

İÇME SÜTÜ TEKNOLOJİSİ_2

Separasyon

Süt teknolojisinde yağın separasyonu sütün yağsız fazının yağlı fazdan ayrılması işlemidir. Bu işlemin prensibi, sütün sulu fazında emülsiyon halinde bulunan yağ globüllerinin yoğunluğunun diğer süt bileşenlerinden farklı olması esasına dayanır. Süt yağı yoğunluğunun daha düşük olması nedeniyle kendi haline bırakılan sütlerde doğal yolla ayrılabilir. Fakat, yağın doğal yolla ayrılması için uzun bir süreye ihtiyaç duyulduğundan, süt işletmelerinde bu işlem krema separatörleri ile gerçekleştirilmektedir.

Krema separatörleri sütün separatöre verilmiş şekline göre 3 grupta toplanır:

- Açık krema makinaları
- Yarı hermetik (yarı kapalı) separatörler
- Hermetik (kapalı) separatörler

Tipik olarak 30 cm çapında tambura sahip ve hızı 6400 devir/dakika olan bir separatörle, süte yerçekimi kuvvetinin 7000 katı kadar bir kuvvet uygulanarak yağın separasyonu sağlanır.

Separatörlerde krema çıkışı tamburun üst kısmında, yağsız süt çıkışı ise tambur kapağının boyun kısmındadır. Yağı ayrılacak süt, merkezdeki borudan atmosfer basıncı altında separatöre girer. Hermetik separatörlerde, süt bir santrifüj pompa yardımıyla tambura alt kısımdan giriş yapar. Giriş borusunun dış kısmında konik çanakların üst üste dizildiği bir çanak tutucu bulunur. Süt çanak tutucunun alt bölümünden girer, çanaklar üzerindeki deliklerden geçerek aşağıdan yukarıya doğru çanaklar arasına dağılır.

Tamburda dönme hareketi başladığında, süt krema ve yağsız süt olmak üzere 2 kısma ayrılır. Merkezkaç kuvvet etkisiyle krema merkeze doğru, yağsız süt de tamburun dış kısmına doğru ilerler. Yağsız süt, çamur boşluğu ile tambur kapağı arasından yukarı doğru yükselerek ayırıcı çanağa gelir, buradan çıkış borusuna gider. Krema ise ayırıcı çanak ile merkezdeki boru arasında ilerleyerek ayar vidasının olduğu kısma gelir, buradan da separatörü terk eder.

Separatörlerle istenen yağ oranında krema veya süt otomatik olarak elde edilebilir. Bunun için separatörün krema çıkışına bir ayar vidası (krema ayar ventili) yerleştirilmiştir. Bu vida yardımıyla krema akış miktarı ayarlanabilir. Normal olarak, ayrılan krema miktarı toplam sütün %10'u kadardır. Krema ayar ventili tamamen kapatıldığında, separatöre giren sütün tamamı yağsız süt çıkışından geçiş yapar.

Separasyon işlemi üzerinde etkili faktörler

Yağsız sütte kalan yağın yüzde miktarı o separatörün "krema ayırma derecesi" ya da "krema ayırma yeteneği" olarak ifade edilir. Normal koşullarda bu değer %0.01-0.04 arasındadır, geliştirilmiş tiplerinde bu oran %0.005'e kadar düşmektedir.

Süt yağının separasyonu üzerinde etkili faktörler 2 grupta toplanabilir:

- a) Sütle ilgili faktörler
- b) Separatörle ilgili faktörler

a) Sütle ilgili faktörler

- Separasyondan önce süte uygulanan işlemler

Sütün bazı teknolojik uygulamalar nedeniyle mekanik zarara uğraması sonucu yağ globülleri daha küçük parçalara bölünür ve separasyon sırasında tamamen kremaya geçmeyip yağsız sütte kalırlar.

Sütte mekanik zarara yol açan işlemler şunlardır:

- Sütün, özellikle tamamen doldurulmayan taşıma araçları ile nakli sırasında kuvvetlice çalkalanması.
- Sütün birkaç kez pompalanması.
- Sütün soğutma sırasında kuvvetlice karıştırılması.
- Sütün birkaç kez klarifiye edilmesi.

- Sütün sıcaklığı

Süt yağının optimum düzeyde separasyonu 45-55°C arasında yapılabilir. Ayrıca separasyon sırasında sıcaklığın değişmemesi gerekir. Süt, plakalı pastörizatörden geliyorsa, separatöre daima aynı sıcaklıkta giriş yapar. Açık tipteki krema separatörlerinde sütün sıcaklığı değişebilir.

Sütün işletmeye kabul edildiği sıcaklık derecesinde de (5-10°C) separasyon yapılabilir. Fakat, düşük sıcaklık derecelerinde aşağıdaki sorunlarla karşılaşılabilir:

- a) Düşük sıcaklıkta kremanın akışı zorlaşır ve separatörden çıkış hızı azalır. Bu durum separatörün tıkanmasına ve düşük verimle çalışmasına yol açabilir. Sütün giriş hızını artırmak suretiyle bu durum çözümlenebilir. Bunun için de çanaklar arasındaki açıklığın artırılması gerekir. Bu da yağın ayrılma oranını olumsuz yönde etkiler.
- b) Küçük yağ globülleri de kremaya geçer ve bu kremadan tereyağı üretimi sırasında çoğunlukla yayıkaltında kalırlar. Dolayısıyla tereyağında randımanın azalmasına yol açarlar.

