

## KOYULAŞTIRILMIŞ VE KURUTULMUŞ SÜT ÜRÜNLERİ TEKNOLOJİSİ

### Koyulaştırma ve Kurutmanın Amacı ve Önemi

Kurutmanın bir ön işlemi olan Evaporasyonun (Koyulaştırmanın) asıl amacı ürünün dayanıklı hale getirilmesidir. Evaporasyon ve kurutma yoluyla elde edilen ürünlere "**Dayanıklı Süt Ürünleri**" denilmektedir.

Dayanıklı süt ürünü, süt veya yan ürünlerinden elde edilen, bir anlamda ısı uygulaması ile sterilize edilmiş ve suyunun uçurulmasıyla dayanıklı hale getirilmiş bir üründür. Bu ürünlerin üretiminde evaporasyon ile suyun bir bölümü, kurutma ile de suyun tamamı buhar halinde uzaklaştırılarak evaporasyon ve kurutma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Genel olarak koyulaştırılmış veya kondens edilmiş ürünler "**Kondens süt**" (veya Evapore süt), kurutulanlar ise "**Süttozu**" olarak isimlendirilmektedir.

Dayanıklı süt ürünlerini aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür.

1. Sıvı ürün olarak ;
  - a) Koyulaştırılmamış sıvı ürünler: Örneğin sterilize süt, dayanıklı kahve kreması, sterilize dövülmüş krema, sterilize kakao gibi...
  - b) Koyulaştırılmış sıvı ürünler: Örneğin % 7,5 yağlı kondens süt, % 10 yağlı kondens yağlı süt, şekerli yağlı kondens süt, şekerli yağsız kondens süt, kondens kakao gibi...
2. Toz ürün olarak ;
  - a) Sprey tozlar. Örneğin yağlı süttozu, yağsız süttozu, krema tozu, buzağı yemi, peyniraltı suyu tozu, yayıkaltı tozu, mama, eritme peyniri tozu, tam yağlı süttozu, dondurma tozu, sodyum kazeinat ve kakao tozu gibi...
  - b) Silindirik tozlar: Örneğin yağlı süttozu, yağsız süttozu, krema tozu, buzağı yemi, yayıkaltı tozu, peyniraltı suyu tozu gibi...
3. Aşırı koyulaştırma ile elde edilen ürünler;  
Örneğin , blok süt veya blok krema

Yukarıdaki açıklamalardan dolayı koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt ürünleri raf ömrü uzatılmış ürünlerdir. Kurutulmuş süt ürünlerinin su içeriği genellikle % 4'ten düşük iken, koyulaştırılmış süt ürünleri, kurumadde oranı % 20-50 arasında olacak şekilde kısmi su evaporasyonu ile elde edilmektedir.

Koyulaştırılmış veya kurutulmuş süt ürünlerinin üretilme nedenleri şunlardır:

1. Depolama: Uygun depo koşullarında küçük hacimler gerektirmekte ve aynı zamanda yüksek kalite uzun süre korunmaktadır.
2. Ekonomi: Ağırlık ve hacim azalmasından dolayı taşıma maliyeti düşmektedir.
3. Denge: Taze sütün yetersizliği durumunda süttozunun rekonstitüsü ile denge sağlanmaktadır.
4. Stratejik kullanımı: Savaş, salgınlar, depremler gibi zor dönemlerde taze sütün yerine süttozlarından yararlanılabilmektedir.
5. Formülasyonlar: Yeni geliştirilen gıda ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu formülasyonlar sporcular, nekahat halindeki hastalar, yaşlı kişiler için hazırlanmaktadır.

Üçüncü maddede yer alan taze süt üretiminin dengelenmesine bölgesel ve coğrafi nedenler ile mevsimsel nedenler etkili olmaktadır. Üretimin bol olduğu yerlerde sütün toz haline getirilerek çığ süt üretiminin az olduğu bölgelere iletilmesiyle toplumun süt ve ürünlerine olan ihtiyacı karşılanmaktadır. Yine süt üretiminin bol olduğu dönemlerde toz haline getirilen sütün dayanıklılığının artırılmasıyla süt üretiminin az olduğu aylarda, ki Türkiye'de özellikle Ekim-Ocak arası, süt üretim dengesizliği giderilmeye çalışılmaktadır.

Diğer yandan süt üretim miktarının fazla olduğu bazı Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerde fazla sütün kreması alındıktan sonra buzağı yeminde kullanılmak üzere yağsız süttozuna dönüştürülmektedir. Aynı amaçla peyniraltı suyu tozu da üretilmektedir.

Bunların dışında kazeinat ve peyniraltı suyu tozu gibi toz süt ürünleri, çikolata-, bisküvi sanayi, pastacılık gibi çeşitli gıda teknolojisi alanlarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

### **Koyulaştırma ( Evaporasyon )**

Yağlı veya yağsız sütün hacminin (suyunun) bir bölümünün (% 30-50) buharlaştırılmasıyla elde edilen koyulaştırılmış şekerli veya şekersiz süt ürününe kondens süt (evapore süt) denilmektedir.

Bu işlemde koyulaşan, akışkanın kurumaddesidir, yani koyulaşma ile akışkanın kurumaddesi nispi olarak yükselmekte, su oranı ise azalmaktadır.

Süt endüstrisinde evaporasyon ile sadece süt koyulaştırılmamakta, peyniraltı suyu, yayıkaltı, permeat gibi yan ürünlerde konsantre edilmektedir.

Yağlı veya yağsız kondens süt çeşitleri ya sterilizasyonla veya şeker ilavesi ile dayanıklı hale getirilmektedir. Şöyle ki;

1. Kondens yağlı süt : Klasik sterilizasyonla (şekersiz olarak)
2. Kondens yağlı süt : UHT Tekniği ile (şekersiz olarak)
3. Kondens yağlı süt : Şeker ilavesi ile
4. Kondens yağsız süt: Şeker ilavesi ile

Şekerli kondens süt üretiminde şeker kullanılmasındaki amaç hem tat açısından ürüne bir değer kazandırmak, hem de sterilizasyon yerine geçebilecek konservasyon sağlamaktır. Örneğin % 8 yağlı kondens şekerli sütteki sakaroz oranı yaklaşık % 44'dür. Kondens sütlerin yağ oranı % 7,5 - 10,5 arasında değişir. Ancak % 4 yağlı düşük yağ içeriğine sahip kondens süt de üretilmektedir.

### **Evaporasyonun prensibi**

Evaporasyonda genel olarak buharlaştırılması gereken kısım su kısmıdır. Sıvı haldeki suyu buhar haline getirmek için gereken ısı miktarına veya yoğunlaşma sırasında buhardan alınan ısı miktarına "buharlaşma gizli ısı" denilmektedir.

Tüm sıvılar içinde su en fazla buharlaşma ısısına sahip olanıdır. Su molekülleri katı solüsyondan ya da kolayca buharlaşmayan sıvıdan buhar olarak ayrılabilmek için yeterli enerjiyi elde ettiklerinde evaporasyon oluşur.

Yüzeydeki moleküllerin kaçış oranı öncelikle sıvının sıcaklığına, çevre sıcaklığına, sıvı üzerindeki basınca, yüzey alanına ve evaporatör çeşidine (ürüne transfer edilen ısı oranına) bağlıdır. Su molekülleri yüzeyden buhar olarak uzaklaşırken çevreden ısı alır. Kaynama kabının üzeri açıksa buharlaşmanın sonuna kadar sıvı gittikçe azalır. Eğer kabın ağzı kapalı ise sıvı ile kapak arasındaki hava, su molekülleri ile doyana kadar buharlaşma devam eder. Üründeki suyun evaporasyonla uzaklaştırılması, sürekli ısı ilavesi ve ürünün üzerindeki doymuş ya da nemli havanın değiştirilmesi (çekilmesi) ile sağlanır. Bu ise sıvının üzerindeki havanın itilmesi veya bir vakum ortamında basıncın düşürülmesi ile mümkündür.

