

Ankara Üniversitesi
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1558
Ders Kitabı: 511

**KOYULAŞTIRILMIŞ
VE
KURUTULMUŞ
SÜT ÜRÜNLERİ TEKNOLOJİSİ**

(II. BASKI)

Prof. Dr. Atilla YETİŞEMİYEN

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Süt Teknolojisi Bölümü

ANKARA
2007

Ankara Üniversitesi
ZİRAAT FAKÜLTESİ

Yayın No: 1558
Ders Kitabı: 511

**KOYULAŞTIRILMIŞ
VE
KURUTULMUŞ
SÜT ÜRÜNLERİ TEKNOLOJİSİ**

(II. BASKI)

Prof. Dr. Atıla YETİŞEMİYEN

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Süt Teknolojisi Bölümü

ANKARA

2007

ANKARA ÜNİVERSİTESİ BASIMEVİ
İnceşah Sokak No:10
06510 Beşevler / ANKARA
Tel: 0312 213 66 55
Basım Tarihi: 13 / 07 / 2007

ISBN: 975-482-580-7

Bilim adamı olarak yaşadığı çağa
damgasını vuran doğa bilimci
ALEXANDER von HUMBOLD'a
ithaf edilmiştir.

ÖNSÖZ

Son 15 – 20 yıl içinde koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt ürünleri hakkında ders ve el kitabı olacak nitelikte herhangi bir Türkçe kitap yazılmamıştır. Buradan hareketle bu boşluğu bir ölçüde de olsa doldurabilmek amacıyla söz konusu kitabın yazımında, uzun yıllardan beri verdiğim "Süttozu Teknolojisi" ders notları ile bu süreç içinde topladığım konu ile ilgili yardımcı ve yabancı kaynaklar bir araya getirilmiştir. Kitabın içeriğinde koyulaştırma ve kurutmanın prensibi, bunların teknikleri, koyulaştırılmış ve kurutulmuş süt ürünleri gibi bölümler yer almaktadır. Kitabın yazımında okuyucu kitlesi olarak sadece öğrenciler değil, süt sanayi, konu ile ilgili bazı resmi kurumlar da hedeflenmiştir. Bu kesimlerin de yararlanabileceği şekilde kitap, genellikle teknolojik ve pratik bilgilerle hazırlanmaya çalışılmıştır.

Özellikle rekombine ürünler, mamalar ve diğer kurutulmuş süt ürünleri hakkında çok fazla detaya girememiştir. Bunun gibi ilgili kitapta mutlaka olabilecek konu eksikleri ve yazım-ifade hataları için ise okuyucunun hoş görüşüne sığınılmaktadır.

Eserin ortaya çıkartılması boyunca gerek notların ve yabancı kaynakların toplanmasında, gerekse bilgisayar ortamındaki yazım sırasında zaman zaman yardımlarını gördüğüm Bölümümüz öğretim elemanlarından Y.Doç.Dr. Ayşe Gürsoy Aslan'a, Ar.Gör. Orgun Devenci'ye ve diğer Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Prof.Dr.Atilla Yetişemiyen
Ankara, 2007

İÇİNDEKİLER	SAYFA
1. Sütü Kurutmanın Tarihiçesi	1
2. Koyulaştırma ve Kurutmanın Amacı ve Önemi	5
3. Koyulaştırma	7
3.1. Evaporasyonun Prensipli	8
3.2. Evaporatörler	13
3.3. Evaporasyonun Bilançosu ve Rendimantı	30
4. Koyulaştırılmış Süt Ürünleri Teknolojisi	32
4.1. Şekersiz Kondens (Evapore) Süt Üretimi	32
4.1.1. Tanım	32
4.2. Şekerli Kondens Süt Üretimi	39
4.2.1. Tanım	39
4.2.2. Geleneksel Olarak Üretim	40
4.2.3. Ultrafiltrasyon İle Şekerli Kondens Süt Üretimi	47
4.3. Rekombine Evapore Süt	47
4.4. Diğer Konsantre Süt Ürünleri	48
5. Kurutma	49
5.1. Kurutmanın Prensipli	50
5.2. Kurutma Teknikleri	52
5.2.1. Silindir (Vale) Yöntemiyle Kurutma	52
5.2.2. Sprey (Püskürtme) Yöntemiyle Kurutma	57
5.2.3. İnanstant Kurutma ve İnanstant Süttozu	74
5.3. Süttozlarının Ambalajlanması ve Depolanması	79
6. Süttozlarının Nitelikleri ve Kalitesi	80
6.1. Süttozlarının Rekonstitüsyon Özellikleri	80
6.2. Süttozu Nitelikleri Üzerine Bazı Üretim Koşullarının Etkisi	84
6.3. Süttozlarının Nitelikleri	84
6.4. Süttozlarında Kalite	86
6.5. Süttozlarının Bakteriyolojik Kalitesi	89
7. Süttozlarının Besin Değeri ve Kullanımı	90
8. Diğer Kurutulmuş Süt Ürünleri	92
8.1. Peyniraltı Suyu Tozu	92
8.2. Serum Proteinleri Konsantratları	95
8.3. Kazein Ürünleri	97
8.3.1. Kazein	97
8.3.2. Coprecipitate	102

8.4. Laktoz	103
8.5. Bebek Maması ve Formülleri	106
8.6. Rekonstitusyon Amacı Süttozu	109
8.7. Modifiye Süttozu	109
8.8. İmitasyon Süttozu	110
8.9. Diğer Kurutulmuş Süt Ürünleri	110
KAYNAKLAR	111