Sütün sıcaklığını yükseltmenin sağladığı yararlar şunlardır:

- Sütün viskozitesi azalır, yani daha akışkan bir hal alır.
- Yağ ile süt serumu arasındaki yoğunluk farkı artar.
- Genleşme nedeni ile yağ globüllerinin boyutlarında bir miktar artış görülür.

- Sütteki hava

Sütte havanın bulunması krema ve yağsız sütün çanaklar arasında dağılımı sırasında ters bir akış meydana gelmesine yol açar ve bu da krema ayırma etkinliğini azaltır.

- Yağ globüllerinin büyüklüğü

Çiğ sütün yağ oranı krema ayırma derecesi üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir. Fakat, yağ globüllerinin boyutları kremanın ayrılma derecesi üzerinde etkilidir. Küçük çaplı yağ globülleri yavaş yer değiştirdikleri için kremaya geçmez, yağsız süt içinde kalabilirler. Çapı 1 µm'den daha az olan yağ globülleri ayrılamaz, çapı 1-2 µm arasında olanlar da kısmen ayrılırlar. Sütün ılık halde iken karıştırılması küçük çaplı yağ globüllerinin oluşmasına ve separasyon sırasında kayıplara neden olur.

- Sütün bileşiminde mevsimlere ve coğrafik koşullara bağlı olarak meydana gelen değişimler

Sütün kimyasal bileşimi ile yoğunluk, asitlik, viskozite gibi fiziksel nitelikleri mevsimlere ve coğrafik koşullara bağlı olarak değişim gösterebilir. Bu değişimler de kremanın süttten ayrılmasını etkiler. Genellikle yaz sütlerinde krema ayrılma derecesi kış sütlerine kıyasla daha iyidir.

b) Separatörle ilgili faktörler

- Tamburun dönüş hızı

Separatörün optimum dönüş hızı üretici firma tarafından hazırlanan kullanım kataloğunda belirtilmiştir. Bu nedenle separatörün çalıştırılması sırasında bu hız değerine uyulmalıdır. Separatör tamburu optimumdan daha düşük hızda çalıştırıldığında ayırma yeteneğinde azalma meydana gelir. Daha yüksek hızda çalıştırılması ise tehlikeli olabilir. Modern separatörlerde tamburun dönüş hızını gösteren ve hızın düşmesi durumunda uyarı veren cihazlar vardır.

- Separatörün kapasitesi

Separatöre giren süt miktarı ile kremanın yağ oranı arasında ters bir ilişki vardır. Sütün miktarı arttıkça kremanın yağ oranı düşer, miktar azaldıkça kremanın yağ oranı artar. Buna göre, sütün debisini değiştirmek

suretiyle kremanın yağ oranı ayarlanabilir. Örneğin, normal süt debisinde %40 yağlı krema elde edilirken, süt debisi azaltılarak bu oran %75'e kadar çıkarılabilir.

Süt separatöre daima aynı hızda verilmelidir. Sütün akış hızında meydana gelebilecek değişimler kremanın yağ oranını da değiştirir. Modern separatörlerde süt ayarlı vanalardan geçerek separatöre giriş yaptığı için daima aynı miktarda süt akışı sağlanır.

- Separatörün sıcaklığı

Separasyona başlarken, separatör ve çanaklar soğuk olduğu takdirde, istenen krema ayırma derecesine ulaşmak için uzun bir zamana gereksinim duyulur. Bu nedenle, işleme başlamadan önce separasyon sıcaklığının 5-10°C üzerindeki sıcaklıkta su sirküle ettirmek suretiyle separatör ısıtılmalıdır.

- Separatörün çalışma süresi

Separatörden geçen sütün akış hızı, tamburun dönüş hızı ve sütün sıcaklığı gibi koşullar tam olarak yerine getirilse bile, separatör hiç ara vermeden belirli bir süreyle çalıştırılabilir. Kirlilik oluşturan maddelerin çanak yüzeylerinde ve tambur içinde birikimi separatörün krema ayırma etkinliğini olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle ortalama olarak 90-100 dakikalık bir çalışma süresinden sonra separasyon işlemine ara verilmeli ve separatör çamuru ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Üniversal separatörlerde buna gerek duyulmaz.

Separasyon süresi üzerinde etkili olan faktörler şunlardır:

- Sütün kirlilik düzeyinin yüksek olması.
- Sütün asitliğinin yüksek olması.
- Separatörden geçen sütün akış hızının yüksek olması.
- Sütün sıcaklığının yüksek olması.
- Sütün yağ oranının yüksek olması.

- Separatörün bakım ve temizlik durumu

Separatörün aşağıda belirtilen koşullarda çalıştırılması krema ayırma derecesinde değişimlere yol açabilir:

- **Tamburun titreşimli çalışması.** Montajın hatalı yapılması veya separatörün dengesinin tam olarak kurulamaması tamburun titreşimli çalışmasına neden olur, kremanın ayrılma derecesi azalır.
- **Çanakların hasar görmüş olması.** Özellikle temizleme amacıyla çanakların sökülmesi ve takılması sırasında dikkatli davranılmaz ise hasarlar oluşabilir. Bu takdirde krema ayırma derecesinde azalma meydana gelir.
- **Çanakların yüzeylerinin kirliliği olması.** Çanak yüzeylerinde kir birikimi çanaklar arasındaki boşluğun daralmasına ve krema ayırma etkinliğinin azalmasına yol açar.
- **Separatör çıkışlarının kirliliği olması.** Krema çıkış borusunun kir ile tıkanması krema debisini azaltır, kremanın yağ oranı artar. Yağsız süt hattının tıkanması durumunda da yağsız süt miktarı azalır, krema miktarı artar, kremanın yağ oranı düşer.