Kaynama ise, yüzeydeki evaporasyonun tersine tüm sıvıda oluşan bir evaporasyondur. Kaynama olayında, ısı sıvının konulduğu kaba normalde kabın altından verilir. Isı kaynağının hemen ötesinde kabarcıklar oluşur, sıvının üst tarafına doğru yükselir ve ısıtma devam ettikçe tüm kütle ısıtılır ve buhar kabarcıkları sıvı yüzeyine doğru yükselmeye devam eder. Böylece kaynama gerçekleşir. Burada şunu da açıklamak gerekir:

Bilindiği gibi saf suyun kaynama noktası basınca bağlı olarak değişir. Deniz seviyesinde yani 760 mm Hg (1 Atmosfer) basınçta su 99,09 °C'de kaynar. Basınca bağlı olan kaynama noktası şöyle bir örnekle de açıklanabilir. Deniz seviyesinde yani P=1 kg/cm<sup>2</sup> basınçta su yaklaşık 100°C'de kaynarken Everest'in tepesinde yani P=0,25 kg/cm<sup>2</sup> basınçta kaynama noktası 65°C'dir.

Ortam basıncı suyun kaynama noktasını etkilediği gibi suyun içindeki erimiş maddeler de kaynama noktasını etkileyen bir faktördür. Örneğin süt, çözünmüş halde içerdiği laktoz ve mineral maddelerden dolayı 100,16 °C'de kaynamaktadır. Yine % 50 sakaroz içeren bir çözelti sudan 1,8 °C, % 75 sakaroz içeren çözelti ise 7,1 °C daha yüksek kaynama noktasına sahiptir.

Evaporasyon için mutlak gerekli olan ısı yardımı ile evapore edilecek sıvı kaynama derecesine kadar ısıtılır ve bu dereceden sonraki ısı artık buharlaşma gizli ısısıdır. Örneğin 20 °C'deki su 200 mm Hg basınçta buharlaştırılmak istenirse, su önce bu basınçtaki kaynama noktası olan 66,5°C'ye kadar ısıtılmalı, sonra 66,5°C'de buharlaşma gizli ısısı verilmelidir.

Buharlaşma gizli ısısı kaynama derecesine, kaynama derecesi de basınca bağlıdır. Örneğin saf su deniz seviyesinde 100°C'de kaynar ve buharlaşma gizli ısısı 538,9 kcal/kg'dır. Buna karşın 200 mm Hg basınçta (kaynama noktası 66,5 °C'de) buharlaşma gizli ısısı 559,5 kcal/kg'dır. Yani suyun kaynama noktası düştükçe buharlaşma gizli ısısı yükselir.

### **Evaporasyonda sıvıya ilişkin özellikler**

Evaporasyon sırasında sıvının bazı niteliklerinde değişimler olmaktadır. Sıvıya ilişkin en önemli nitelikler;

1. Konsantrasyon: Buharlaştırılacak çözeltiler genellikle seyreltiktir. Evaporatörde ise işlem boyunca konsantrasyon gittikçe derişik olur. Çözeltideki katı maddenin konsantrasyonu arttıkça viskozite ve yoğunluk da artar.
2. Köpürme: Bazı maddeler, özellikle yağsız süt gibi organik maddeler evaporasyon sırasında köpürürler. Bazen bu köpükler buhar ile birlikte kaçabilir, bu da evapore olacak madde için bir kayıp oluşturur.
3. Isı duyarlılığı: Birçok saf kimyasal madde, özellikle eczacılıkta kullanılanlar, orta ısıda bile kısa zamanda bozulurlar. Bunlar için özel teknik uygulanır.
4. Kabuk: Bazı organik materyaller ısıtıcı boru yüzeyinde evaporasyonun ilerleyen döneminde kabuk oluştururlar. Bu durumda ısının geçişi azaldığından buharlaştırıcı durdurulur, temizlik yapılır ve tekrar çalıştırılır.
5. Yapım malzemesi: Birçok çözelti demiri oksitlediğinden evaporatörler, gıda ve süt sanayinde mutlaka paslanmaz çelikten (18/10 krom-nikel alaşımı) yapılmalıdır.

### **Evaporatörler**

Yukarıda evaporasyon ve kurutmanın tarihçesi bölümünde ifade edildiği gibi evaporatörlerin gelişimi, öncelikle yayıkaltı ve peyniraltı suyunun kurutulması amacıyla koyulaştırma işlemi yapmak için geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak 19. yüzyılın ortalarından itibaren süt ve peyniraltı suyu evaporasyonla konsantre edilmektedir. 1950'li yıllardan itibaren ise bazı gereksinimler evaporatör teknolojisinde hızlı gelişmelere neden olmuştur. Bu gereksinimler şunlardır:

1. Daha yüksek üretim kapasitesi,
2. Su buharı, dolayısıyla enerji tüketiminde tasarruf etme,
3. Temizlikler arasında daha uzun çalışma süresi,
4. Isıtma, işleme ve mevsimlik koşullar gibi birtakım işlemlere adaptasyon.

Bilindiği gibi süt ve süt ürünlerinden suyun uzaklaştırılması normal koşullarda iki kademe gerçekleştirilir. Yağlı- ve yağsız süt, peyniraltı suyu, yayıkaltı, permeat gibi süt sanayine ilişkin akışkanlar önce bir evaporatör yardımıyla % 50 kurumaddeye kadar konsantre edilmekte ve daha sonra bir sprey kurutucuda % 3-4 nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Bu şu anlama gelmektedir; sütteki toplam suyun % 85 civarında büyük bir bölümü evaporatörde uzaklaştırılmaktadır. Yani evaporasyon tekniği süttozu üretiminde hem ekonomik açıdan, hem de toz kalitesinde olumlu etki yapmaktadır.

### **Diskontinü ( Kesikli ) evaporatörler**

Üründen buharlaştırılacak su miktarına karşılık % 100'den daha fazla enerjinin harcandığı ve diskontinü (kesikli) çalışan kazanlardan 50 yıl boyunca yararlanılmıştır. Bu tip vakum tanklarına belirli hacimlerde (örneğin 250 – 1.000 lt gb.) sütün kazan içine doldurulup kapalı sistemde vakum pompası vasıtasıyla oluşturulan vakum (düşük basınç) altında ve buhar boruları yardımıyla evaporasyon sıcaklığına kadar ısıtılıp süt suyunun buharlaştırılmasıdır.

Ancak bu tip basit evaporatörlerin bazı sakıncaları bulunmaktadır. Bunlar;

- Enerji harcamaları oldukça fazladır,

- İçinden buhar veya sıcak suyun geçtiği serpantin boruları yüzeyindeki yapışma ve yanmadan dolayı hem sütte besin maddesi kaybı görülmekte, hem de oluşan bu tabaka ısı geçişine izolasyon etkisi yaparak daha çok buhar sarf edilmesine neden olmaktadır.
- Daha düşük kapasite ile çalışılmaktadır.
- İki proses arasında mutlaka uzunca bir süre temizlik yapılması gerekmektedir.