ÇİZELGELER LİSTESİ	SAYFA
Çizelge 3.1. Bazı koyulaştırılmış süt çeşitlerinin kimi nitelikleri	8
Çizelge 3.2. Saf suyun kaynama noktası ile basıncı arasındaki ilişki	10
Çizelge 3.3. Saf suyun kaynama derecesi ile buharlaşma gizli ısıları arasındaki ilişki	10
Çizelge 4.1. Bazı evapore sütlerin bileşimi	33
Çizelge 4.2. İki ayrı standarda göre şekerli koyulaştırılmış sütün bileşimi	39
Çizelge 5.1. Bazı tip tozların yaklaşık bileşimi	49
Çizelge 5.2. Tek ve iki aşamalı kurutma sistemlerinin karşılaştırılması	68
Çizelge 5.3. İki aşamalı kurutmaya karşı üç aşamalı kurutmaya ilişkin karşılaştırmalı performans verileri	71
Çizelge 5.4. Bazı toz ürünlere ilişkin depolama nispi nemi düzeyi	79
Çizelge 6.1. Değişik sütte tozlarının nem içerikleri	86
Çizelge 6.2. Yağlı ve yağsız sütte tozlarının nitelikleri	87
Çizelge 8.1. Ticari kazein ve kazeinat ürünlerinin ortalama bileşimi	100
Çizelge 8.2. Ticari laktoz ürünlerinin bileşimi	106
Çizelge 8.3. Anne sütü ve inek sütünün bileşimi	106
Çizelge 8.4. Mama bileşiminde yer alan başlıca besin elementlerinin sınırlı değerleri	107

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 3.1. Suyun sıvı / buhar / buz fazlarının durum diyagramı	8
Şekil 3.2. Suyun düşük basınç ve kaynama noktası arasındaki ilişki	11
Şekil 3.3. Sıcaklık derecelerinin fonksiyonu olarak buhar basıncı	12
Şekil 3.4. Yağsız süttozlarında ürünün durumu ile hem içeriği arasındaki ilişki	13
Şekil 3.5. Süt endüstrisinde evaporasyon tekniklerinin gelişimi ile birtanım her kg su evaporasyonu için gerekli enerji ihtiyacı	14
Şekil 3.6. Kazan tipi vakum evaporatör	15
Şekil 3.7. Robert tip evaporatör	16
Şekil 3.8. İki farklı, karıştırıcı ısıtma-kazan evaporatörleri (GEA-Wiegand) ..	17
Şekil 3.9. Sirkülasyonlu evaporatör modeli (GEA-Wiegand)	18
Şekil 3.10. Sirkülasyonlu evaporatör şeması	19
Şekil 3.11. Vakum odasındaki ürün akışı	20
Şekil 3.12. Plakalı tip evaporatör	21
Şekil 3.13. ve 3.14. Düşen film evaporatör ve düşen film evaporatörde bir ısıtıcı tüp içindeki işlem	23
Şekil 3.15. Çok etkili evaporatörlerde statik ve dinamik dağılım	24
Şekil 3.16. Çok etkili evaporatör	24
Şekil 3.17. Yedi etkili evaporatör (3. etkiden 1. etkiye termokompresörü) ...	25
Şekil 3.18. Etki sayısına bağlı olarak yüzde su buharı tüketimi ve toplam ısıtma yüzeyi	26
Şekil 3.19. İki etkili bir evaporatörde termokompresörün konumu	27
Şekil 3.20. Çok etkili bir evaporatörde su evaporasyonunun % buhar ihtiyacı (kurveler tipik bir ürünün standart koşullarını göstermektedir) ..	27
Şekil 3.21. Termokompresör şeması	28
Şekil 3.22. Mekanik kompresör ve evaporatör üzerindeki dizaynı	28
Şekil 4.1. Tam yağlı evapore süt üretimi (hem şişede, hem de UHT ile sterilizasyon)	33

Şekil 4.2. Şekerli kondens sütün üretim akım şeması	34
Şekil 4.3. Şekerli kondens sütün üretim akım şeması	42
Şekil 4.4. Laktozun suda eriyebilirlik kurvesi	45
Şekil 4.5. Rekombine evapore-sütün üretim akım şeması	47
Şekil 5.1. Suyun faz diyagramı	51
Şekil 5.2. Tek ve çift silindiri kurutucular	53
Şekil 5.3. Sprey püskürtmeli silindir kurutucu	55
Şekil 5.4. Konvensiyonel sprej kurutucu (tek aşamalı kurutma)	59
Şekil 5.5. Atomizör sistemleri	61
Şekil 5.6. Santrifüj ve nozzle atomizörlerin başlık şeması	62
Şekil 5.7. Sabit memeli (nozzle) sprej kurutma odası	63
Şekil 5.8. Sprej kurutucuda döner bir disk atomizör	63
Şekil 5.9. Pnömatik taşıyıcı sistemli tek aşamalı kurutucu	64
Şekil 5.10. % 4 su içeriğine kadar ideal kurutma koşullarında taneceklerin ağırlık, hacim ve çap azalışı. D: çap W: ağırlık V: hacim	65
Şekil 5.11. Akışkan yatak ilaveli sprej kurutucu (iki aşamalı kurutma)	66
Şekil 5.12. İki kademeli sültozu tesisi	67
Şekil 5.13. Konveyör entegreli sprej kurutucu (3 etkili kurutma)	69
Şekil 5.14. Üç etkili kurutucu	70
Şekil 5.15. Bir sprej kurutma tesisi şeması	71
Şekil 5.16. Bir siklonun akım kuvvetleri yönü	72
Şekil 5.17. Sültozunun mikrostrüktürü	73
Şekil 5.18. Yeniden ıstatmalı instant sültozu üretiminin akım şeması	76
Şekil 5.19. Direkt prosedürlü instant sültozu üretiminin akım şeması	76
Şekil 5.20. Instant sültozu için akışkan yatak	77
Şekil 5.21. Lesifinasyon ünitesi	78

