımcı ortam (ısıtıcı ya da soğutucu ortam) arasına bir bölme yerleştirilir. Isı bu bölme yoluyla yardımcı ortamdan ürüne iletilir



şekil 3.1. Bölme aracılığı ile ısı iletimi.

# Isı Değiştirici

- Isının indirekt yolla iletimi için bir ısı değiştiriciden yararlanılır.
- Isı değiştirici, boru biçimindeki bir bölme (plaka) ile birbirinden ayrılan iki kanal olarak tanımlanabilir.
- Kanalın birisinden sıcak su, diğerinden de süt geçer.
- Isı iletimi bölme yoluyla gerçekleştirilir.
- Sıcak su  $t_{i2}$  derecesinde kanala girer ve  $t_{o2}$  derecesine kadar soğumuş halde kanaldan çıkar.
- Süt de  $t_{i1}$  sıcaklığında ısı değiştiriciye giriş yapar ve sıcak su yardımıyla  $t_{o1}$  derecesine ısıtılır.





# Isı Değiştiricinin Boyutlarını Etkileyen Faktörler

Kullanılacak ısı değiştiricinin büyüklük ve konfigürasyonu birçok faktöre bağlı değişim gösterir. Dikkate alınması gereken faktörler :

- Ürünün debisi.
- Sıvıların fiziksel özellikleri.
- Sıcaklık programı.
- Sıvıların basıncındaki azalma.
- Isı değiştiricinin tasarımı.
- Kirliliğe yol açan maddelerin varlığı.
- Gerekli çalışma süresi.

Isı değiştirici büyüklüğünün (ısı iletim alanının) hesaplanmasında genel olarak aşağıdaki formülden yararlanılmaktadır:

$$A = \frac{V \times \rho \times C_p \times \Delta t}{\Delta t_m \times k}$$

A = Gerekli ısı iletim alanı

V = Ürünün debisi

$\rho$  = Ürünün yoğunluğu

$C_p$  = Ürünün özgül ısısı

$\Delta t$  = Üründeki ısı değişimi

$\Delta t_m$  = Logaritmik ortalama ısı farkı

k = Toplam ısı iletim katsayısı

## ***1. Ürünün debisi***

- Ürünün debisi (V) işletmenin planlanan kapasitesine göre belirlenir. Debi arttıkça ihtiyaç duyulan ısı değiştiricinin büyüklüğü de artar. Örneğin, işlenen sıvı miktarı saatte 10 000 litreden 20 000 litreye çıkarılırsa, diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla, ısı değiştiricinin büyüklüğü de orijinal büyüklüğünün iki katına çıkarılmalıdır. Bu durumda yardımcı ortamın akışı da iki kat artırılır.

## 2. Sıvıların fiziksel özellikleri

- Özgül ısı ve yoğunluk ürüne bağlı olarak değişen faktörlerdir.
- Özgül ısı, bir maddenin sıcaklığını 1°C artırmak için gereken ısı miktarıdır.
- Isı değiştiricinin boyutları üzerinde etkili diğer bir özellik sıvının viskozitesidir. Yüksek viskoziteye sahip bir sıvı, ısı değiştiriciden akarken viskozitesi düşük olan ürüne kıyasla daha az türbülens yaratır. Bu durum, diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla, daha büyük ısı değiştiriciye ihtiyaç duyulduğunu ifade eder.
- Örneğin, aynı kapasite ve sıcaklık programında süte kıyasla krema için daha büyük ısı değiştiriciye gereksinim vardır.
- Newtonian akış göstermeyen gıdalarda görünür viskozite sıcaklığa ve kesme hızına bağlı olarak değişir. Tankta nisbeten yoğun görünen bir ürün, pompalandığı zaman borulardan veya ısı değiştiriciden daha kolaylıkla akabilir.

### **3. Sıcaklık programı**

Isı iletiminin amacı, sütü belirli bir giriş sıcaklığından belirli bir çıkış sıcaklığına ısıtmak ya da soğutmaktır. Bu işlem, ısı değiştiricide bir yardımcı ortam (örneğin, su) yardımıyla gerçekleştirilir. Eğer ısıtma yapılacaksa, süt sıcak su ile ısıtılır ve suyun sıcaklığı da o ölçüde düşer.

Sıcaklık programında dikkate alınması gereken faktörler;

- Ürünün ve yardımcı ortamın sıcaklık derecelerindeki değişim
- Sıvılar arasındaki sıcaklık farkı.
- Sıvıların akış yönü.

## Ürünün ve yardımcı ortamın sıcaklık derecelerindeki değişim ( $\Delta t$ )

- Ürünün giriş ve çıkış sıcaklıkları daha sonraki işlem aşamalarına göre belirlenir. Ürünün sıcaklığındaki değişim ( $\Delta t$ ) aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\Delta t_1 = T_{01} - T_{i1}$$

- Modern ısı değiştiricilerde, enerji kayıpları ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, sıcak haldeki sıvıdan açığa çıkan ısı enerjisi, soğuk sıvı tarafından absorbe edilen ısı enerjisine eşit olur. Bu durum enerji dengesi olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

$$V_1 \times \rho_1 \times C_{p1} \times \Delta t_1 = V_2 \times \rho_2 \times C_{p2} \times \Delta t_2$$