### **Sirkülasyonlu ( Dönerli ) evaporatörler**

Sirkülasyonlu evaporatörler tek veya çok etkili olabilirler. Yani birbirlerine bağlanmış birden fazla evaporatördeki evaporasyon işlemi, her kademedede devam ederek akışkanın konsantrasyonu sürekli olarak yükselmektedir. Eğer yeterli kurumadde düzeyine ulaşılmamışsa o zaman konsantrat tekrar başlangıç etkiye dönmektedir. Geliştirilen bu tip evaporatörlerin tek etkili olanları düşük kapasitede ve batch (bir defa dolum ve boşaltma) tipi çalışmalarına karşın kısmen daha az enerjiye ihtiyaç gösterirler ve üründe yanmadan dolayı besin maddesi kayıpları fazla olmamaktadır.

### **Çok etkili düşen film (Falling film) evaporatörler**

Modern süt sanayinde artık düşen film evaporatörler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle çok etkilidirler, nadiren tek etkili olurlar. Özellikle toz ürünlerin üretiminde yüksek kurumadde düzeylerine çok etkili düşen film evaporatörler (ç.e.d.f.e.) ile ulaşılabilir. Süt sanayinde etki sayısı 8'e kadar çıkabilmektedir. Etki sayısını belirleyen kriterler, konsantratta çıkılacak kurumadde düzeyi ile işlenecek hammadde miktarıdır.

Düşen film evaporatörlere ince tabaka evaporatörler de denilmektedir. Bu evaporatörlerde bir buhar ceketini içinde ısıtıcı boruların geçtiği calandria bulunur. İçinden ürünün aktığı düşey konumdaki bu borular (serpantinler) 20 - 40 mm çapında ve 4 - 8 m uzunluğundadır.

Isı değiştirici yüzey alanına sahip borular demetinden oluşan düşen film evaporatörlerde ürün, calandrianın bulunduğu üst kısımdan boru iç yüzeylerine doğru belirli, eşit miktarda ve film şeklinde aşağıya akarken, aynı anda evaporasyonda gerçekleşmektedir. Boruların biri diğerinden çok az veya çok fazla dolmamalıdır.

Düşey boruların dış kısmındaki ceket içinde ısıtıcı olarak kızgın buhar veya sıcak su bulunmaktadır. Paslanmaz çelikten olan iç yüzeyinde ise ince bir film tabakası halinde evapore olacak akışkan yukarıdan aşağı doğru akmaktadır. Kapalı sistem içindeki vakumun ve sıcaklığın etkisi ile akışkan suyunun bir bölümü buharlaşmaktadır. Böylelikle koyulaşma devam etmektedir. Ç.e.d.f.e.'de 1. etkide belirli bir kurumadde seviyesine kadar koyulaşan ürün 2. etkiye geçmekte, oradan da daha sonraki etkilere sürekli bir kurumadde artışı olacak şekilde geçiş olmaktadır. Sonuncu etkide akışkanda istenen konsantrasyon seviyesine ulaşılmış olmaktadır. Düşen film evaporatörlerde calandria'ya alttan bağlantılı olan buhar seperatörlerinde hacim genişmesi ve basınç azalması etkisi altında koyulaşmış akışkandan çıkan evapore buhar ayrılmaktadır. Ayırıcı seperatörün alt kısmından alınan konsantrat, bir sonraki etkiye bir pompa yardımıyla aktarılırken, üst kısmından da ürün buharı yukarıdan vakum etkisi ile çekilir.

### **Koyulaştırılmış Süt Ürünleri Teknolojisi**

Esas itibariyle kondens süt çeşitlerinin ne olduğu hakkındaki bilgi "7.3. Koyulaştırma" bölümünde belirtilmişti. Bu çeşitler; % 7,5 ve % 10 yağlı kondens süt, % 4 yağ içerikli düşük yağlı kondens süt ve şekerli kondens süttür. Şeker ilavesi hem sterilizasyona alternatif olarak, hem de tatlımsı bir aroma sağlaması için yapılmaktadır. Örneğin % 8,1 yağlı şekerli kondens sütte sakaroz % 44'lük bir orana sahiptir.

### **Şekersiz kondens ( Evapore ) süt üretimi**

Evapore süt sterilize, konsantre ve homojenize süttür. Uzun raf ömrüne sahip ve tüketiciler için güvenli olan bu ürün tropikal sıcaklıklarda bile birkaç ay ve buzdolabında saklanma mecburiyeti olmaksızın saklanabilir. Su ile süt haline dönüştürüldüğünde ürünün aroma ve besin değeri taze sütünkinden çok farklı değildir. Geleneksel üretim yönteminde sterilizasyon şişelerde veya konserve kutularında yapılır. Bugün ise genellikle UHT yöntemi ile sterilize edilmekte ve karton kutulara aseptik dolum yapılmaktadır.

Geleneksel üretimde ürün, Maillard reaksiyonlarından (protein-laktoz reaksiyonları) dolayı esmerleşme gösterir ve aynı zamanda sterilize aromaya sahiptir. Klasik sterilizasyon ile üründeki lisinin % 10'u, B<sub>1</sub>, B<sub>12</sub>

ve C vitaminlerinin yaklaşık yarısı ve B<sub>6</sub>, folik asit vitaminlerinin de daha küçük miktarı zarar görmektedir. Evapore süt oldukça viskozdur (viskozite 40 mPa.s civarındadır, diğer bir deyişle taze sütte 20 kez daha fazladır). UHT yöntemi ile üretilen evapore sütlerde ise bu besin maddesi kayıpları daha az ve ürün daha beyaz renk, daha düşük viskozite ve daha iyi aroma vermektedir.

Evapore süt rekonstitüe edilerek, süt üretimi düşük ülkelerde (özellikle tropikal), rekombine süte (yağsız süttozu, susuz süt yağı ve sudan ibaret olan) alternatif olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde çoğunlukla kahve beyazlatıcı olarak tüketilir. Ambalaj açıldıktan sonra 10 günden fazla buzdolabında saklanabilir, çünkü başlangıçta bakterileri içermemektedir. Su içeriği azaltıldığından dolayı bakteri gelişimi oldukça yavaş olmaktadır. Aşağıda bazı evapore sütlerin yaklaşık bileşimi verilmektedir. Üretim prosesinde sütün ısı stabilitesini kontrol etmek için; CaCl<sub>2</sub> veya sodyumkarbonat fosfat veya sitrat ilave edilebilir. Bazen hafif kremimsi bir yapı için stabilizatör (örn. % 0,015 carregen) de katılabilmektedir.

Elde edilen kondens süt UHT yöntemi ile sterilize edilebilir. Bu durumda sterilizasyondan sonra süt aseptik olarak doldurulmalıdır.

Şekersiz kondens sütün üretiminde uygulanan işlemler hakkındaki açıklayıcı bilgiler şöyledir:

### **Sütün seçimi ve ön işlemler**

Tüm dayanıklı ürünler için istenen kaliteli süt, bu ürün için de geçerlidir. Yani;

- "Kaliteli çiğ süt" grubuna giren sütler seçilmelidir, sütün asitliği 7,2 °SH'nın altında olmalıdır.
- Sütün protein stabilitesi (yani koagülasyon meydana gelmeksizin şiddetli ısı uygulamasına göstermiş olduğu tolerans) yeterli olmalıdır, aksi halde termik yüklemde istenmeyen protein pıhtıçıkları görülebilir.
- Ürün sterilizasyon etkisi (sterilizasyon ile mikroorganizma ölümünün yüzde oranı) altında kalacağı için sporlu bakteri (Basiller ve Clostridialar gibi) ve ısıya karşı dirençli bakteri sayısı az olmalıdır.
- Çiğ sütün, uygun koşullarda muhafaza edilmesi kaydıyla 48 saatten daha eski olmaması gerekir.

Sütün koyulaştırmaya hazırlanmasındaki ön işlemler klarifikasyon ve standardizasyondur.