Şekil 8.1. Pas'dan elde edilen toz ürünler (A/S Niro Atomizör): SCP; Tek hücre proteini	93
Şekil 8.2. Pas'ın sprey yöntemi ile kurutulmasında dört farklı proses	94
Şekil 8.3. Dikey akışlı (a) ve yatay akışlı (b) ultrafiltrasyon . c: Fiberden asimetrik membranın kesit görünüşü	95
Şekil 8.4. Taltı pas'dan WPC üretimi için proses planı	97
Şekil 8.5. Ticari kazein ve kazeinat ürünlerinin üretim akım şeması	99
Şekil 8.6. Ham veya rafine laktoz üretiminin akım şeması	105
Şekil 8.7. Bebek maması üretim akım şeması	108

1. Sütü Kurutmanın Tarihçesi

Sütü uzunca bir süre dayanıklı hale getirmede uygulanan yöntemler; sterilizasyon, koyulaştırma ve kurutmadır. Bunun dışında tuz, şeker vb. katkı maddeleri ile de bir süre için süt ve ürünlerini sıvı veya konsantre halde muhafaza etmek mümkündür.

İlk koruma yöntemlerinden biri olan sütün kurutulması işlemi yüzyıllar önce geliştirilmiştir. İlk toplumlarda sütün koyulaştırma ve kurutulmasında güneş enerjisinden yararlanılmıştır.

Süt pek çok nedenlerle kısa sürede bozulan bir gıdadır, dolayısıyla onun daha sonra tüketilebilmesi için korunması gerekir. Günümüzde ise en önemli koruma yöntemi kurutmadır. Bunun için kullanılan modern kurutma teknikleri vasıtasıyla kurutmanın avantajı, sütün besin değerinde herhangi bir kayıp olmaksızın toz haline dönüştürülmesidir. Yani tozdan tekrar yapılan süt (rekonstitüe süt) aynı besin değerine sahiptir. Ancak önemli bir dezavantajı ise enerji tüketiminin yüksek olmasıdır. Gerçekte süt endüstrisinde başka hiçbir proses, kurutma sırasındaki gibi ton başına son üründe bu kadar yüksek bir enerjiye ihtiyaç göstermez. Yine de enerji maliyetlerindeki önemli artışlar, proses ve ekipmanlardaki gelişmeleri zorlamış ve sonuçta bugün sütün toz haline getirilmesi için daha önce kullanılan enerjinin yansı ile üretim yapmak mümkün olmuştur.

Süttozunun tarihçesi orta çağa kadar dayanmaktadır. Kurutmaya ilişkin ilk bilgiye Venedikli seyyah Marco Polo'nun kayıtlarında rastlanmaktadır. Marco Polo, Çin'de Moğol Hanedanının kurucusu olan Cengiz Han'ın torunu Moğol İmparatoru Kubilay Han'la (1259 - 1294) görüşmüş ve bir süre İmparatorluk bünyesinde çalışmıştır. 1295'de Venedik'e döndüğünde Moğol askerlerinin kumanya olarak süttozu taşıdıklarından bahsetmiştir. Bu kayıtlarda Moğolların sütü kaynatıkları, kremasını aldıkları ve geri kalan yavan (yağsız) kısmı da güneşte kuruttıkları bildirilmektedir. Alınan kremanın tereyağı aldesinde kullanıldığından ve yayıkaltının da daha tatlı bir ürün şeklinde işlenmek üzere kurutulduğundan söz edilmektedir.

Bazı kayıtlarda Japonların 7. yüzyılda konsantre süt ürettikleri, 13. yüzyılda ise Marco Polo'nun süttozu olduğu tahmin edilen ürünü tanımladığı görülmektedir.

Epeyce bir süre peynir ve tereyağı uzun kalite muhafazasına sahip ürünler olarak bilinmiştir. Fakat 1856'da yine uzun dayanımlı yeni bir ürün tanıtılmıştır. Kondens yağlı süt-şekersiz (evapore yağlı süt-şekersiz) olarak tanımlanan bu ürünü 30 yıl sonra kondens yağsız süt-şekerli (evapore yağsız süt-şekerli) takip etmiştir. Ancak kondens süt üretimi yaklaşık 1950'lere kadar ilerleme göstermiş, fakat daha sonra bu ürünün üretimi kısıtlanmıştır.

Fransız araştırmacı Nicholas Apert 19. yüzyılın başlarında kondens ve kurutulmuş süt için kendi prosedürünü tanımlamıştır. Koyulaştırma ve kurutma senayi 19. yüzyılda gelişmiştir. O zamanlar sütün konsantrasyonu, süt hacminin üçte ikisinin açık kazanlarda evaporasyonu, şişelere dolumu ve su banyosunda iki saat ısıtılmasıyla yapılmaktaydı. Böylece depolamadan 18 ay sonra bile taze

ürün elde etmek mümkündür. Daha iyi düzeyde bir konsantrasyon ise kurutmayı sağlamaktaydı.