Örnek : Saatte 20.000 litre süt, 50°C sıcaklığındaki 30000 litre/saat su yardımıyla 4°C'den 34°C'ye ısıtılacaktır. Sütün yoğunluğu ( $\rho$ ) ve özgül ısısı ( $C_p$ ) sırasıyla 1020 kg/m<sup>3</sup> ve 3.95 kJ/kg ve suyunki de sırasıyla (50°C'de) 990 ve 4.18'dir. Bu verilere göre, suyun sıcaklığındaki değişim:

$$20000 \times 1.020 \times 3.95 \times (34 - 4) = 30000 \times 990 \times 4.18 \times \Delta t_2$$

$$\Delta t_2 = 19.5^\circ\text{C}$$

Bu eşitlik sıcak suyun 50-19.5= 30.5 yani 50°C'den 30.5°C'ye soğuyacağını gösterir.

## *Sıvılar arasındaki sıcaklık farkı*

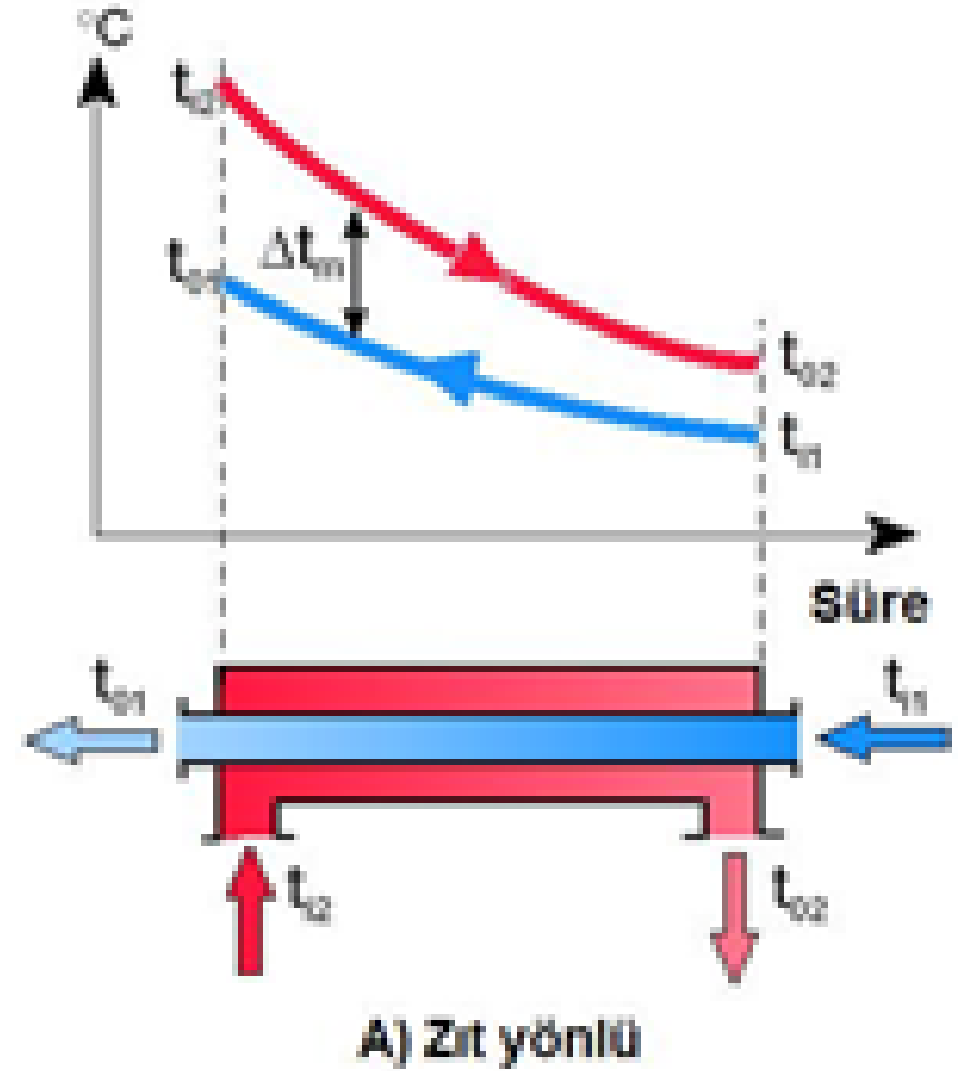
- Isı değişiminin gerçekleşeceği iki ortamın sıcaklıkları arasında bir fark bulunması gerekir. Sıcaklık farkı itici bir kuvvettir.
- Sıcaklık farkı arttıkça ısı iletimi artar ve ısı değiştiricinin boyutları küçülür.
- Isıya duyarlı ürünlerde ürünle yardımcı ortam arasındaki sıcaklık farkı sınırlı düzeyde tutulur.
- Sıcaklık farkı ısı değiştiriciye göre değişebilir. Hesaplamada logaritmik ortalama sıcaklık farkı olarak ifade edilen ortalama bir değer kullanılır.
- Ortalama sıcaklık farkının belirlenmesinde en önemli faktör ısı değiştiricideki sıvıların **akış yönüdür.**

## Sıvıların akış yönü

Sıvıların başlıca iki akış yönü mevcuttur

1. Zıt yönlü akış : Isı değiştiricide iki sıvı birbirlerine zıt yönde akıyorlarsa, bu sıvılar arasındaki sıcaklık farkından en iyi şekilde yararlanılır.