### **Isı uygulaması:**

Kondens süt üretiminde pastörizasyonun amaçları;

- Mikroorganizmaların imhası ve enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak,
- Isı muamelesi sırasında kalsiyum tuzları presipitasyona uğrarken, serum proteinleri denatüre olmaktadır. Böylece viskozite kısmen artmakta ve protein kompleksi stabilize olabilmektedir. Bu sayede depolama sırasında meydana gelebilen koagülasyon ve/veya jelasyona engel olmak,
- Evaporasyon için gerekli olan sıcaklık düzeyine çıkmaktır.

Isı işlemi genellikle 100-120 °C'de 1-3 s süreyle uygulanmaktadır. Bununla birlikte kazein stabilitesi açısından süte uygulanacak ısı-zaman normları aşağıdaki seçeneklerle de önerilebilir:

- 95 °C 'de 10 dak. (optimum stabilizatör ilavesi ile)
- 93,5-100 °C'de 10-25 dak.
- 120°C (5 s de ulaşmak koşulu ile) 3-4 dak.
- 135°C'de 4 s.

Sonuç olarak; ısı uygulaması son ürünün viskozitesi, dolayısı ile kalitesi üzerine etki eden bir proses aşamasıdır.

Pastörizasyon işlemi plakalı veya borulu ısıtıcılarda gerçekleştirilir ve süt evaporatöre girmeden önce sıcaklığı yaklaşık 70 °C'ye düşürülür.

### **Konsantrat eldesi:**

Sütün evaporasyonu amacıyla genellikle çok etkili düşen film evaporatörler kullanılmaktadır. Evaporatörde konsantrat elde edebilmek için materyal sütün su oranı % 70 civarına düşürülür. Bunun için evaporasyon vakum altında 65-70 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir. Konsantrasyon derecesi yaklaşık 1,07'ye

ulaştığında işlem durdurulur.

### **Homojenizasyon:**

Sütün homojenize edilmesinin nedenleri;

- Ambalaj içinde yağ damlaları oluşumuna engel olmak,
- Kahveye katımda beyazlatma gücünü artırmak,
- Paketlerde yağın iç yüzeye yapışmasını önlemek ve
- Sterilizasyon sırasında yağ globüllerinin birleşmesine engel olmaktır.

Bu işlem, süt yağı globüllerinin ortalama çaplarını azaltarak süt yağı emülsiyonunun stabilitesini geliştirmek için yapılır. Aynı zamanda yağ globülleri üniform ve daha küçük çapa ulaşır ve polidispers bir sistem oluşur. Süt yağı globüllerinin çapı homojenize edilmemiş sütte 0,1-15 µm, ortalama çap ise 3-5 µm'dir. Homojenizasyondan sonra yağ globüllerinin yaklaşık % 85' i 2 µm'den küçük çapa sahip olarak iyi bir dağılım gösterirler.

Kondens sütün homojenizasyonu 50 °C dolayında ve 125-250 bar basınçta yapılır. Homojenizasyon eğer UHT sterilizasyondan sonra yapılacaksa aseptik homojenizatör kullanılmalıdır. Homojenizasyon işleminin, amaçları gereği iki aşamalı yapılması önerilmektedir. Ayrıca çok şiddetli (yüksek basınçta) olmamalıdır, çünkü şiddetli bir homojenizasyon işlemi protein stabilitesini azaltmakta ve buna bağlı olarak sterilizasyon işlemi sırasında sütün pıhtılaşma riskini artırmaktadır.

### **Paketleme:**

Evapore süt homojenize edildikten sonra ya dar boyunlu cam şişelere, ya da teneke kutulara doldurulur. Genellikle şişeler 250 g, teneke kutular ise 170-410 g ürün hacminde dirler. Modern yöntemde ise UHT sterilizasyondan sonra karton ambalajlara aseptik dolum yapılır. Eğer konserve kutularda paketleme yapılmışsa ürün içinde demirin çözünmesini önlemek için kutunun içi kalay ile kaplanır.

### **Sterilizasyon:**

Bilinen sterilizasyon normlarında üretilmiş olan kondens sütler, dolumdan sonra ambalajları içinde (metal kap veya cam şişe) klasik sterilizasyonla otoklavda veya yatay sterilizatörlerde kesikli veya sürekli şekilde sterilize edilirler.

Sterilizasyonda özellikle patojenler, basiller ve Clostridialar gibi sporlu mikroorganizmaların ölmesi gerekir. Tüm bakteri sporlarını öldürmek ve bir süt proteinazı olan plasmin gibi enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak amacıyla yapılır.

110-120 °C'de 15-20 dak.'lık klasik sterilizasyonda önemli olan, ısının tüm kaplara eşit bir şekilde ulaşabilmesidir. Daha sonra kondens süt depolama sıcaklığına (8-10 °C) soğutulur. Sterilizasyon amacıyla UHT yönteminden de yararlanılmaktadır. Bu durumda süt, eğer gerekli ise yukarıda ısı uygulaması bölümünde belirtildiği gibi stabilizer eklenerek UHT sistemine pompalanmakta ve burada yaklaşık 140 °C'de 3 s süreyle sterilize edilmektedir. Soğutmanın ardından aseptik dolum makinelerinde karton ambalaja paketlenir.

### **Depolama:**

Metal veya aseptik karton ambalajlar, büyük karton kutular içine paketlenmeden önce etiketlenmektedirler. Pratikte kondens süt 0-15°C sıcaklıkta uzunca bir süre depolanabilmektedir. Ancak depolama sıcaklığı çok yüksek ise sütte kahverengileşme, çok düşük ise proteinlerin presipitasyonu söz konusu olmaktadır.

### **Şekerli kondens süt üretimi**

Şekerli koyulaştırılmış süt, evaporasyon ile konsantre edilen sütü konserve hale getirmeden önce ürünün dayanımını sağlamak ve tatlandırmak amacıyla sakaroz (doymuş çözelti formunda) ilave edilmiş olan süttür. Şekerli koyulaştırılmış süt özellikle tropik ülkelerde, pastalarda, çaylarda ve kahvelerde kullanılır.

### **Şekerli kondens sütün üretim akım şeması**

Şekerli kondens süt, taze süttten genellikle evaporasyon işlemi ile suyun uzaklaştırılması ve konsantre süte raf ömrünü uzatmak için şeker ilavesi ile üretilir. Evaporasyon ve şeker varlığı ozmatik basıncı artırarak mikroorganizma gelişimini önlemektedir.

Üretimde işlem aşamaları genel olarak şöyledir:

- Sütün seçimi ve hazırlanması
- Isı uygulaması
- Konsantrat eldesi ve şeker ilavesi
- Konsantratın soğutulması ve
- Paketlemedir

### **Sütün seçimi ve hazırlanması:**

Hammadde sütte aranan nitelikler şekersiz kondens süt için istenen niteliklerde olduğu gibidir. Son üründe istenen kalite gereksinimleri için materyal sütte Yağ / Yağsız kurumadde oranının ayarlanması gerekir.

### **Isı uygulaması:**

Isıl işlem şekerli kondens süt üretiminde uygulanan en yoğun sıcaklık olması ve ürün viskozitesinin gelişmesi bakımından özel bir öneme sahiptir. Isıl işlemin temel amacı ozmofilik ve termofilik mikroorganizmaları yok etmek, başta lipaz ve proteaz olmak üzere enzimleri inaktif duruma getirmektir. Bunun yanında ısıl işlem üründe yağ ayrılmasını azaltır ve oksidatif değişiklikleri inhibe eder. Şekerli kondens süt üretiminde yoğun ısı uygulaması ürünün viskozitesini etkilediğinden, depolama sırasında viskozite artabilir ve yapı bir jel şeklini alabilir. Bu bir hatadır, ancak bu hata sadece ısıya dayanıklı proteazlardan değil, kazeindeki fizikokimyasal değişikliklerden de ileri gelmektedir.