Sütün yağ oranı yönünden standardizasyonu

Tüm süt ürünlerinde bulunması gereken yağ oranı yasalarla belirlenmiştir. Örneğin, ülkemizde içme sütleri yağ oranlarına göre aşağıdaki tiplere ayrılmaktadır:

- Yağlı süt (en az %3 yağlı)
- Yarım yağlı süt (en az %1.5 yağlı)
- Yağsız süt (%1.5'den az yağlı)

Çiğ sütteki yağ miktarı, genellikle süt ürünlerinde bulunması gereken miktarlardan daha fazladır. Bu nedenle, süt ürünlerinde yasal olarak bulunması gereken yağ miktarını sağlamak için, işlem görecektir sütün yağ oranı belirli bir değere standardize edilir. Bu işlem sonucunda bir miktar krema elde edilir. Ayrılan krema genellikle tereyağı üretiminde kullanılır.

Sütün yağ oranı yönünden standardizasyonu iki yolla yapılabilir:

- Tankta standardizasyon
- İşleme hattında standardizasyon

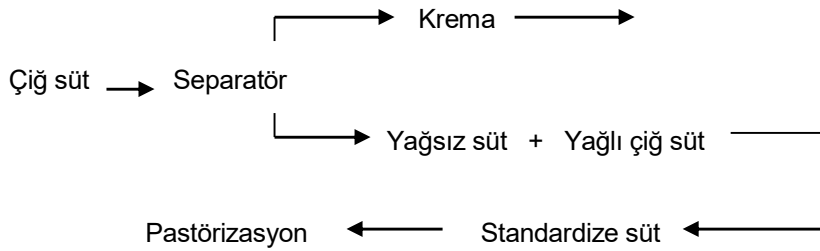
- Tankta standardizasyon

Küçük işletmelerde veya sütün az olduğu durumlarda yapılan bir standardizasyon işlemidir. Tam yağlı sütün ya da kremanın yağsız sütle karıştırılması esasına dayanır. Standardizasyon işlemi pastörizasyondan önce veya pastörizasyondan sonra gerçekleştirilir.

Standardizasyon işlemi pastörizasyondan önce yapılacak ise, aşağıdaki yöntem izlenir:

(A) Çiğ sütün yağ oranı fazla ise;

Önceden separatörde ayrılan yağsız süt yağlı süte karıştırılıp istenen yağ oranına ayarlama yapılır, standardize süt daha sonra pastörize edilir.



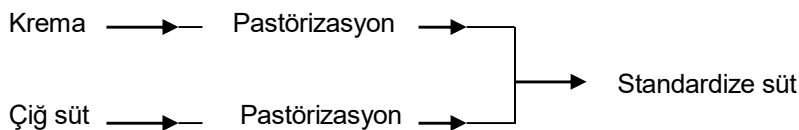
(B) Çiğ sütün yağ oranı az ise;

Daha önce elde edilmiş olan kremadan katılması gereken miktar, süte karıştırılarak standardizasyon yapılır, sonra süt pastörize edilir. Krema ilavesi sözkonusu olduğunda, iyi bir karıştırma yapabilmek için kremanın yağ oranı %30'u geçmemelidir. Homojenizasyon işlemi kısmi olarak gerçekleştirilecekse, sütün kreması mutlaka ayrılmalı ve standardizasyon işlemi homojenizasyondan sonra yapılmalıdır.

Standardizasyon işlemi pastörizasyondan sonra yapılacak ise, izlenecek yol aşağıdaki gibidir:

(A) Çiğ sütün yağ oranı düşük ise;

Daha önce elde edilen krema ve çiğ süt ayrı ayrı pastörize edilip karıştırılır, böylece istenen yağ oranına ayarlama yapılır.



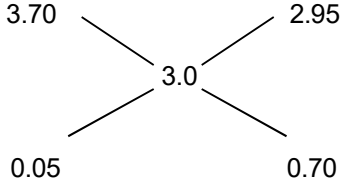
(B) Çiğ sütün yağ oranı yüksek ise;

Pastörize süt içerisine pastörize yağsız süt ilave edilir.

Standardizasyonda kullanılacak yağlı ve yağsız süt miktarları değişik yöntemlerle hesaplanabilir. Bunlardan "Pearson karesi" yöntemi en yaygın olarak kullanılan yöntemdir, yaklaşık sonuçlar elde edilmesini sağlar. Değerler miktar olarak ya da % olarak bulunur.

Hesaplama için karenin sol üst köşesine yağlı sütün, sol alt köşesine yağsız sütün ve ortasına da elde edilmek istenen standardize sütün yağ oranı yazılır. Bu yağ oranlarının farkı çapraz olarak karşı köşelere kaydedilir. Elde edilen değerlerden yararlanılarak basit bir orantı yardımıyla karıştırılacak süt miktarları bulunur.

Örnek 1: İşletmeye kabulü yapılan %3.7 yağlı 3500 litre sütün yağ oranı %3'e ayarlanmak istenmektedir. Standardizasyonda kullanılacak yağsız sütün yağ oranı %0.05 olduğuna göre, yağlı ve yağsız süt miktarları ne kadardır?