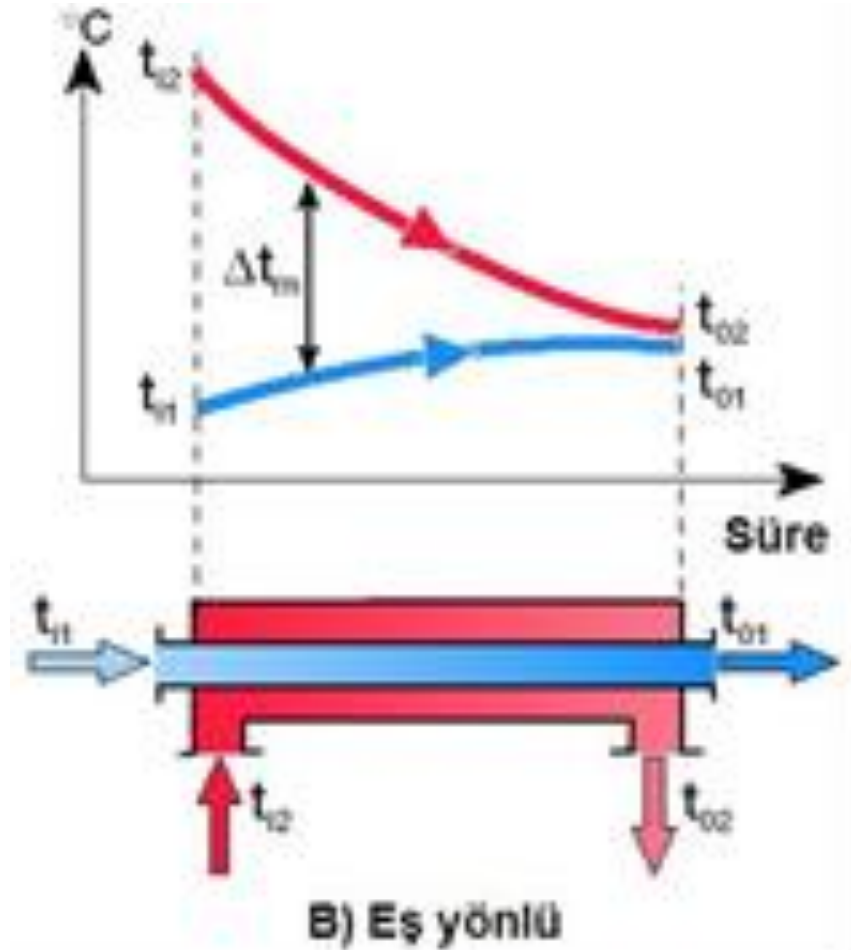
Soğuk haldeki ürün ısı değiştiriciden geerirken, önce soğuk daha sonra giderek ılık haldeki ortamla karşılaşır. Geçiş sırasında ürün giderek ısınır ve böylece yardımcı ortamla karşılaşma noktasında sıcaklık daima yardımcı ortamın sıcaklık derecesinin 2-3°C altındaki bir derecededir. Bu tip bir düzenlemeye zıt yönlü akış adı verilir.





2. Eş yönlü akış : Bu akış tipinde, her iki sıvı ısı değiştiriciye aynı uçtan girer ve aynı yönde akar.

Ürünün sıcaklığını, ürün ve yardımcı ortam karıştığında elde edilen dereceden daha yüksek bir dereceye çıkarmak mümkün değildir.



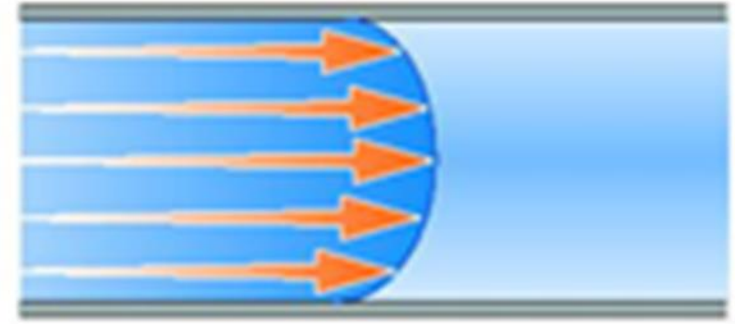
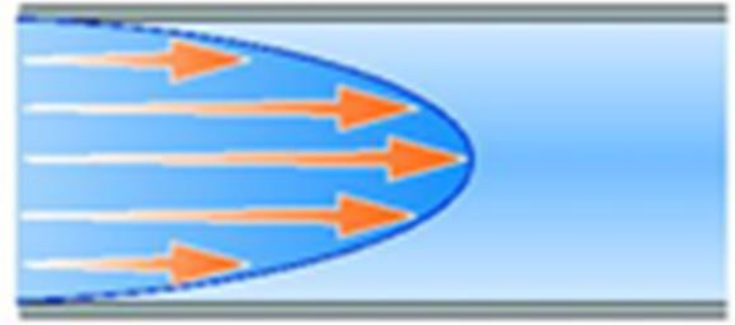
Sıvıların akışı da iki tipe ayrılır:

- a) Laminar akış : Bir akışkanı oluşturan zerrelerin sürekli ve düzgün paralel hatlar ve tabakalar halindeki akış şeklidir. Bu tip akış, örneğin; düz borularda ya da birbirine paralel çeperler arasında düşük hızlarda meydana gelir.
  