Isıl işlem plakalı veya borulu ısı değiştiricilerde 100-120 °C' de yapılmaktadır. Eğer yüksek viskoziteli ürün üretilmek isteniyorsa; süt 82 °C' de 10 dakikalık bir ısıl işleme tabi tutulmalıdır, buna karşın düşük viskoziteli bir ürün söz konusu ise sıcaklık-süre kombinasyonunun 116 °C' de 30 saniye olması gerekir.

### **Konsantrat eldesi ve şeker ilavesi:**

Konsantrat eldesi tıpkı şekersiz kondens sütte olduğu gibidir. Son ürünün bileşimi için konsantrasyon oranı genellikle 2:1' dir.

Şekerin eklenmesinde iki metot vardır:

1. Isı uygulamasından önce şekerin kuru olarak ilavesi,
2. Evaporatörde şekerin çözelti halinde ilavesi (şeker şurubu şeklinde)

Şekerli kondens süt üretiminde ki en önemli unsur şeker ilavesi olmaktadır. Şekerin doğru oranda katılması büyük önem taşımaktadır, çünkü burada sütün dayanımı doğrudan ozmotik basınca bağlı bulunmaktadır. Şeker konsantrasyonu, bakteri gelişimini inhibe edebilecek düzeyde ozmotik basınç yaratabilmek için sulu fazda optimum % 62,5 - 64,0 şeker / su oranında olmalıdır.

Genellikle kullanılan şekerler glukoz, dekstroz veya diğer şekerler olmasına karşın çoğunlukla eriyebilirliğinin iyi olması, fermentasyon yeteneklerinin az olması ve tüketici tercihleri gibi nedenlerle sakaroz tercih edilmektedir.

Şeker ilavesi eğer ısıl işlemde önce yapılırsa bakterilerin ve bakteri enzimlerinin sıcaklık dayanımı ve depolama sırasında ürünün viskozitesini artırır, evaporasyondan önce olursa o zamanda depolama sırasında viskozite artışına neden olabilmektedir.

Şeker ilavesi yapılmış sütteki laktozun evaporatörde muhtemel bir kristalizasyonundan kaçınmak için ısı transferi ve vakum birbiri ardına hemen ayarlanmalıdır.

## Homojenizasyon:

Koyulaşmış üründe kremleşme sık karşılaşılan bir problem olmadığından homojenizasyon her zaman uygulanmayabilir. Diğer yandan genelde şekerli koyulaştırılmış süt daha az viskoz olduğundan kalınlaşma daha seyrek görülmektedir. Yağ globülleri ile sürekli faz arasındaki kütle yoğunluğu fazladır. Bu yüzden homojenizasyon düşük basınçta, örneğin 2-6 MPa, uygulanmalıdır. Homejenizasyon aynı zamanda ürün viskozitesini çok az artırır.

## Konsantratin soğutulması ve kristalizasyonu:

Bu işlem şekerli koyulaştırılmış süt teknolojisinin en zor ve önemli aşamasıdır. Çünkü koyulaştırılmış sütteki su, ortamdaki laktozun ancak yarısını tutabilecek miktardadır. Bu nedenle laktozun diğer yarısı 15 µm 'den büyük boyutlardaki kristallere dönüşerek kristalize olabilecek, bu da üründe 'kumlu yapı' gibi yapısal bozukluklara neden olacaktır. Bunun için kenar uzunluğu 10 µm' yi geçmeyecek küçük kristallerin oluşumunu sağlayabilecek kontrollü bir uygulama yapılmalıdır. Bu irilikteki kristaller normal depolama sıcaklığında (15-25 °C) koyulaştırılmış sütün içinde uygun şekilde dağıldığı için dilde hissedilmezler.

Bu amaçla koyulaştırmadan sonra konsantrat, karıştırıcı tanklarda veya akışlı soğutucularda son derece süratli bir şekilde ve hızlı karıştırma eşliğinde önce laktozun optimum kristalizasyon sıcaklığına (25-27 °C) soğutulur, bu sıcaklıkta tohum laktoz kristalleri ilave edilerek (250-500 g/1000 kg) hızlı karıştırma işlemi bir saat daha sürdürülür ve karışım 15-18 ° C' ye soğutulur. İnokülasyonda % 0,5 oranında yağsız sütte veya % 0,2-0,3 oranında peyniraltı suyu tozu da kullanılabilir. Daha sonra bir tanka pompalanarak kristalizasyonun tamamlanması için ertesi güne kadar bekletilir. Bu yolla m<sup>3</sup> te 4x10<sup>11</sup> den fazla ve boyutları 10µm' yi geçmeyen kristaller oluşur. Böylece istenmeyen yapısal bozuklukların önüne geçilmiş olur. 1-1,5 saat içinde ürün mutlaka 15 °C' ye soğutulmalıdır.

Kristalizasyon şunlardan etkilenmektedir:

- Sıcaklık azalması
- Yüksek laktoz konsantrasyonu, >% 10
- İlave şekerin yüksek konsantrasyonu, >% 40
- Su miktarının az olması

## Paketleme:

Şekerli kondens süt, yeşilimsi-sarı bir renkte ve mayonez kıvamında olmalıdır. Bu ürün genel olarak metal ambalajlar ile paketlenmektedir. Günümüzde şekerli kondens sütlerin paketlenmesinde aseptik karton ambalajlardan da yararlanılmaktadır. Şekerli koyulaştırılmış sütler 10 °C'de bir yıl, 18-20 °C'de altı aya kadar depolanabilmektedir.

## Şekerli koyulaştırılmış sütlerdeki bozulmalar

**Mikrobiyel bozulma:** Bu ürün steril olmadığından canlı bakteri ve sporlar içerir. Ancak düşük su aktivitesi (yaklaşık 0,83) veya yüksek şeker içeriğinden dolayı mikroorganizma gelişimi önlenir. Mikrobiyolojik bozulmaya 'Torulopsis' cinsi osmofilik mayalar, mikrokoklar ve bazı küfler (Aspergillus repens, A. glavas) neden olur. Torulopsis grubu mayalar düşük şeker konsantrasyonunda gaz oluşumuna, meyvemsi aromaya ve protein koagülasyonuna neden olurlar. Mikrokoklar ise yüksek su aktivitesi, sıcaklık ve oksijen varlığında çoğalırlar ve gelişmeleri durunca aroma bozukluğu görülür.

**Kimyasal bozulma:** Bu tip bozulmada üründe önce kalınlaşma (koyulaşma) sonrasında jelleşme görülür. Kondens süttten daha konsantre olan şekerli koyulaştırılmış süt sakarozun etkisi ile daha çabuk kalınlaşmaz. Ürünün sürekli fazı evapore süte göre daha yüksek viskoziteye sahiptir. Yani difüzyon katsayısı daha düşüktür ve sınırlı tüm difüzyon reaksiyonları daha yavaştır. Sakaroz Ca iyon aktivitesini artırır. Bunun dışında şekerli koyulaştırılmış süt kazein misel flokülantlarını içermediğinden kalınlaşmadan önce viskozitede önemli bir azalış görülmez, viskozite zamanla lineer bir şekilde artar.