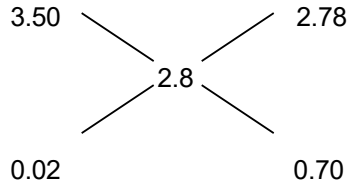


Bu sonuçlara göre, %3 yağlı standardize süt elde etmek için %3.7 yağlı sütte 2.95 kısım, %0.05 yağlı sütte de 0.70 kısım kullanılması gerekmektedir. Süt miktarı 3500 litre olduğuna göre;

Yağlı süte karıştırılacak yağsız süt miktarı= $3500 \times 0.70 / 2.95 = 830.5$ litre

3500 litre süte 830.5 litre yağsız süt ilave edilirse toplam 4330.5 litre %3 yağlı süt elde edilmiş olacaktır.

Örnek 2: İşletmede 3500 litre %2.8 yağlı süt elde edilmek istenmektedir. Mevcut yağlı sütün yağ oranı %3.5, yağsız sütün yağ oranı %0.02 olduğuna göre;



$$2.78 + 0.70 = 3.48$$

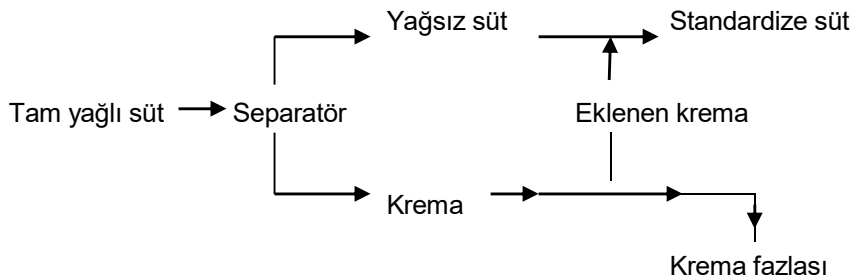
3.48 birim süt için 2.78 birim yağlı süt gerekmektedir, o halde 3500 litre süt için ne kadar yağlı süt kullanılmalıdır?

Yağlı süt miktarı = $3500 \times 2.78 / 3.48 = 2795.9$ litre

Yağsız süt miktarı = $3500 - 2795.9 = 704$ litre

- İşleme hattında standardizasyon

Bu yöntem standardizasyon işleminin süreklilik göstermesini sağlar. Standardizasyon amacıyla kullanılan cihazlar krema separatörü üzerine monte edilmiştir. Bu yöntemde, ön ısıtma işlemine tabi tutulan çiğ süt önce yağsız süt ve sabit bir yağ oranına sahip krema olmak üzere iki kısma ayrılır, daha sonra yağsız süt ve krema gerekli oranda yeniden karıştırılır. Kremanın fazlası ayrı bir yerde toplanır.



İşleme hattında standardizasyon manuel (elle) ya da bu amaçla yapılmış özel kontrol düzenekleri yardımıyla otomatik kontrollü olarak yapılır.

▪ Manuel kontrollü direkt standardizasyon

Manuel kontrollü direkt standardizasyon daha çok küçük kapasiteli işletmeler için uygundur. Standardizasyonun doğru bir şekilde yürütülmesi için şu parametrelerin bilinmesi gerekir:

- Yağsız sütün çıkış basıncı
- Kremanın ve sütün yağ oranı

- Yağsız süte yeniden ilave edilecek kremanın akış miktarı

Separatör üzerinde bu parametrelerle ilgili ayar düzenekleri vardır, bu düzenekler yardımıyla işlem sürekli olarak kontrol altında tutulur. Bu tip standardizasyonun doğruluk derecesi %0.01-0.4 arasında değişir.

▪ Otomatik kontrollü direkt standardizasyon

Otomatik kontrollü direkt standardizasyon, daha hassas ve büyük işletmeler için uygun olan bir yöntemdir. Bu yolla yağın standardizasyonunda, yağsız sütün çıkış basıncının sabit tutulması gerekir. Bunu sağlamak için, özel sabit basınç vanalarından yararlanılır.

Süt yağının otomatik kontrollü direkt standardizasyonunda iki önemli nokta vardır:

- a) Kremanın yağ oranının kontrol altında tutulması
- b) Yağsız sütle karışacak krema miktarının kontrol altında tutulması

- a) Kremanın yağ oranının kontrol altında tutulması

Ayrılan kremanın separatörden sabit bir yağ oranında çıkış yapması için aşağıdaki yöntemlerden yararlanılabilir:

▪ **Akış ölçer yardımıyla yağ oranının kontrolü.** Kremanın yağ oranını sürekli ölçmek için bazı standardizasyon sistemlerinde akış ölçerler kullanılır. Sütün separasyondan önceki sıcaklığı ve yağ oranı sabit tutulduğu sürece bu yolla doğru sonuçlar alınır. Bu değerlerdeki değişimler kremanın yağ oranında da saptalara yol açar. Cihazdan gelen bir sinyal krema akış hızını ayarlar, böylece doğru yağ oranı elde edilir.

▪ **Yoğunluk ölçer yardımıyla yağ oranının kontrolü.** Yağ oranı ile yoğunluk arasında zıt yönlü bir ilişki vardır. Bu ilişkiden yararlanılarak separatör çıkışında kremanın yağ oranı kontrol altında tutulabilir. Diğer taraftan sıcaklıkla yoğunluk arasında da bir ilişki vardır. Separasyon sıcaklığı arttıkça kremanın yoğunluğu azalır. Bu nedenle, separasyon süresince sıcaklığı sabit tutmak için süte ön ısıtma işlemi uygulanır.