- b) Türbülent akış : Akışkanı oluşturan zerrelerin düzgün olmayan tabakalar halindeki akışıdır.

- Laminar akışda sıvının hızı, geçiş yaptığı boru ya da plakanın merkezinde en yüksek değerdedir. Tabakalar arasındaki sürtünme nedeniyle hız giderek yavaşlar ve borunun çeperinde sıfıra düşer. Dairesel bir boruda laminar akış sağlamak için, borunun çapı küçük, sıvının hızı düşük ve viskozitesi yüksek olmalıdır.

- Türbülent akış şeklinde, tabakalar birbirleri ile karışır ve bu nedenle sıvının hızı merkezde hemen hemen aynıdır, fakat çeperlere doğru hız birden azalır. Çeperlerde çok ince bir sıvı katmanı bir anlık sıfır hıza sahiptir.

**Laminar akış**



**Türbülent akış**

## *Toplam ısı iletim katsayısı*

- Isı iletiminin etkinliğini ortaya koymak için, toplam ısı iletim katsayısından yararlanır. Bu katsayı (k), her 1°C'lik sıcaklık farkında, ısıtıcı bölmenin 1 m<sup>2</sup> den geçen ısı miktarını ifade eder.

Toplam ısı iletim katsayısı üzerinde etkili faktörler:

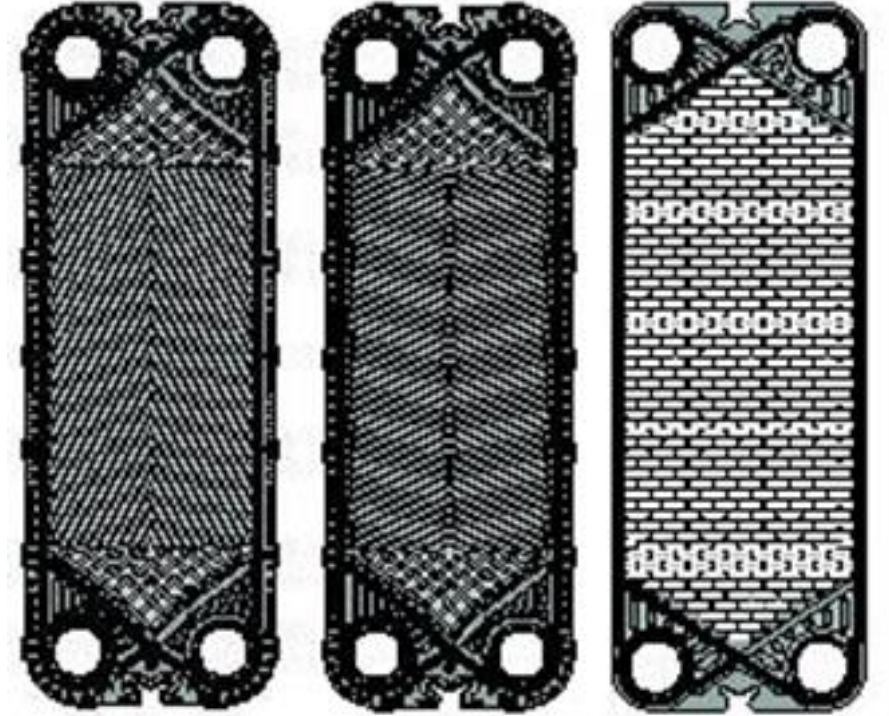
- Sıvıların basıncındaki azalma.
- Sıvıların viskozitesi.
- Plakanın biçim ve kalınlığı.
- Plakanın yapıldığı malzeme.
- Kirliliğe yol açan maddelerin varlığı.

## 4. *Sıvıların basıncındaki azalma*

- Sıvının bir borudan geçişi sırasında akış çizgisindeki her bir unsuru akmaya karşı direnç gösterir.
- Düz borularda bu direnç sıvı ile boru çeperleri arasındaki sürtünmeden ileri gelir. Köşe ya da kıvrımlarda da sıvının yön değiştirmesi nedeniyle ek bir sürtünme meydana gelir.
- Sürtünme sonucu, yön değiştirme ve bölme değiştirme gibi durumlarda bağlantı noktalarında, valflerde ve işleme ekipmanında bir direnç meydana gelir. Direncin büyüklüğü sistemdeki sıvının hızı ile orantılıdır.

## 5. Isı değiştiricinin tasarımı

- Paslanmaz elik materyalden yapılan ısı değiştiricilerden yararlanılır, çünkü paslanmaz çeliğin ısı iletim özellikleri nisbeten iyidir.
- Türbülent bir akış yaratmak ve böylelikle daha iyi bir ısı iletimi sağlamak için plakaya çoğunlukla oluklu bir biçim verilir
- Plakanın kalınlığı da önemli bir husustur. Plaka inceldikçe ısı iletimi de artar. Fakat, plaka aynı zamanda sıvıların basıncına dayanacak sağlamlıkta olmalıdır.