Zaman içinde kalınlaşmayı etkileyen ana faktörler şunlardır:



- Materyal süt: Mevsim ve miktara bağlı olan değişimler etkilidir. Laktasyon başında inek sütü kalınlaşmaya daha duyarlıdır.
- Sütün ön ısıtılması: Uzun süre UHT ısıtma uygulaması kalınlaşmayı önleyici / geciktirici bir etkidir.
- Şeker ilavesi: Evaporasyon sırasında yapılacak olan bir şeker ilavesi ile daha az ve daha geç bir kalınlaşma görülür.
- Stabilize tuzlar: Çeşitli tuzların stabilizasyon etkisi geniş bir spektruma sahiptir. Örneğin % 0,03 tetrapolifosfat ilavesi zamanla kalınlaşmayı geciktirir, ancak daha fazla ilavesi ters etki yapar.
- Depolama: Zamana bağlı koyulaşma depolama sıcaklığıyla artar.

Sürekli Maillard reaksiyonları kaçınılmazdır. Yüksek depolama sıcaklığı, yüksek konsantrasyonlar ve yüksek ısı uygulaması durumunda görülen kahverengileşmeye bir de ilave edilen sakaroz invert şeker içeriyorsa ilave Maillard reaksiyonları ortaya çıkar.

## Kurutma

Kurutulmuş süt ürünleri, yağlı veya yağsız süttten üretildiği gibi, laktik asit bakteri kültürleri (peynir, yoğurt veya kefir kültürleri gb.) ile asitlendirilmiş peyniraltı suyu, yayıkaltı veya krema ürünleri gibi ürünlerin önemli miktarda suyunun uzaklaştırılmasıyla (evaporasyon ve kurutma yöntemiyle) da elde edilmektedir. Kurutma, üründe su oranı en çok % 5 olacak şekilde yapılır. Süt kökenli toz ürünlerinin standart çeşitleri aşağıdadır:

- Yüksek yağ içerikli toz (krema tozu): Süt ve/veya krema ürünleri kullanılarak üretilen en yüksek % 5 su, en az % 42 yağ içerikli üründür.
- Yağlı süttozu: Süt hammaddesi kullanılır ve yağ içeriği en az % 26,0'dır.
- Yarım yağlı süttozu: Süt hammaddesi kullanılır ve yağ içeriği % 1,5-25,9 arasındadır.
- Yağsız süttozu: Süt hammaddesi kullanılır ve yağ içeriği en çok % 1,4'dür.
- Yayıkaltı tozu: Yayıkaltının kullanımıyla üretilir, su oranı en çok % 7'dir.
- Peyniraltı suyu tozu: Tatlı veya asit peyniraltı suyu hammadde olarak kullanılmakta ve en çok % 4 nem içermektedir.

Bunların dışında krema tozu, dondurma miks tozu, bebek mamaları, rekombine toz gibi değişik kurutulmuş ürünler de vardır.

Süt, toz haline getirilmeden önce suyu evapore edilerek kurumadesi belirli bir orana kadar (% 40-50 ) koyulaştırılır. Elde edilen koyulaştırılmış süt, çeşitli kurutma teknikleri ile % 3-5 nem içeriğine kadar kurutulur. Kurutma teknikleri genellikle 4 grupta toplanır:

1. Silindir (vals) yöntemi ile kurutma:
  - Atmosferik basınçta silindir kurutma
  - Vakumda silindir kurutma
2. Sıcak hava içine sütün pülverize edilmesi (spray) ile kurutma:
  - Santrifüj atomizör (santrifügal atomization) tekniği ile kurutma
  - Meme atomizör (nozzle atomization) tekniği ile kurutma
3. Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon) tekniği ile kurutma,
4. İstant (Granül halinde) kurutma: 3 aşamadan oluşur;
  - Kurutma, Nemlendirme-Granülleşme, Tekrar kurutma

Endüstriyel düzeyde ise süt, çoğunlukla silindir kurutucularda veya spray kurutucuda sıcak yüzey ve sıcak hava ile kurutulmaktadır. Yeni kurutma metotlarını, örneğin dondurarak kurutma gibi, geliştirmek için çeşitli çalışmalar olmasına karşın, spray ve silindir kurutma tekniklerinin avantajlarına ulaşılammıştır. Çünkü spray kurutma günümüzde ve gelecekte önemli bir ticari değere sahiptir ve ürün kalitesi, proses ekonomisi üst düzeydedir.

1970'lerde iki aşamalı spray kurutma geliştirilerek aglomera (topaklaşma) olmamış tozların üretimi sağlanmış ve 1980'lerde ise aglomera olmuş veya olmamış tozların üretilebildiği üç aşamalı (instant kurutma) spray kurutma geliştirilmiştir. Özellikle 1980'lerden itibaren spray kurutma yöntemine olan eğilimler, spray kurutma sistemini modifiye etmek için yoğun çabalar harcandığını göstermektedir. Bu

yöntemin iki önemli avantajı; enerji tüketimini azaltırken ürün kalitesini geliştirmesidir.

### **Kurutmanın prensibi**

Gıda maddelerinde farklı miktarda bulunan su, aslında birçok erimiş madde içeren bir çözelti olup, moleküler bağlı formdan kapiller kuvvet etkisi ile yüzeye bağlanmış forma kadar değişen çeşitli durumlarda az veya daha kuvvetli şekilde gıdaya bağlıdır. Bu nedenle gıda maddesindeki suya, saf su olarak bakmak yanlıştır.

Gıdadaki suyu uzaklaştırmanın iki şekli vardır. Su serbest ve bağlı olmayan formda ise;

- Nem veren yüzeyin doymuş buhar basıncı ile çevre basıncı eşit ise buharlaşma meydana gelir,
- Nem veren yüzeyin doymuş buhar basıncı çevre basıncından küçük ise uçma gerçekleşir.

Buharlaşmanın olabilmesi için su içeren ürün sıcak bir yüzey ile temas ettiğinde kaynama noktasına kadar ısıtılmalıdır. Ürün, yüzeyindeki doymuş buhar basıncı çevre basıncına eşit olduğunda ( $P=1,01325$  bar) ve  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kaynama noktası gösterir.

Buharlaşmanın ürünün sığağa hassasiyeti nedeniyle düşük sıcaklıkta yapılması gerekiyorsa, çevre basıncının düşürülerek vakum buharlaştırma gerçekleştirilmelidir. Çevre basıncı  $6,11$  mbar altına düşünce suyun her iki durumu, katı ve gaz formu, mümkündür. Su ürün içinde donmuş ise, ısı verilmesi buz fazının süblimasyonuna yani buzun erimeden doğrudan buhar haline geçmesine neden olur. Bu kurutma şekli dondurarak kurutma (liyoofilizasyon) olarak tanımlanır.

Buharlaşma yoluyla kurutmada sıcak hava ısısı konveksiyon yoluyla doğrudan ürüne geçer. Bu durumda hava soğur ve su buharını alır.

Kurutma anında en önemli olay, suyun kurutulan yüzeyin üstüne çıkması ve buharlaşmasıdır. Süt zerrelereinin iç yüzeyindeki suyun yüzeye ulaşması ve yüzeyde buhar fazına geçmesi, yalnızca bu suyun buhar basıncının çevredeki kurutucu sıcak havanın nispi buhar basıncından büyük olması ile mümkündür. Bu nedenle kurutucudaki sıcak havanın nispi su buharı basıncının her zaman sütteki suyun buhar basıncından düşük olması esastır. Bunun için de kuru ve sıcak hava sürekli olarak süt zerrelereinin püskürtüldüğü bölgeye basınçla veya türbülans etkisi ile gönderilir. Eğer hava akımı yaratılmaz ise, o zaman püskürtmenin olduğu bölgede kurutucu havanın su buharı ile doyup kuruma olayının durması tehlikesi söz konusudur.