Yoğunluk ölçerle doğru bir sonuç alınması için aletin ayarının doğru bir şekilde yapılması ve titreşime yol açacak durumlardan kaçınılması gerekir. Ölçüm için, separatörden ayrılan krema yoğunluk ölçere gelir, saptanan yoğunluk değeri bilgisayara elektrik sinyali olarak iletilir. Sinyallerin şiddeti kremanın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Yoğunluğun artması kremada yağın azaldığını ifade eder, dolayısıyla gelen sinyallerin şiddeti artar. Yoğunluk değişimlerine bağlı olarak bilgisayara gönderilen sinyallerdeki değişimler önceden bilgisayarda programlanan değerden saptalara yol açar. Bilgisayar, ayar ventiline giden çıkış sinyali yardımıyla iki değer arasındaki sapmayı giderecek ölçüde değişiklik komutu verir. Ayar ventilinin pozisyonu değişir ve kremanın yoğunluğu, dolayısıyla yağ oranı doğru değere ayarlanır.

▪ **Kombine yöntem.** Kremanın akış hızı ile yoğunluğunun birlikte kontrol edildiği standardizasyon yöntemidir. Bu yöntemde kontrol devresindeki akış ölçer, krema hattındaki akışı sürekli olarak ölçer ve kontrol paneline sinyal gönderir. Yoğunluk ölçerde belirlenen değer, önceden ayarlanan değerden sapma gösterirse, yoğunluk ölçerden gelen sinyal bağlantısı kesilir ve akış ölçer devreye girer. Akış hızı ayarlanarak yağ içeriğindeki sapma düzeltilir. Daha sonra yoğunluk ölçerden gelen sinyal tekrar bağlanır ve akış ölçer sinyali ile koordineli şekilde çalışır.

- b) Yağsız sütle karışacak krema miktarı

Sütün otomatik kontrollü direkt standardizasyonunda krema süttten ayrıldıktan sonra yeniden yağsız sütle karıştırılır, böylece belirli bir yağ oranına sahip standardize süt elde edilir. Bunu sağlamak için krema ve yağsız sütün yağ oranlarının sabit tutulması gerekir. Kremanın separasyonunda, yağ oranı normal olarak %35-40 arasında sabit bir değere ayarlanır. Yağsız sütün yağ oranı ise separatörün krema ayırma derecesine göre belirlenir.

Yağsız süt çıkışına sabit basınç valfi ve krema çıkışına da yoğunluk ölçer yerleştirilmiştir. Bu iki düzenek yardımıyla krema ve yağsız sütün yağ oranlarının sabit kalması sağlanır. Sistemde iki adet akış ölçer vardır. Bunlardan birisi standardize edilecek süt hattında, diğeri ise yağsız süte karıştırılacak krema hattında bulunur. İki akış ölçerden gelen sinyaller kendi aralarında bir oran oluştururlar. Bu değer kontrol paneline iletilir ve kontrol panelinde, ölçülen değer ile önceden ayarlanan değer karşılaştırılıp krema hattındaki ayar

ventiline sinyal olarak gönderilir. Eğer, akış ölçerlerden gelen sinyallerin oranı istenen orandan daha düşük ise, panelden ayar ventiline giden sinyal değişir. Bu durum, yağsız süte karışan krema miktarının yetersiz olduğunu ifade eder. Krema ventili kapanarak basıncın daha fazla düşmesi sağlanır, bunun sonucunda krema karışım hattındaki basınç artar ve karışım hattına daha fazla krema geçişi olur. Kontrol paneline giden sinyalde değişim meydana gelir ve hata giderek azalır. Bir süre sonra hata tamamen giderilir, gerekli miktarda krema yağsız sütle karışır.

Homojenizasyon

Süt, emülsiyon halinde bulunan bir sıvıdır. Emülsiyon, birbiriyle karışmayan iki sıvının çalkalanması sonucu elde edilen bir karışımdır. Kendi haline bırakıldığında, emülsiyonun yeniden fazlara ayrıldığı görülür. Emülsiyonu oluşturan sıvıların sürekli veya sürekli olmayan faz durumlarına göre iki tip emülsiyon olabilir:

- a) Suda-yağ emülsiyonu. Yağ tanecikleri süt serumu içerisinde dağılmış halde bulunur. Örnek olarak süt gösterilebilir.
- b) Yağda-su emülsiyonu. Su damlacıkları yağ içerisinde dağılmış haldedir. Tereyağı bu tip emülsiyona örnektir.

Sütün emülsiyon halinin bozulmadan uzun süre kalması için bazı fiziksel ve kimyasal uygulamalar yapılabilir. Bunlardan birisi mekanik bir uygulama olan homojenizasyon işlemidir. **Homojenizasyon**, süt içerisinde emülsiyon halinde bulunan ve sürekli olmayan fazı oluşturan yağ taneciklerinin daha küçük parçalara bölünmesi ve böylece yağın stabil hale getirilmesi amacıyla uygulanan bir işlemdir. Bu uygulama sonucunda, yağ globüllerinin sütün üst yüzeyine çıkmaları ve burada kümeleşerek kaymak tabakası oluşturmaları önlenmiş olmaktadır. Çiğ sütteki yağ globüllerinin çapı ortalama olarak 3-4 µm arasında olup, homojenizasyon işlemi sonunda globüller 0.5-1 µm çapında parçalara bölünmektedir.

Süt yağ globüllerinin etrafı protein-fosfolipid kompleksinden oluşan ve kalınlığı 5-10 nm arasında olan bir zarla çevrilidir. Bu zar sayesinde süt yağı serum içerisinde emülsiyon halini korur. Homojenizasyon uygulaması sonucu yağ globül zarı parçalanır ve ortamdaki globül sayısı 10 000 kat artar. Fakat, homojenizasyon uygulamasıyla globüllerin dış yüzey alanı da yaklaşık 10 kat büyüdüğü için önceki zar yeni oluşan globülleri çevreleyecek yeterlikte değildir. Bu nedenle, kazein miselleri ve serum proteinleri yeniden zar oluşturarak emülsiyon durumunun devamını sağlarlar.