## *6. Kirliliğe yol açan maddelerin varlığı*

- Süt ürünlerinin çoğu ısıtmaya karşı duyarlıdır. Isı iletim yüzeyi üründen daha sıcak ise, sütteki proteinlerin pıhtılaşma ve plakalar üzerinde ince bir katman halinde birikme riski vardır.
- Bu ise, toplam ısı iletim katsayısı ve bunun sonucunda ürün çıkışındaki sıcaklık düşmesine yol açabilir.
- Isıtıcı ortamın sıcaklığı artırılarak bu durum giderilebilir, fakat bu da ısı iletim yüzeyinin sıcaklığını artırarak daha fazla proteinin yüzeyde pıhtılaşmasına neden olur, oluşan katmanın kalınlığı artar ve ısı iletim katsayısı değeri daha da fazla azalma gösterir.
- Bu nedenle, ısıtıcı ortam ile ürün arasındaki sıcaklık farkı olabildiğince az, normal olarak pastörizasyon derecesinin 2-3°C üzerinde olmalıdır.

### 3.3.1.7. *Çalışma süresi*

Çalışma süresi üzerinde kirlilik miktarı belirleyici bir faktördür.

Kirlilik oluşumu ise aşağıdaki faktörlere bağlı değişim gösterir;

- Ürünle ısıtıcı ortam arasındaki sıcaklık farkı
  - Süt kalitesi
  - Üründeki hava miktarı
  - Isıtma bölümündeki basınç koşulları
- 
- Üründeki havanın olabildiğince düşük düzeyde tutulması önemli bir noktadır. Üründe aşırı düzeyde hava bulunması kirliliğin artmasına büyük ölçüde katkıda bulunur.
  - Bazı koşullarda, plakalı ısı değiştiricinin rejeneratif bölümünde, pastörize sütün geçiş yaptığı kısmında mikroorganizmaların gelişimi de çalışma süresini kısıtlayıcı olabilir.



# Isı Değiştirici Tipleri

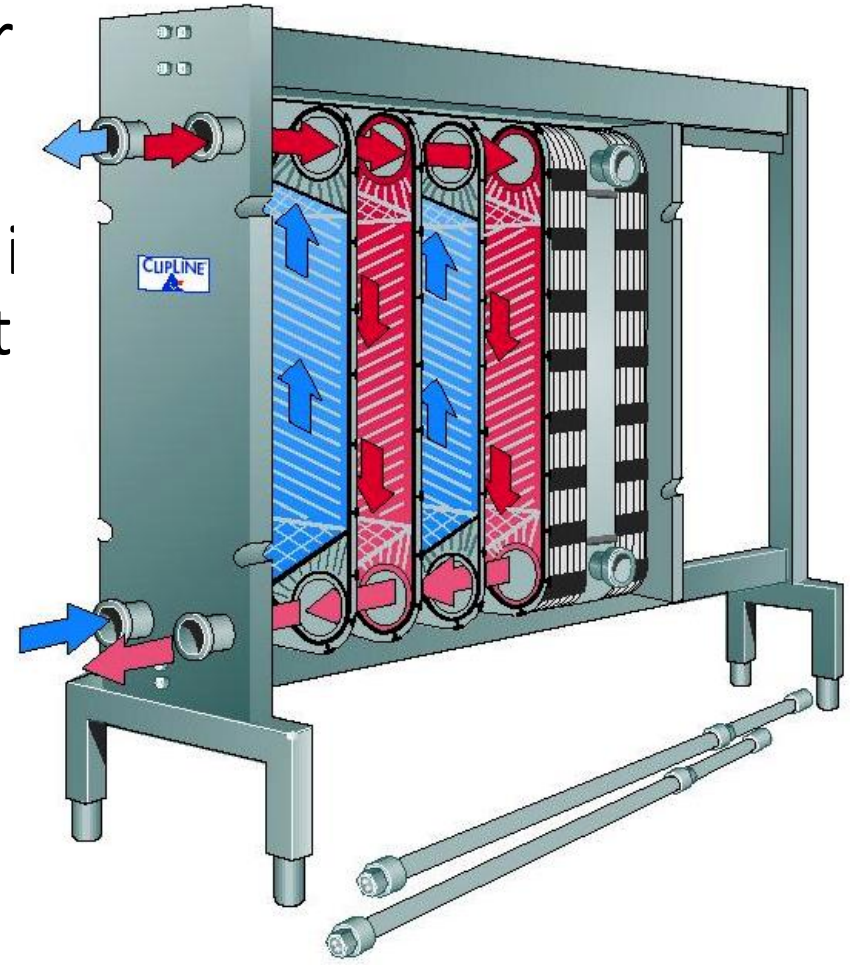
Başlıca üç tip ısı değiştirici kullanılmaktadır:

- Plakalı ısı değiştirici
- Borulu ısı değiştirici
- Yüzey sıyırmaalı ısı değiştirici

# Plakalı ısı değiştirici

Süt ürünlerine uygulanan ısılı işlemlerin çoğu plakalı ısı değiştiricilerde gerçekleştirilir. Plakalı ısı değiştirici, bir çerçeve içine sıkıştırılmış paslanmaz çelik plakalar paketinden oluşur