Pülverize olmuş süt zerrelereinin yüzeyindeki bu suyun buharlaşmasından sonra "Acaba süt zerrelereinin iç tabakalarındaki suyu yüzeye hareket ettiren kuvvet nedir ? " diye bir soru akla gelebilir. Bu hareketi sağlayan birinci kuvvet, yüzeyin kuruması sonucu, burdaki su konsantrasyonunun düşmesi ve böylece alt tabakalardan suyun üst yüzeye yükselmesidir. İlerki aşamada zerrelere görülen buruşma ve büzüşmenin oluşturduğu ikinci bir etki kuvveti ile iç tabakalardaki su dışarıya doğru basılmaktadır. Zerrelere bünyesindeki suyun hareketine ilişkin bazı açıklamalar varsa da genellikle yukarıda anlatıldığı gibidir.

Süt ürünlerinin kurutulmasında sütteki suyun tamamına yakını uzaklaştırılır. Prensip olarak süt konsantre edilmeden kurutulmaz. Evapore süttten üretilen süttözu daha az hava absorbe eden büyük toz partiküllerini içerir ve uzun depolama süresine sahiptir. Eğer konsantre edilmeksizin doğrudan kurutulacak olursa bu daha büyük bir kurutma kapasitesi ve daha fazla bir enerji gerektirir. Aynı zamanda doğrudan yapılan kurutmalarda elde edilen tozların kalitesi de daha düşük olmaktadır.

Enerji açısından iki uygulama arasında yaklaşık 10 katlık bir fark vardır. Doğal olarak evaporasyon işlemi için de bir enerji gerekir, ancak evaporasyonda her 1 kg evapore su için 2 kg buhar tüketilir. Yani kurutmadan önce materyal % 45-50 kurumaddeye evaporasyon tekniği ile konsantre edilmelidir. % 50 kurumaddenin üzerinde bir evaporasyonla çalışıldığında, kurutma sırasında harcanacak enerji miktarında bir azalma olur. Ancak bu konsantrasyonda ürünün viskozitesi ciddi biçimde yükseleceği için, evaporatörün calandria (ısıtıcı) bölümünde tüpleri tıkama ve kurutucuda püskürtmenin zorlaşması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan elde edilen tozun eriyebilirlik niteliği de bozulmaktadır.

Silindir kurutmada evaporasyon sırasında konsantrasyon % 33-35 toplam kurumadde düzeyine çıkarılır. Oysa sprey kurutucular için bu değer % 40-50 kadardır. Evaporasyon sırasında konsantrasyondaki bu farklılık kurutma yönteminden ileri gelmektedir.

## Kurutma teknikleri

Yukarıda detayları verilmekle birlikte genel itibariyle kurutma teknikleri, aşağıdaki 3 ayrı yöntemle göre sınıflandırılır:

1. Silindir (vals) yöntemiyle kurutma,
2. Sprey (püskürtme) yöntemiyle kurutma,
3. Liyofilizasyon tekniği ile kurutma (dondurarak kurutma).

### Silindir ( Vals ) yöntemiyle kurutma

Silindir yöntemi ile kurutmada süt, içerisinde ısıtıcı buhar bulunan silindirler üzerine akıtılmakta ve sıcak yüzey ile temas eden sütün suyu evapore olmakta, buharlaşan su ise hava akımı yardımıyla çekilmektedir. Bu metot, tam yağlı süttozundaki gibi yağsız süttozunda da başarı ile kullanılmaktadır. Isıtıcı yüzeyin yüksek sıcaklığı proteinlerde değişime neden olmakta, bu ise ürünün eriyebilme niteliğini etkilemekte ve rengini de soldurabilmektedir. Ayrıca şiddetli ısı uygulaması tozun su tutma kapasitesini artırdığından bu yöntem şekerleme, gıda vb. gibi diğer endüstrilerde de uygulama alanı bulmuştur.

Silindir kurutmada kuruma olayı ağırlıklı buharlaşma yoluyla gerçekleşir. Çünkü burada doymuş buhar basıncı çevre basıncına eşit veya çok yakın düzeydedir. Bu yöntem ile kurutma iki şekilde uygulanır:

1. Tek silindir ile kurutma
2. Çift silindir ile kurutma

Silindir yöntemi ile kurutma atmosferik basınç veya vakum ortamında gerçekleştirilmektedir. Kurutucu silindirler içinde kızgın buhar veya sıcak su bulunmaktadır.

Dış yüzeyi paslanmaz çelikten yapılmış ve içindeki mil etrafında dönen silindirler, içten ısıtılmasına imkan veren buhar giriş vanası ve buharın yoğunlaşmasından oluşan kondens suyun (buhar kondensatı) alındığı blöf vanası ile donanmıştır.

Silindirler oldukça düşük devir ile dönerler. Bu dönme sırasında haznede veya iki silindir arasındaki havuzda bulunan koyulaştırılmış süt, çok ince film tabakası şeklinde silindir yüzeyine yapışır ve kızgın buhar etkisi ile kurur. Silindirin bir dönüşünde silindir çevresinin  $\frac{3}{4}$ 'lük kısmında (~ % 70-80) kurumanın tamamlanması gerekir.

Silindir kurutmaya etki eden faktörler şunlardır:

- Süt film tabakasının kalınlığı.
- Film tabakası kalınlığının yüzey alanının her noktasında aynı olması.
- Kurutma sıcaklığı ve süresi.
- Konsantratin sıcaklığı.
- Konsantratin kurumadde düzeyi.
- Hammaddenin yağlılık ve yağsızlığı, örneğin yağsız sütte randıman yağlı süte göre % 20 daha azdır, çünkü daha çok su içermektedir.
- Sütün asitliği, en çok 7,5 °SH olmalıdır.

Bir başka silindir kurutma yöntemi de vakumda kurutmadır. Bu teknikte çift silindirler, her türlü bulaşmayı önlemek ve vakum (düşük basınç) sağlayabilmek amacıyla kapalı bir hücre içine yerleştirilmişlerdir. Kuruma, kapalı odadaki düşük ortam basıncı (vakum) etkisiyle daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Eğer kurutmadan önce koyulaştırma yapılmış ise bozulmalara yol açabilen oksijenin de kısmen elemine edilmiş olmasından dolayı elde edilen tozun eriyebilirlik niteliği daha da iyi olmaktadır. Vakum silindir kurutma ~ 0,91-0,98 atm. basınçta ve 100 °C'nin altındaki sıcaklıkta gerçekleşir. Ancak bu yöntemle elde edilen silindirik tozların nem içeriği daha düşük olmasına karşın bayatlama kusuru görülebilmektedir.

Vakum ortamında kurutulan tozun yukarıda belirtilen özelliklerine karşın, ortam (atmosfer) basıncı altında silindirde üretilen tozların daha iyi toz nitelikleri gösterdikleri ifade edilmektedir. Süt endüstrisinde en çok kullanılan yöntem atmosfer basıncı altında çalışan çift silindirli kurutmadır.

## Sprey (Püskürtme) yöntemiyle kurutma

Süt ve ürünlerinin kurutulmasında kullanılan sprej yönteminde evapore süt ince deliklerden atomize edilmekte ve yatay veya düşey pozisyondaki sprej kurutma kulesinde sıcak hava akımına maruz kalmaktadır. A.B.D.de yatay kurutma odaları yaygın olmasına karşın, genelde düz ya da konik tabanlı düşey kurutucu kulelerin daha sık kullanıldığı görülmektedir.