Homojenizasyon işlemi "homojenizatör" adı verilen cihazlar yardımıyla gerçekleştirilir. Yağ globülleri "homojenizasyon kafası" veya "homojenizasyon başlığı" olarak bilinen homojenizatör kısmından geçerken yüksek bir mekanik kuvvetin etkisi altında kalır ve daha küçük çaplı parçalara ayrılırlar. Homojenizasyon başlığı içerisinde sütün çok ince bir iplikçik halinde geçebileceği bir yarık mevcuttur. Yarığın genişliği 300 µm'dir. Homojenizasyon sırasında süt bu yarığa 0.3-3.5 m/s hızla gelir, fakat yarığa girdiği anda 100-250 m/s hıza erişir. Bu durum yüksek bir kesme kuvveti oluşmasına, yağ globüllerinde kaviteye ve mikro türbülenans bir akış meydana gelmesine yol açar. Süt homojenizasyon kafasına 0.8-2.2 kg/cm² basınç altında girer, içeride basınç ürünü çeşidine göre değişmek üzere, 100-250 kg/cm²'ye kadar yükselir. Yağ globülleri basınç altında deformasyona uğrar, uzar ve sonunda dalgalar halinde parçalanarak 1 µm'den küçük parçalara ayrılırlar.

- Homojenizasyon yöntemleri

Homojenizasyon tam veya kısmi homojenizasyon olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Tam homojenizasyon işleminde, sütün tamamı homojenizatörden geçirilir. Sütün yağ oranının düşük olması nedeniyle, bu yöntemde iyi bir homojenizasyon etkinliği sağlanır. Fakat, zaman ve enerji gereksinimi fazla olduğu için pek tercih edilmez.

Kısmi homojenizasyonda, önce sütün kreması ayrılır, sonra kremanın yağ oranı %12-20 arasında olacak şekilde yağsız sütle ayarlama yapılır veya separatör ayarlanarak krema %12-20 yağ içerecek şekilde süttten ayrılır. Bu kremaya 50-70°C sıcaklıkta ve 150-200 kg/cm² basınç altında homojenizasyon uygulanır. Daha sonra, krema yağsız sütle karıştırılarak ürün çeşidine göre istenen yağ oranına getirilir. Kremanın yağ oranı yüksek, diğer bir ifadeyle parçalanacak yağ globül sayısı fazla olduğu için bu yöntemin etkinliği fazla değildir.

- Homojenizasyonu etkileyen faktörler

Bu faktörler şunlardır:

- Homojenizasyon sıcaklığı
- Homojenizasyon basıncı
- Homojenizatör kafasının tasarımı

a) Homojenizasyon sıcaklığı

Sütün sıcaklığı arttıkça globüllerin birbirleriyle kümeleşmeleri azalır. Süt için en uygun homojenizasyon sıcaklığı 60-75°C arasında değişir, sıcaklığın 50°C'nin altına inmesi istenmez.

Homojenizasyon sırasında, kullanılan mekanik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüştüğü için sütün sıcaklığında bir miktar yükselme meydana gelir. Sıcaklık artışı hesaplama yoluyla bulunabilir. Sütün giriş sıcaklığı ve hesaplama yoluyla bulunan sıcaklık artışı toplamı homojenizasyon sırasında ulaşılabilecek sıcaklığı verir. Toplam sıcaklık değeri istenen değerden yüksek veya düşük ise, sütün giriş sıcaklığında veya homojenizasyon basıncında ayarlama yapılır.

b) Homojenizasyon basıncı

Basınç arttıkça yağ taneciklerinin çapı küçülür. İçme sütü teknolojisinde sütün homojenizasyonu sırasında uygulanan basınç ve sıcaklıklar şu şekildedir:

Pastörize süt için	65°C'de 100-200 kg/cm ²
UHT sterilize süt için	65°C'de 150-250 kg/cm ²

c) Homojenizatör kafasının yapısı

Homojenizatör kafasının tasarımı yağ globülünün parçalanması üzerinde etkilidir. Düşük basınçta iyi bir kavitasyon etkisi yaratan kafanın homojenizasyon etkinliği daha fazladır.

- Homojenizasyonun sütün nitelikleri üzerine etkisi

Homojenizasyonun sütün nitelikleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Homojenizasyonun olumlu etkileri şunlardır:

- Süt yağının tüm kitlede eşit bir biçimde dağılımı sağlanır, yağın üst yüzeyde toplanıp kaymak tabakası oluşturması engellenir.
- Sütün viskozitesinde bir miktar artış meydana gelir, bu da sütün kalitesini olumlu yönde etkiler.
- Sütün ışığı yansıtma yeteneği arttığı için, rengi daha beyaz bir hal alır.
- Yağ globülleri daha küçük parçalara bölünerek yüzey alanları büyüdüğü için süt daha lezzetli olarak algılanır.
- Süt yağı daha kolay sindirilir.