Maibec 1828'da, Newton 1835'de konsantre sütün raf ömrünü uzatmak için çalışmışlardır. 1855 yılında İngiltere'de Grimwade tarafından bulunan bir yöntemle sütün kurutulması için patent verilmiştir. 1856'da ise Borden endüstriyel düzeyde vakum evaporasyonu ile konsantre süt üretmiştir. Bu işlemle kondens sütün pazarlanması yaygınlaşmıştır. Aynı yıl İngiliz araştırmacı Grimwade tarafından sütozunun çoklu üretiminde Na_2CO_3 , K_2CO_3 ve sakaroz kullanımı için, 1872'de de Amerika'da sütün sprey yöntemiyle kurutulmasına ilişkin patent alınmıştır. 1872 yılında sprey kurutmanın prensibini açıklayan Percy'nin yöntemi Birleşmiş Milletlerde patent olarak kabul edilmiştir. 19. yüzyılın sonlarında (1898) çok sayıda çalışmanın ardından sütozunun katkı maddeleri olmaksızın üretimi başlamıştır.

Sütozunun çeşitli üretim şekillerinden olan hamur haline getirip kurutma usulü, ilk defa Kopenhag'da Olebul Winner tarafından uygulanmıştır. J.H.Campbell, 1901 ve 1914 tarihlerinde açık tavalarda sütü kurutmuş ve hamur haline gelen süt makinelerinde kullanmıştır.

1902'de Just-Hatmaker kurutma olarak tanımlanan film veya silindir usulü ile kurutmanın mucidi ve patentinin sahibi John A. Just'dir.

Stauf'un patenti ile ilk endüstriyel sprey kurutma ekipmanlarının temeli 1901'de oluşturulmuştur. 1905 yılında Merrill Souf firması tarafından Stauf'un patenti alınmış ve aynı anda silindir kurutma ekipmanları endüstriyel kullanım için geliştirilmiştir.

Daha sonraki yıllarda yapılan araştırmalar ve buluşlar ile konsantre ve kurutulmuş süt ürünlerinin kalitesini artıran daha iyi teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan kaliteye ilişkin teknolojik değişimlerden biri instantizasyondur. 1955 yılında Peebles tarafından instantizasyon için alınan patent ile daha kaliteli bir kurutma sağlanmıştır. Instantizasyon, aglomerasyon sağlayan iki aşamalı kurutma şeklinde karakterize edilmektedir.

Kurutma alanındaki bu teknik gelişmenin arkasında yatan nedenleri şöyle açıklamak mümkündür. 19. yüzyıl ikinci yarısında önce A.B.D'de, sonra Avrupa'da özel kooperatiflere bağlı olarak mandıracılar kurutmaya başlamış ve bu mandıralarda büyük miktarda tereyağı ve peynir üretilmiştir. Bu üretimlerden arta kalan yağsız sötler hayvan beslenmesi için çiftçilere geri verilmeğe veya dökmekteydi, peyniraltı suyu ise nehir ve göllere bırakılıyordu. Bu durum yan ürünlerin kullanılmaya başlandığı 1930'lara kadar normal bir uygulama gibi kabul edilmiştir. Spray yönteminin ile bu tarihlere gelişmesi ve önem kazanması nedeniyle yağsız sütün ve peyniraltı suyunun toz haline getirilmesi hızlanmıştır. Koyulaştırma ve kurutma tekniklerindeki asil gelişme yukarıda kronolojik olarak da belirttiğimiz gibi İkinci Dünya Savaşından sonra olmuştur.

Dünyadaki tüm araştırma enstitüleri tarafından sütozunun tanınması nispeten yavaş olmuş ve sütozuna, tereyağı, peynir ve içme sütünde olduğu gibi pek önem verilmemiştir. Sütozu konusundaki gelişmeler daha çok ekipman

imalatında ve süt fabrikalarında olmuştur. Ancak 1960'lı yıllardan sonra bu enstitülerde süttozu ve peyniraltı suyu tozu üretimi konusunda yararlı araştırmalar yapılmış ve bugün artık bu ürünlerin önemi artmıştır.

Sütün kurutulması ıllık ile ev tüketimi arasında uzun zincirin bir parçasıdır. Süttozu retimi büyük bir endüstri olarak lslerarası önem kazanmıştır. Süttozu sanayindeki yenilikleri ve değişiklikleri, süt yağsız kurumaddeşinin ve serum proteinlerinin kullanım potansiyeli bağlamında Robinson (1982) şu gerekçelere bağlamıştır.

Süttozu endüstrisi sayesinde süt üretiminin yetersiz olduğu yerlerde veya süt üretimi için uygun olmayan bölgelerde sütü kullanışlı hale getirmek mümkündür. Avustralya, Yeni Zelanda ve Avrupa'da üretilen süttozu uzak doğu, orta doğu veya diğer ülkelerdeki rekombine süt fabrikalarında pastörize veya UHT ste dönüştürülebilmektedir. Süt üretiminin oldukça organize hale geldiği pek çok ülkede, süt sanayi çığ süt temininde büyük mevsimsel değişimleri karşılamak zorundadır. Üretimin yüksek olduğu mevsimlerde fazla sütü değerlendirmenin en iyi yolu kurutmadır. Üretimin az olduğu mevsimlerde ise bu toz tekrar sıvı süt haline dönüştürülür. Böyle bir uygulama ile yıl boyunca başta peynir olmak üzere süt ürünleri üretimini sabit tutmak ve ekipman ile iç gücünden tam olarak yararlanmak mümkündür.

Kurutma işlemi günümüzde pek çok geşişmiş rkeyi de ilgilendiren iki nokta açısından önem taşır. Bunlardan ilki, süttozu gıda yardım programlarında en fazla kullanılan ürünlerden biri olduğundan, gelişmekte olan kelerde protein yetersizliğini karşılamasıdır. Burada UNICEF'in 1970'lerde toz haldeki süt proteinlerini kullanarak açlıkta mücadeleyi başlattığı ve değişik kelerde süttozu işletmeleri yapımında yardımıda bulunduğu bilinmektedir. ikincisi ise özellikle peyniraltı suyunun neden olduğu evre kirliliğiyle mücadeledir. Bugün artık bir kurutma tesisi ile entegre olmamış yüksek kapasiteli peynir fabrikalarını düşünmek pek mümkün değildir. Peyniraltı suyunun değerlendirilmesinde kurutma en etkili yoldur.