Sprej yönteminde uygun bir şekilde dizayn edilmiş kurutma odası (kule) içinden geçirilen sıcak hava akımı içersine süt, santrifüj veya nozzle atomizör yardımıyla bir sis şeklinde püskürtülmektedir. Her ne kadar ürün sıcak hava ile doğrudan doğruya temas halinde ise de, konsantrat (süt) suyunun aniden hızla buharlaşması süt zerrelere düşük sıcaklıkta kurumasını sağlamaktadır. Tıpkı silindir yöntemindeki gibi buharlaşmanın, yani kurumanın sonuna doğru (kule çıkışında) süt zerrelere düşük sıcaklık ani bir yükselme göstermektedir.

Sprej kurutmanın kısa özeti şöyledir: Kule içine sıcak hava ürüne, kapasiteye veya teknolojiye bağlı olarak 180-200 °C (alt-üst değerler 160-250°C) arasında girer ve 90-95°C (alt-üst değerler 80-120°C) de çıkar. Yaklaşık 100°C'ye varan bu sıcaklık düşmesinin nedeni havanın ısısını, konsantrata suyun buharlaşması için vermesidir. Burada termal randıman şöyle hesaplanır;

$$\text{Termal Randıman} = \frac{\text{Isı kullanımı}}{\text{Isı temini}} = \frac{T_1 - T_0}{T_1 - t}$$

$T_1$  : Kurutma havasının giriş sıcaklığı

$T_0$  : Kurutma havasının çıkış sıcaklığı

$t$  : Ortam havasının sıcaklığı

Kurutucu hava miktarını ve termal kayıpları azaltmak için aşağıdaki prosedürlerin izlenmesi gerekir:

- Kuruma süresince girişteki havanın yüksek sıcaklığı, çıkıştaki havanın düşük sıcaklığı korunmalıdır.
- Giriş havasının ısıtılmasında çıkan hava kullanılmalıdır.
- Kurumanın, giriş havasının en sıcak olduğu kurutucu havanın kuleye giriş bölgesinde olması gerekir.
- Sprej kurutucu çıkışından ısı ve toz kitlesinin geri alınmasında mümkün olduğunca hijyenik sprej fırçalayıcı ve hijyenik venturi fırçalayıcı kullanılmalıdır.

Kurutucu sıcak havanın akım yönünde veya sıcak havaya karşı yönde sis bulutu şeklinde sprejlenen konsantrat zerrelere ani kurumasından sonra oluşan süttozları, kurutucu kuleden birlikte çıkan kurutucu hava ve oluşan evapore buhardan, kuleye bağlantılı siklonlar ve/veya torba filtreler yardımıyla ayrılmaktadır.

Kurutmada kullanılan sıcak havanın kuleye gönderilmeden önce kurutma sıcaklık düzeyine ısıtılması, doğal gaz, fuel-oil, buharlı ısıtıcılar veya elektrikle yapılır. Bu enerji kaynaklarının seçimini maliyet ve kapasite belirlemektedir. Fuel-oilin sıcaklık randımanı buhara göre fazla olduğundan, özellikle daha yüksek sıcaklığın gerekli olduğu kurutmalarda kurutma havası, bu petrol yağı ile ısıtılmaktadır.

Sirküle edilen hava filtre edilir, buhar veya sıvı fazlı ısıtma sistemi (fuel oil/gaz) ile 150-300 °C'ye ısıtılır ve 50 m/s hızla kurutma odasına gönderilir. Hava ısıtılmadan önce genellikle filtre edilmelidir. Fakat hava direkt gaz ateşlemeli ısıtıcıda yakıt gazları ile karıştırılarak da ısıtılabilir. Gaz ateşli ısıtıcı, gaz ya da yağın yakıt ürünleri ve sıcak havanın odaya girdiği yerdir. Havanın bu yolla ısıtılması % 100 ısı etkisi, düşük sermaye ve bakım masraflarına sahip olsa da süt endüstrisinde yaygın kullanıma sahip değildir. Çünkü süttozu yakıt gazlarında bulunan nitrojen oksitle kontamine olabilmektedir. Nitrosaminler gibi kanserojen maddeler süttozunda aminler ve diğer bileşiklerle reaksiyona girebilir.

Havanın ısıtılmasında borulu veya plakalı ısı değiştiriciler kullanılır. Direkt ısıtmada buhar, indirekte ise fuel oil veya gaz, ısıtıcı vasıta olarak tercih edilir.

Kurutma işlemi sırasında ısının önemli bir kısmı kaybolmaktadır. Isının bir bölümü borulu ısı değiştiricilerde taze havanın ısıtılmasını katkılındırmaktadır. Ancak kullanılmış kurutucu havanın, toz ve buharı da beraberinde bulundurması nedeniyle özel şekilde dizayn edilmiş borulu ısı değiştiriciler

kullanılır.

Kurutma işleminden önce giriş maddesinin (materyalin, örneğin süt, peyniraltı suyu gibi) koyulaştırmasının amacı şunlardır:

- Hammadde suyunun önemli miktarının önce bir evaporatörde buhar haline getirildikten sonra kulede kurutulması, materyalin koyulaştırılmaksızın doğrudan kurutulmasına göre daha az enerji gerektirir.
- Süt önceden koyulaştırıldığı zaman toz ürünün yığın özelliği daha yüksek, içerdiği hava ise daha azdır.
- Önceden yapılan koyulaştırma ile olan sprey kurutmadaki kapasite, kurutmadan beklenen en yüksek kapasite olmaktadır.

Sprey yöntemi ile çoğunlukla yağsız süt ve peyniraltı suyu kurutulmaktadır.

### **Kuruma Olayı**

Isıtıcı sisteme giren hava, temizlenmesi amacıyla önce bir filtreden geçer ve 150-250 °C'ye kadar ısıtılır. Sıcak hava, pompa ve hava boruları yardımıyla kurutucu oda içersine atomizörün etrafından gönderilir.

Diğer yandan sis bulutu şeklinde spreylene konsantrat zerrelere bu sıcak hava ile karşılaşır karşılaşmaz zerredeki suyun önemli bir bölümü hemen buharlaşır. Artık toz halindeki taneciğin kapiller ve porenlerinde bulunan su parçacıkları ise kapiller kuvvet ve sıcaklık farkından oluşan kuvvetlerin etkisiyle iç kısımlardan yukarıya doğru çıkmaktadır. Kurumanın bu aşaması toz taneciğinin yüzeyine çıkan suyun buharlaşması, kurutucu kulenin orta ve alt kısımlarında cereyan eder. Suyun buharlaşması sırasında sıcak havanın ısısını alan süt zerrelere toza dönüşümündeki sıcaklığı 70 – 80 °C'dir.

Sis şeklinde pülverize edilen konsantrat kule ve siklon çıkışlarında % 2-4 nem içerecek şekilde toza dönüşür. Oluşan sütün tozları kurutucu kulenin zemininde toplanır ve bu bölümden pnömomatik olarak çalışan bir sistemle siklon ve çıkış hattına gönderilir, ardından dolum gerçekleştirilir.

### **KAYNAKLAR**

- Hansen, R. 1985. Evaporation, Membrane Filtration and Spray Drying. North European Dairy Journal, Jyllinevej 39, P.O. Box 1648. Copenhagen, Denmark. 420 Page.
- Sienkiewicz, T. und Kirst, E. 2006. Analytik von Milch und Milcherzeugnissen. B. Behr's Verlag GmbH & Co.KG. Averhoffstr. 10 , 22085 Hamburg. 783 Seite.
- Üçüncü, M. 2005. Süt ve Mamülleri Teknolojisi. Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, Bornova-İzmir. 571 Sayfa.
- Yetişmeyen, A. 2002. Koyulaştırılmış ve Kurutulmuş Süt Ürünleri Teknolojisi. Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1532, Ders Kitabı: 485. 116 Sayfa.
- Yetişmeyen, 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.