Homojenizasyonun sütün kimyasal yapısında meydana getirdiği olumsuzluklar ise şunlardır:

- Homojenizasyon sırasında yağ globülünü çevreleyen zar parçalandığı ve yeni oluşan zarın koruyucu özelliği fazla olmadığı için sütte doğal olarak bulunan lipaz enzimi süt yağını kolaylıkla etkileyebilir.
- Süt güneş ışığından daha fazla etkilenir, bunun sonucunda ransid, sabunumsu ve okside tat kusurları meydana gelebilir.
- Süt proteinlerinin ısıya karşı stabilitesi azalır ve süt ısı işlem uygulaması sırasında kısa sürede kesilebilir. Bu durum özellikle yüksek sıcaklık uygulaması gerektiren ürünlerde sorun yaratabilir, bu gibi ürünlerde homojenizasyon işlemi sterilizasyondan sonra yapılmalıdır. Aksi takdirde, sütün uzun süreyle depolanması sırasında kutu diplerinde tortu oluşabilir, bu da kumlu yapı kusuruna yol açabilir.
- Bazen viskozitenin artması olumsuzluk olarak değerlendirilebilir.

Sütün Pastörizasyonu

Pastörizasyonun ilk amacı sütte bulunan patojen mikroorganizmaların tümünün yok edilmesidir. Patojenler içerisinde sıcaklığa en dayanıklı olanı, verem hastalığına yol açan *Mycobacterium tuberculosis*'dir. Bu bakterinin ısı stabilitesi 70°C'de 20 saniye, 65°C'de 2 dakikadır. Dolayısıyla sütü patojenler açısından güvenilir hale getirmek için uygulanacak sıcaklık ve süre koşullarının bu normların biraz üzerinde tutulması gerekir. Nitekim gerek kesikli gerekse sürekli yöntemle pastörizasyonda uygulanan normlar bu derecelerin üzerindedir.

Mycobacterium tuberculosis' in yok olduğu sıcaklık derecesinin biraz üzerindeki bir sıcaklıkta sütün doğal enzimlerinden olan alkali fosfataz da inaktif hale geçmektedir. Dolayısıyla pastörizasyon işleminin etkili bir şekilde yapılıp yapılmadığı bu enzimin aktivitesini kontrol etmek suretiyle belirlenir. Alkali fosfataz aktivitesi fosfataz testi yardımıyla tayin edilir. Tekniğine uygun şekilde pastörize edilen sütlerde fosfataz testi negatif sonuç verir, diğer bir ifadeyle o sütün içinde patojen mikroorganizma olmadığına karar verilir.

- Sütün kesikli yöntemle (LTLT) pastörizasyonu

Bu işlem genellikle 200-1500 litre kapasiteli tanklarda yürütülür. Tank çift cidarlıdır ve ceket içerisinden buhar veya sıcak su dolaştırılarak ısıtma sağlanır. Sıcaklığın sütün her tarafına eşit olarak dağılması için tankta uygun bir karıştırıcı olmalıdır. Pastörizasyon sıcaklığının kontrolü termometre ile yapılır. Tankın içindeki sütün sıcaklığı istenen dereceye geldikten sonra bu sıcaklıkta belirli bir süre beklenir. Daha sonra ceket içerisinden soğuk su geçirilerek süt soğutulur.

Isıtma ve soğutma işlemleri çok yavaş şekilde gerçekleştiği ve işlem süreklilik göstermediği için, kesikli yöntem az miktarda süt işleyen işletmeler için uygun bir ısıtma tekniğidir.

- Sütün sürekli yöntemle (HTST) pastörizasyonu

HTST yöntemiyle pastörizasyonda sürekli akış sistemine göre çalışan ısı değiştirici sistemlerden yararlanır. Isı değiştiriciler plaka veya boru şeklinde olabilir. Sütün pastörizasyonunda en yaygın olarak kullanılan ısı değiştirici tipi plaka şeklinde olanıdır.

Plakalar paslanmaz çelikten yapılmış olup, kalınlıkları 0.5-1.25 mm arasında değişir. Plakaların yüzeyleri oluklu bir biçime sahiptir. Bu şekildeki bir tasarım ile ısının süte optimum düzeyde iletimi mümkün olmaktadır. Oluklar üzerinde destek noktaları vardır. Plakalar belirli bir aralıkla birbiri ardına dizildiklerinde, destek noktaları sayesinde sütün geçiş yapacağı akış kanalları oluşturulur. Plakaların bir yüzünden süt, diğer yüzünden yardımcı ortam (ısıtma veya soğutma) geçiş yapar ve sıvılar plaka yüzeylerinden birbirlerine zıt yönde akarlar.

Belirli sayıda ısı değiştirici plaka bir çerçeve içine sıkıştırılarak biraraya getirilmek suretiyle **plakalı pastörizatör** adı verilen kapalı sistemler oluşturulur. Bir plakalı pastörizatörde soğutma, rejenerasyon, ısıtma gibi değişik işlevlerin yerine getirildiği bölümler vardır.

Sütü pastörizasyon sıcaklığına kadar ısıtmak için çoğunlukla sıcak su, soğutmak için de buzlu su, salamura veya alkol kullanılır. Fakat, su ve enerjiden tasarruf sağlamak için, pastörizatöre giren çiğ süt önce, sistemi terkeden pastörize sütle belirli bir dereceye kadar, daha sonra sıcak su yardımıyla pastörizasyon derecesine kadar ısıtılır. Isısını çiğ süte ileten pastörize süt de bir miktar soğumuş olur. **Rejeneratif ısıtma** adı verilen bu tarz ısıtma yoluyla ısının geri kazanımı sağlanmaktadır. Modern pastörizasyon işletmelerinde rejeneratif ısıtma etkinliği genellikle %93-95 arasındadır, diğer bir ifadeyle çiğ sütü pastörizasyon sıcaklığına ısıtmak için gereken toplam ısının %93-95'i sistemi terkeden pastörize süttten, %5-7'si ise sıcak sudan sağlanmış olmaktadır.