Türkiye'de ise süttozu üretimi ilk kez 1934 yılında Kars'ta işletmeye açılan ve siindir yöntemi ile üretim yapan 47 ton süttozu/yıl kapasiteli Stlış Ltd. şirketi'ne ait küçük bir fabrikada başlamıştır. Bunu aynı teknikle çalışan ve yine o tarihlerde (1934) Bursa'da kurulan Sayas (380 ton süttozu/yıl) ile 1968 yılında Adapazarı'nda işletmeye açılan Uludağ (100 ton süttozu/yıl) fabrikaları izlemiştir. 1943'de Kars fabrikasına eklenen daha sonra bir başka fabrikaya (Santral) devredilen kuruluşun dışında Türkiye'nin ilk püskürtme yöntemi ile toz üretiminde bulunan fabrikası 1969'da T.S.E.K. (Türkiye Süt Endüstrisi Kurumu) tarafından Kars'ta (1.220 ton süttozu/yıl) kurulmuştur. Daha sonra 1975'de İzmir'de çalışmaya başlayan Pınar Süt Mamlleri A.ř. ye ait fabrika ile söz konusu sayı ikiye ykselmıştir. Bunların dışında çoğunlukla kendi üretimleri olan ocuk maması, okolata vb. rnlerin yapımında yararlanmak üzere Wyeth (120 ton süttozu/yıl) ve B.Holland (144 ton süttozu/yıl) fabrikalarının da püskürtme süttozu ürettikleri belirtilmektedir.

Kurutulmuş süt ürünlerinin kullanılabilirliği 1970'li ve 1980'li yıllarda çeşitli endüstriyel gelişmeler sayesinde daha iyi kalite ve daha düşük üretim maliyeti

ile sağlanmıştır. Bu gelişmeler Evaporatörler, Membran Prosesleri (Ultrafiltrasyon, Hiperfiltrasyon), Elektrodializ ve İyon Değişiriciler, Vibro Fludizier (Akışkan yatak) ile sağlanan konsantrasyon ve fraksiyonlama işlemleridir. 1983 yılında akışkan yatakla entegre olmuş üç aşamalı kurutma prosesinin tanıtımı ve uygulanmasıyla endüstriyel uygulamalarda daha da bir ilerleme sağlanmıştır.

2. 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), kurutulmuşlar 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 peynir 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 rekonstitüsyonu ile denge sağlanmaktadır.
4. Stratejik kullanım: Savaş, salgınlar, depremler gibi zor dönemlerde taze sütün yerine süttozlarından yararlanılabilmektedir.
5. Formülasyonlar: Yeni geliştirilen gıda ürünlerinde kullanılmaktadır. Bu formülasyonlar sporcular, nekahat halindeki hastalar, geriatik (yaşlı) kişiler için hazırlanmaktadır.

Üçüncü maddede yer alan taze süt üretiminin dengelenmesine bölgesel ve coğrafi nedenler ile mevsimsel nedenler etkil olmaktadır. Üretim bol olduğu yerlerde sütün toz haline getirilerek çığ süt üretiminin az olduğu bölgelere

İletilmesiyle toplumun süt ve ürünlerine olan ihtiyaı karşılanmaktadır. Yine süt üretiminde bol olduğu dönemlerde toz haline getirilen sütün dayanıklılığının artırılmasıyla süt üretiminde az olduğu aylarda, ki Türkiye’de özellikle Ekim-Ocak arası, süt üretim dengesizliği giderilmeye abılmaktadır.

Diğer yandan süt üretim miktarının fazla olduğu bazı Avrupa Birliği (AB) yesi ülkelerde fazla sütün kreması alındıktan sonra buzağı yeminde kullanılmak üzere yağsız sttozuna dntirlmektedir. Aynı amaçla peyniraltı suyu tozu da üretilmektedir.

Bunların dışında kazeinat ve peyniraltı suyu tozu gibi toz süt ürünleri, okolata-bisküvi sariayı, pastacılık gibi eğitli gıda teknolojisi alanlarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

3. Koyulaştırma

Yağlı veya yağsız sütün hacminin bir bölümünün (% 30-50) buharlaştırılmasıyla elde edilen koyulaştırılmış şekerli veya şekerli süt ürününe kondens süt (evapore süt) denilmektedir. Evaporasyon, sütün suyunun buharlaştırılmasıyla yapılmaktadır. Bu işlemde koyulaşan, akışkanın kurumadde, yani koyulaşma ile akışkanın kurumadde nispi olarak yükselmekte, su oranı ise azalmaktadır.

Süt endüstrisinde evaporasyon ile sadece süt koyulaştırmamakta, peyniraltı suyu, yayıkaltı, permeat gibi yan ürünler de konsantre edilmektedir.

Sütün konsantrasyonu için vakum evaporasyonunu ilk defa kullanan Gail Borden 1856'da A.B.D'de Connecticut'da koyulaştırma fabrikasını kurmuştur. Bilindiği gibi konsantrasyon işlemi tek başına bakteri gelişimini önleyememekte ve dolayısıyla şeker de (sakaroz) ilave edilerek şekerli koyulaştırılmış süt elde edilmektedir. Bu fabrikayı "The Borden Condensed Milk Company" şirketi altında diğer fabrikalar izlemiştir.