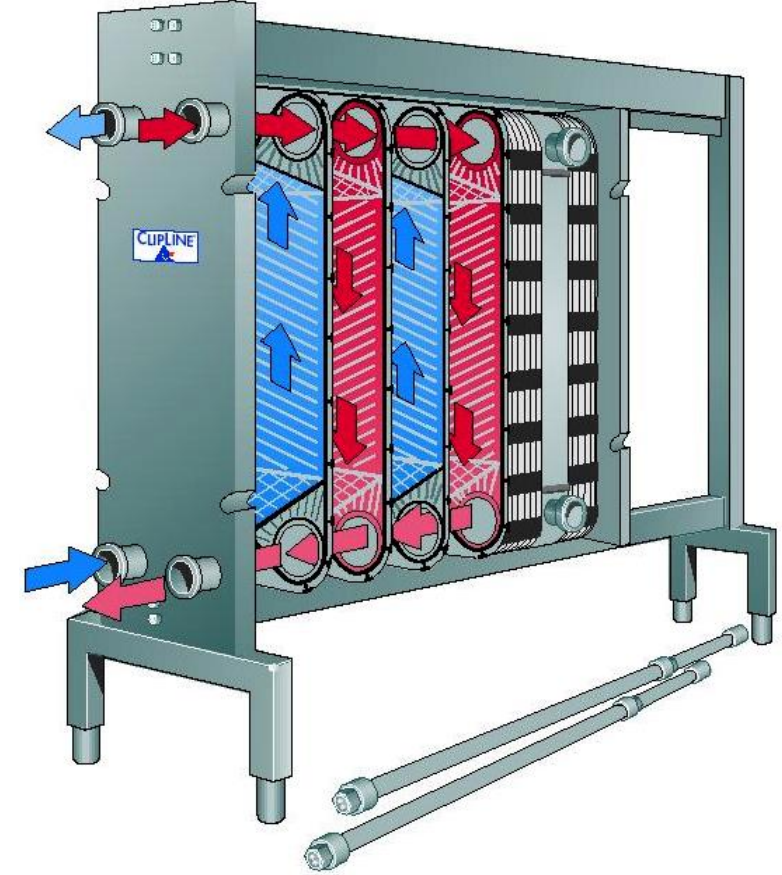
- Plakalar çerçevedeki taşıyıcı kol üzerinde i Bu şekilde birleştirme, temizleme ve cont kolaylıkla yürütülebilir.



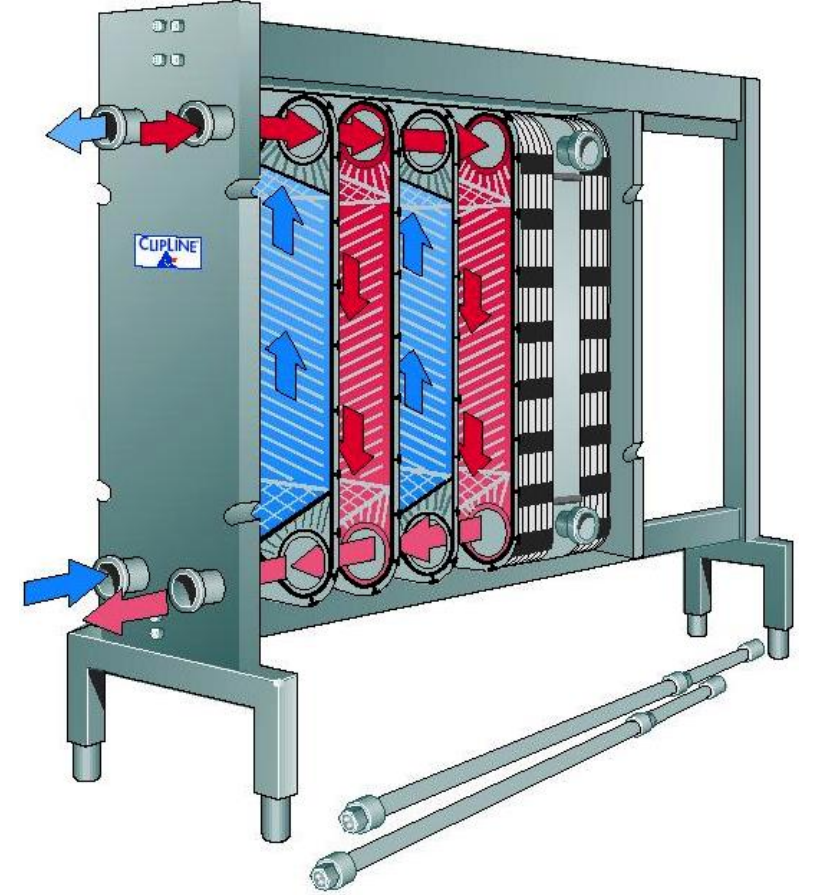
Çerçeveedeki plaka paketleri işlevlerine göre üç bölüme ayrılır:

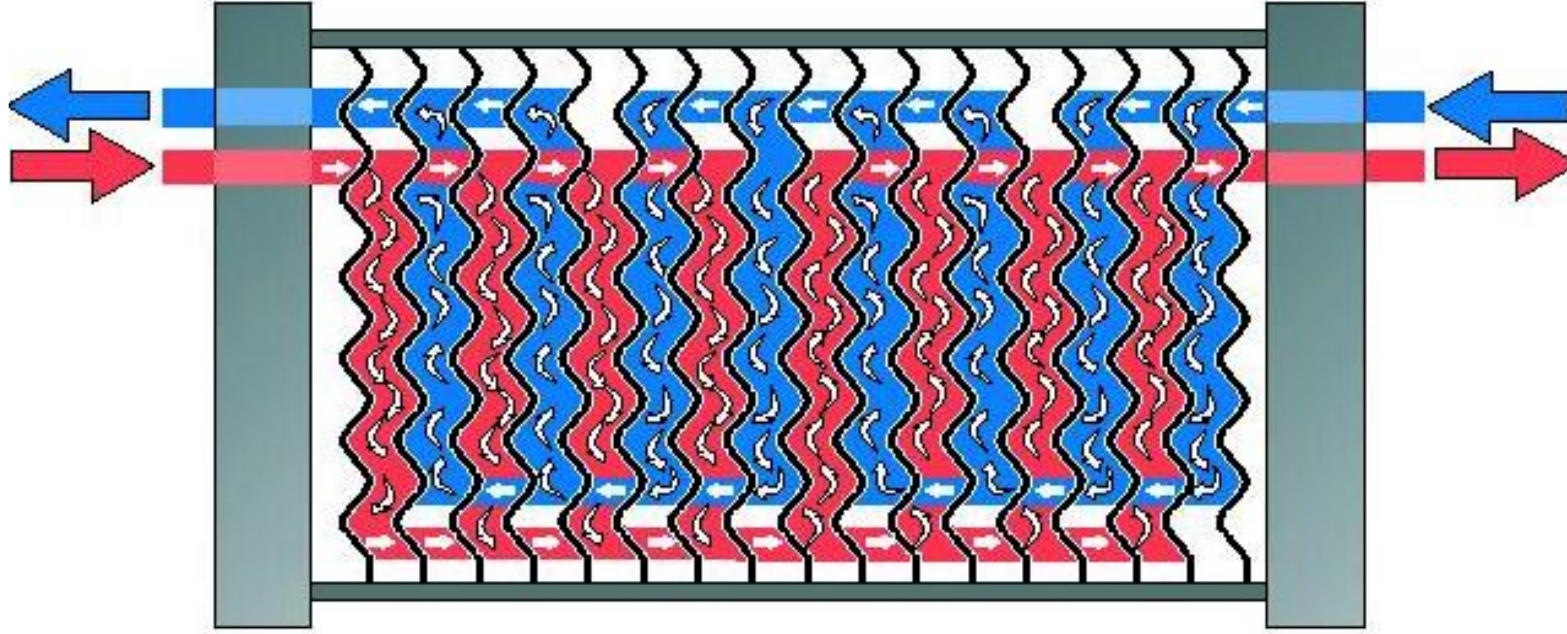
- a. **Rejenerasyon bölümü:** Çiğ sütün, ısıtma bölümünden gelen pastörize sütle ısıtıldığı bölümdür. Birçok pastörizatörde rejenerasyon bölümü iki kademelidir. Süt birinci kademededen yaklaşık 45°C'de separatöre, ikinci kademededen de homojenizatöre gider.
- b. **Isıtma bölümü:** Ön ısıtması yapılan sütün sıcaklığının sıcak su ya da vakumlu buhar yardımıyla pastörizasyon derecesine çıkarıldığı bölümdür.
- c. **Soğutma bölümü:** İstenen çıkış sıcaklığına göre değişmek üzere sütün soğuk su, buzlu su, salamura ya da alkol (propil glikol) yardımıyla soğutulduğu bölümdür.

- Paslanmaz çelikten yapılan plakaların kalınlığı 0.5-1.25 mm arasında değişir.
- Plakaların yüzeyleri türbülent bir akış yaratmak ve böylece optimum düzeyde ısı iletimi sağlamak amacıyla oluklu biçimde yapılmıştır.
- Oluklar üzerindeki destek noktaları plakaların belirli bir aralıkla ardı ardına dizilmesine yardımcı olur, aynı zamanda plakalar arasında sıvı akış kanallarının oluşmasını sağlar. Plakalar arasındaki açıklık 3-6 mm arasında değişebilir.
- Plakalar arasından ve deliklerden olabilecek sızıntıları engellemek için plakaların kenarlarında ve köşe deliklerinin çevresinde contalar bulunur. Özel lastikten yapılmış olan bu contalar ön-şekillendirmeli bir biçimdedir. Contalar kanalların sınırlarını oluşturur.



- Sıvılar kanallara plakaların köşelerindeki deliklerden girer ve çıkarlar.
- Köşe geçişleri, sıvıların plaka paketindeki kanallardan birer atlayarak akacağı şekilde düzenlenmiştir.
- Sonuçta, plakanın iki tarafında birbirine zıt yönlerde ürün ve yardımcı ortam (ısıtma ve soğutma) geçişi gerçekleşmiş olur.
- Etkili bir ısı iletimi için, plakalar arasındaki kanallar olabildiğince dar olmalıdır.
- Fakat, fazla miktardaki sıvının bu dar kanallardan geçişi, akış hızında bir artışa ve basıncın daha da azalmasına yol açabilir.
- İstenmeyen bu iki durumu önlemek amacıyla ürünün ısı değiştiriciden geçişi birkaç paralel akışa bölünerek gerçekleştirilebilir.