Pastörizasyon sisteminde yer alan alet ve ekipmanlarla bunların işlevleri aşağıdaki gibidir:

1. **Balans tankı.** Pastörizatöre girecek çiğ süt seviyesini sabit tutmaya yarar. Ayrıca, süt pastörizatörden yeterli sıcaklıkta yeterli sürede ısıtılmadan çıkarsa geçiş yönü kapatılarak balans tankına geri döner.
2. **Besleme pompası.** Sütü balans tankından pastörizatöre pompalama görevi görür.
3. **Akış kontrol düzeneği.** Pastörizatörden geçen süt miktarını kontrol altında tutar.

4. **Rejeneratif bölme.** Pastörizatöre giren soğuk çiğ sütün ön ısıtmaya tabi tutulduğu, pastörize sütün de ön soğutmasının yapıldığı bölümdür. Bu bölmede, çiğ sütün sıcaklığı pastörizatörü terkeden sütle klarifikasyon veya separasyon sıcaklığına çıkarılır, bu yolla pastörize süt de biraz soğur.
5. **Santrifüj klarifikatör.** Sütün merkezkaç kuvvet etkisiyle temizlenmesinde kullanılır.
6. **Isıtma bölümü.** Sütün sıcak su veya vakumlu buhar ile pastörizasyon sıcaklığına ısıtıldığı bölümdür.
7. **Bekletme borusu.** Pastörizasyon sıcaklığına ısıtılan sütün bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletildiği kısımdır. Bu kısım genellikle pastörizatörün dışında, spiral veya zigzag şekilli bir borudan ibarettir. Borunun üzeri metal bir örtü ile kaplanmıştır.
8. **Sıkıştırma pompası.** Pastörize sütün, plakalardaki ya da contalardaki olası aşınmalar sonucu çiğ süte sızıntı yapmasını önlemek için, pastörize sütün geçtiği taraftaki basıncı artırmak amacıyla kullanılır.
9. **Sıcak su ünitesi.** Sütün sıcaklığını pastörizasyon derecesine getirmek için kullanılan suyun ısıtıldığı bölümdür. Isıtıcı ortam olarak kullanılan suyun sıcaklığı pastörizasyon sıcaklığının 2-3°C üzerindedir. Suyun ısıtılmasında 6-7 bar basınçlı buhar kullanılır.
10. **Soğutma bölümü.** Pastörizasyondan sonra sütün çıkış sıcaklığına kadar soğutulduğu bölümdür.
11. **Akış çevirme valfi.** Sütün yetersiz pastörizasyona karşı korunmasında görev yapan bir cihazdır. Sıcaklığa duyarlı bir sensöre sahiptir. Sütün sıcaklığı istenen pastörizasyon derecesinin altına düştüğünde, sensörden kontrol paneline gönderilen sinyallere bağlı olarak sütün geçiş yolu kapanır ve süt balans tankına döner. Böylece bekletme bölümünden geçen sütün yetersiz ısıtılmış sütle karışması önlenmiş olur. Sıcaklık yeterli düzeye yükseldiğinde sütün yeniden geçişine izin verilir.

12. **Kontrol paneli.** Sıcaklık ve akış çevirme düzenekleri ile bağlantılıdır.

KAYNAKLAR

- Andersson, I., R. Öste. 1995. Nutritional quality of heat processed liquid milk. In: "Heat-Induced Changes in Milk". Ed. P.F.Fox. Publ. by International Dairy Federation, 41 Square Vergote, B-1040, Brussels (Belgium). pp. 279-307.
- Anonymous. 1996. "Dairy Processing Handbook/CD-Rom" by Tetra Pak. International Dairy Books, Frederiks Alle 22, DK-8000 Aarhus C, Denmark.
- Burton, H. 1988. Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Crown House, Linton Road, Barking, Essex 1G11 8JU, England, 354 p.
- Deeth, H.C. 1986. The appearance, texture, flavour and defects of pasteurized milk. In: "Monograph on pasteurized milk." Int. Dairy Fed. Bulletin No 200. International Dairy Federation, 41 Square Vergote, B-1040, Brussels (Belgium). pp. 22-26.
- Gürsel, A. İçme Sütü Teknolojisi ders notları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü, Ankara.
- Linden, G. 1986. Biochemical aspects. In: "Monograph on pasteurized milk." Int. Dairy Fed. Bulletin No 200. International Dairy Federation, 41 Square Vergote, B-1040, Brussels (Belgium). pp. 17-21.
- Metin, M. 1996. Süt Teknolojisi. 1. Bölüm: Sütün bileşimi ve işlenmesi. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayınları No: 33. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 623 s.
- Schaafsma, G. 1989. Effects of heat treatment on the nutritional value of milk. In: "Monograph on heat-induced changes in milk". Int. Dairy Fed. Bulletin No 238, International Dairy Federation, 41 Square Vergote, B-1040, Brussels (Belgium). pp. 68-70.
- Sezgin, E. 1981. İçme sütü teknolojisi. İçindedir: "Süt ve Mamülleri Teknolojisi". Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü Yayın No: 103. Ankara. s. 42-75.
- Yetisemiyen, A. (Editör). 2010. Süt Teknolojisi (Bölüm 1), Ankara Üniversitesi Yayınları No:1560, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, Türkiye, 298 sayfa. ISBN: 978-975-482-750-7.