Bir taraftan da uzun depo ömürlü daha yüksek kurumadde içerikli koyulaştırılmış süt yapımı geliştirilmiştir. Avrupada ilk koyulaştırılmış sütün yapımını "Anglo-Swiss Condensed Milk Company" isimli şirket İsviçre'de 1866'da gerçekleştirmiştir. Fabrikanın operatörü John Meyenberg, bakteri sayısını azaltmak ve enzimleri inaktive etmek için ısı işlem uygulanması fikrini ileri sürmüştür. Daha sonra bu fikir geliştirilmiş ve ısı işlemden sonra yeniden olabilecek bir kontaminasyondan kaçınmak için, evapore sütün kutulara konulması, kutuların kapatılması ve bu kutuların sterilize edilmesi önerilmiştir. Bunun için 115 °C'ye ısınan rotary sterilizatörler geliştirilmiştir. Bu şekilde de "evapore süt" olarak tanımlanan şekerli koyulaştırılmış süt üretimi başlamıştır. Daha sonra Meyenberg 1884'de prosesin patentini vermiş ve Amerika'da evapore süt üretmek üzere birçok fabrika açılmıştır.

İkinci Dünya Savaşından itibaren şekerli ve şekerli koyulaştırılmış süt üretimi süttozunun tercih edilmesi nedeniyle azalmıştır. Fakat uzak doğu ve Güney Amerika'nın bazı yerel marketlerinde halen satılmaktadır. Koyulaştırılmış sütün tercih edildiği ve süt üretiminin yeterli olmadığı bu ülkelerde rekombinasyon amaçları için toza da talep vardır.

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

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

Şekerli kondens süt üretiminde şeker kullanımındaki 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.

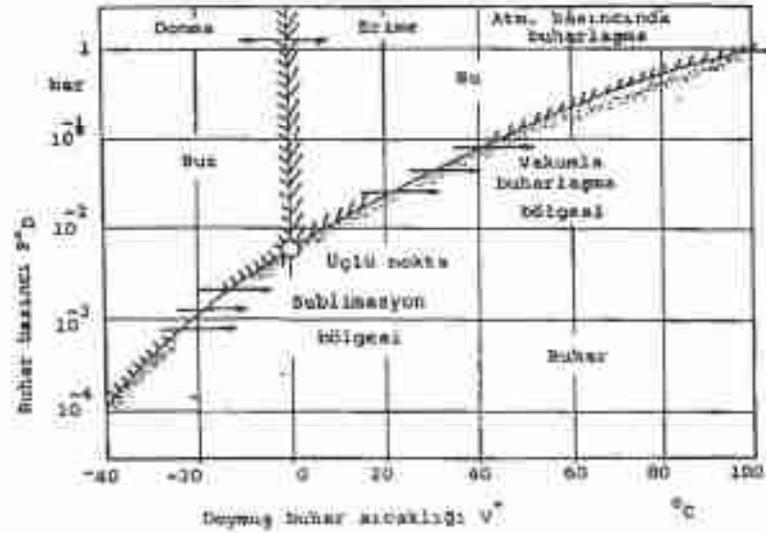
Kondens sütlerin yağ oranı % 7,5 - 10,5 arasında değişir. Ancak % 4 yağlı düşük yağ içeriğine sahip kondens süt de üretilmektedir. Bazı kondens süt çeşitlerinin bileşimleri aşağıda izelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı koyulaştırılmış süt çeşitlerinin kimi nitelikleri.

Kondens süt eşitleri	Yağ (%)	Protein (%)	Kurumadde (%)	Ca g/100g	Vitamin B2 mg/100 g
% 7,5 yağlı kondens süt	7,6	6,5	25,5	0,24	0,34
% 10 yağlı kondens süt	10,1	8,8	34,0	0,33	0,46
Az yağlı Kondens süt	4,1	7,5	24,3	0,26	0,37
şekerli Kondens süt	8,1	8,2	74,0	0,29	0,42

3.1. Evaporasyonun Prensibi

Bilindiği gibi suyun buhar, buz ve sıvı olmak üzere 3 fazı vardır. Suyun faz diyagramının gösterildiği aşağıdaki şekil 3.1'de sıcaklık ve basıncı ilişkisine göre bu 3 faz hatları birbirinden ayrılmaktadır.



şekil 3.1. Suyun sıvı / buhar / buz fazlarının durum diyagramı

Aslında diyagramdaki her hat iki fazın denge koşullarını gösterir. Söz konusu 3 faz ancak bir noktada denge halinde bulunabilmekte ve "0" ile gösterilmiş bu

noktaya üçlü nokta veya "Triple point" denilmektedir. Evaporasyonla ilgili olan bu bölümde su ve buhar fazları süblimasyon (buzun erimeden doğrudan buhar haline geçmesi) kurvesi üzerinde OA kısmında denge koşullarındadır. Bu denge suyun buhar haline geçmesi yönünde değiştirilmek istenirse, basınç sabit tutularak sıcaklığın yükseltilmesi veya sıcaklığın sabit tutularak basıncın düşürülmesi gereklidir. Yani sabit sıcaklıkta vakum ortamı (düşük basınç) yaratılmalıdır. Aşağıdaki şekilde bu durumu görebiliriz.

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 "buharlaştırma gizli ısı" denilmektedir. Tüm sıvılar içinde su en fazla buharlaşma ısısına sahip olanıdır.