Şekilde mavi renkle gösterilen ürün ısı değiştirici bölmede yönünü 4 kez değiştiren iki paralel akışa bölünmüştür.

Kırmızı ile gösterilen ısıtma ortamı da yönünü 2 kez değiştiren 4 paralel akışa ayrılmıştır.

Bu kombinasyon  $4 \times 2 / 2 \times 4$  şeklinde gösterilir. İlk rakam değiştirdiği yön sayısını, ikinci rakam ise paralel akış sayısını belirtir. Bu tip bir gösterim şekline plakaların gruplandırılması adı verilmektedir.

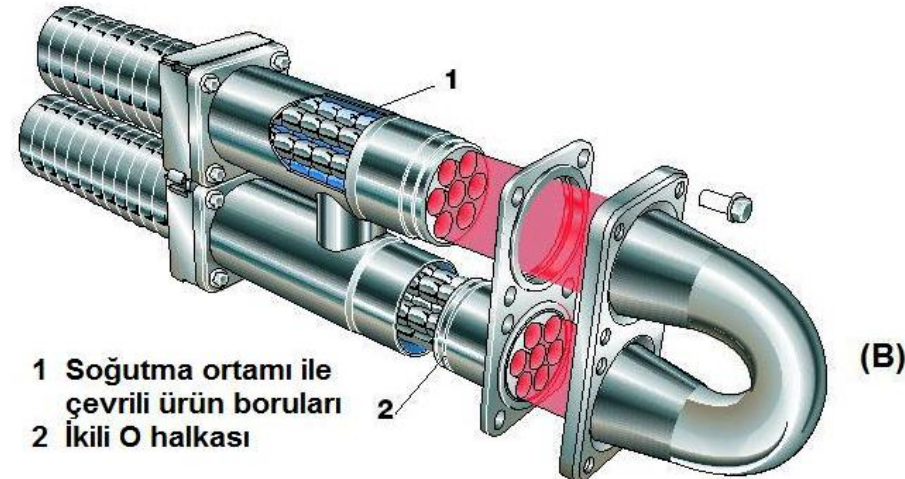
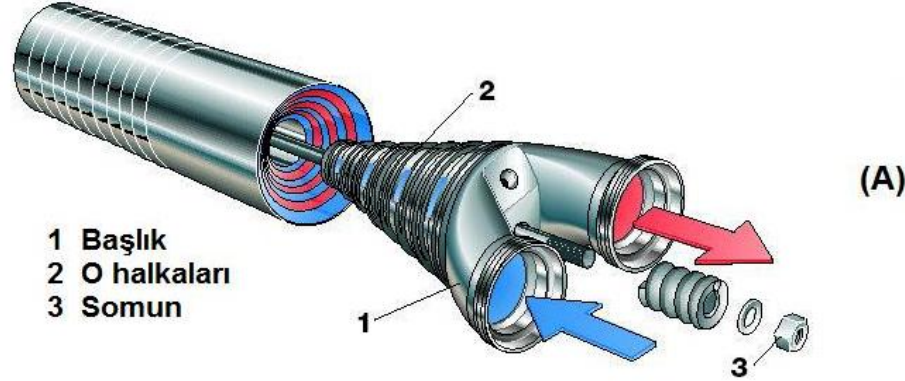
# Borulu ısı değiştiriciler

- Borulu ısı değiştiriciler plakalı olanların aksine, ürün kanalında değme noktalarına sahip değildir, bu nedenle, belirli bir partikül büyüklüğüne kadar olan ürünlerin işlenmesinde kullanılabilir. Maksimum partikül büyüklüğü borunun çapına göre değişebilir.
- Isı iletimi açısından, borulu ısı değiştiricilerin etkinliği plakalı olanlara göre daha azdır.

Borulu ısı değiştiricilerin başlıca iki tipi vardır:

- konsentrik borular ve
- kabuk-ve-boru şeklinde ısı değiştiriciler.

- Konsentrik boru sistemleri, aralarında belirli bir boşluk bırakılarak iç içe geçirilmiş iki ya da üç paslanmaz çelik borudan oluşmaktadır.
- Boruların arasında bulunan spiral bir tel, boruların ortak bir merkeze sahip olmasını sağlamaktadır. Borular daha sonra, hijyenik ve mekanik bir koruma sağlanması için, bükülerek bir dış koruyucuya yerleştirilmektedir.





- İki borulu sistemde, merkezdeki borudan işlenecek sıvı geçer, dıştaki boşlukta ısıtma veya soğutma ortamı bulunur. Bu sistem, rejeneratif ısı değişimi amacıyla kullanıldığında, her iki boşluktan da işlenecek sıvı geçer.
- Üç borulu sistem; sterilizasyon sıcaklığına son ısıtma aşamasında kullanılır. Burada sıvı, içteki iki boru arasında bulunan boşluktan akarken, ısıtıcı ortam merkez borudan ve dıştaki boşluktan geçer. Bu yolla ısı iletim alanı iki kat artırılarak ısıtma oranı artırılmış olur. Üç borulu sistem, özellikle yüksek ürün viskozitesinden dolayı soğutma hızının sınırlı olduğu son soğutma bölmelerinde de kullanılabilir.