Su molekülleri katı solüsyondan ya da kolayca buharlaşamayan 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 açıkrsa 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 iltimesi 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 $P=1 \text{ kg/cm}^2$ basınçta su yaklaşık 100°C'de kaynarken Everest'in tepesinde yani $P=0,25 \text{ kg/cm}^2$ 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 içerdikleri 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 buharlaştırma 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 buharlaştırma gizli ısısı verilmelidir. Buharlaştırma gizli

ısı kaynama derecesine, kaynama derecesi de basınca bağlıdır. Örneğin saf su deniz seviyesinde 100°C'de kaynar ve buharlaşma gizli ısı 538,9 kcal/kg'dır. Buna karşın 200 mm Hg basınçta (kaynama noktası 68,5 °C'de) buharlaşma gizli ısı 559,5 kcal/kg'dır. Yani suyun kaynama noktası düştükçe buharlaşma gizli ısı yükselir. Bu ilişkiler Çizelge 3.2 ve 3.3'de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Saf suyun kaynama noktası ile basıncı arasındaki ilişki

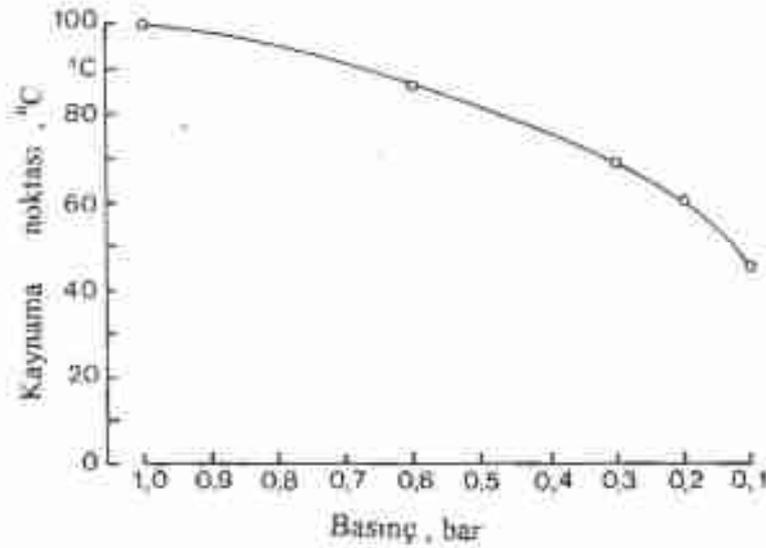
Basıncı/Vakum mm Hg	kayn.nok. °C	Basıncı/Vakum mm Hg	Kayn.nok. °C	Basıncı/Vakum mm Hg	Kayn.nok. °C	
10	750	11,3	260	500	72,5	
20	740	22,4	280	460	74,3	
40	720	34,2	300	460	75,9	
60	700	41,7	320	440	77,5	
80	680	47,2	340	420	79,0	
100	660	51,7	360	400	80,4	
120	640	55,4	380	380	81,7	
140	620	58,7	400	360	83,0	
160	600	61,6	420	340	84,2	
180	580	64,2	440	320	85,4	
200	560	66,5	460	300	86,5	
220	540	68,7	480	280	87,7	
240	520	70,7	500	260	88,7	
				520	240	89,7
				540	220	90,7
				560	200	91,7
				580	180	92,6
				600	160	93,5
				620	140	94,4
				640	120	95,3
				660	100	96,1
				680	80	96,9
				700	60	97,7
				720	40	98,5
				740	20	99,3
				760	0	100,0

Düşük basınç ve kaynama noktası arasındaki ilişkiyi bir kurve olarak Şekil 3.2'de de görmek mümkündür.

Kaynama olayında ısınan yüzeydeki oluşumun ve sıvı içindeki kabarcıkların hareketinin bir sonucu olarak kaynama meydana gelir. Kaynamanın boyutu ısıtmanın hızına bağlıdır. Isıtma hızı artırıldığı zaman kaynama sıcaklığı artmaz, fakat evaporasyon oranı artar. Kaynama boyunca sıvı içindeki buhar basıncı hava basıncından biraz yüksektir.

Çizelge 3.3. Saf suyun kaynama derecesi ile buharlaşma gizli ısı arasındaki ilişki

Kayn.nok. °C	Buharlaşma gizli ısı kcal/kg	Kayn.nok. °C	Buharlaşma gizli ısı kcal/kg
10	591,6	60	563,3
15	588,8	65	560,3
20	586,0	70	557,4
25	583,2	75	554,4
30	580,4	80	551,3
35	577,5	85	548,2
40	574,7	90	545,1
45	571,8	95	542,0
50	569,0	100	538,9
55	566,1		



Sekil 3.2. Suyun düşük basınç ve kaynama noktası arasındaki ilişki.

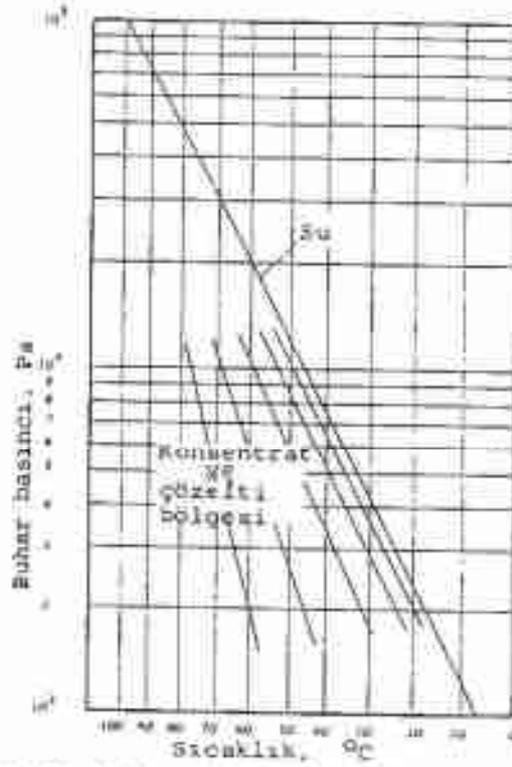
Eğer sıvının üzerindeki basınç düşürülürse, örneğin bir vakum sistemiyle, o zaman kaynama sırasında sıvı içindeki buhar basıncı daha az olacak ve kaynama sıcaklığı da 100 °C'nin altına düşecektir. Tabii ki buna paralel olarak kaynama noktası düşüncü buharlaşma gizli ısıyı yükseltecektir. Vakumda evaporasyon, süt gibi ısıya duyarlı ürünlerin yüksek sıcaklıklarda bozulmalarını önlemek amacıyla uygulanan bir yöntemdir.

Kaynama Sıcaklığını Etkileyen Faktörler

Çözünmüş tanecikler içeren akışkanların koyulaştırılmasında kaynama sıcaklığını etkileyen önemli faktörler;

- Basınç veya buharlaştırma odasındaki vakum,
- Akışkan sütununun hidrostatik basıncı ve
- Çözelti konsantrasyonu (ozmotik basınç)

Bir evaporatörde kaynama ve buharlaşma sıcaklığı öncelikle basınç vasıtasıyla ayarlanır. Akışkan ve buhar birliğiyle dengelidir ve sıcakları doymuş buhar basıncının bir fonksiyonudur. Buhar basıncına göre sıcaklık derecelerini gösteren kurve su için Şekil 3.3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi çözelti konsantrasyonu suyun kaynamasını etkilemektedir.



Şekil 3.3. Sıcaklık derecelerinin fonksiyonu olarak buhar basıncı

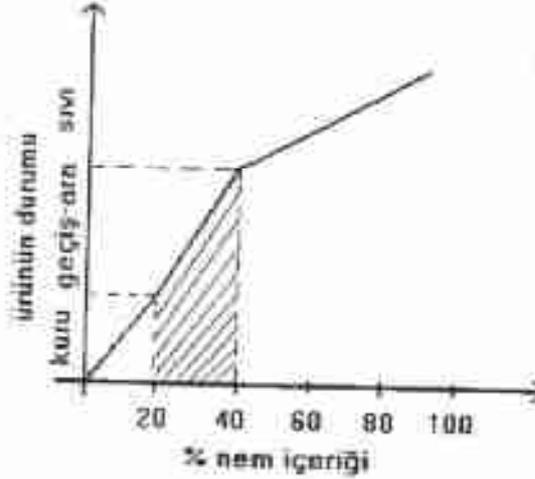
Evaporasyonda Sıvıya İlişkin Özellikler

Evaporasyon sırasında sıvının bazı özelliklerinde değişimler olmaktadır. Sıvıya ilişkin en önemli özellikler şunlardır:

1. Konsantrasyon: Buharlaşılacak çözeltiler genellikle seyrektiler. Evaporatörde ise işlem boyunca konsantrasyon gittikçe derişik olur. Çözeltideki katı maddenin konsantrasyonu arttıkça çözeltinin viskozite ve yoğunluğu da artar. Örneğin yağsız süttozlarında nem içeriği ile fiziksel konum arasındaki ilişki Şekil 3.4'de görülmektedir.

Ancak konsantrasyon ısı transferi için uygun olmayan bir durum yaratır, yani evaporasyonun ilerleyen zamanında daha çok ısı enerjisi gerektirir. Çözelti konsantrite hale geldikçe kaynama noktası da yükselir.

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 ısımin 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.



Şekil 3.4. Yağsız sütözellilerinde ürünün durumu ile nem içeriği arasındaki ilişki

3.2. 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 bir takım işlemlere adaptasyon.

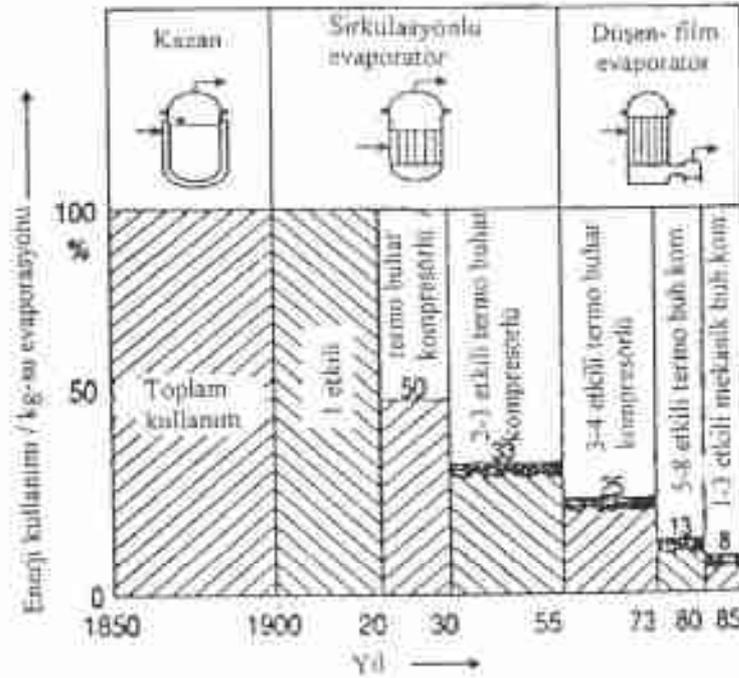
Bilindiği gibi süt ve süt ürünlerinden suyun uzaklaştırılması normal koşullarda iki kademede gerçekleştirilir. Yağlı- ve yağsız süt, peyniraltı suyu, yayıkaltı,

permeat gibi süt sanayine ilişkin akışkanlar önce bir evaporatör yardımıyla % 50 kurumaddeye kadar konsantrasyon edilmekte ve daha sonra bir sprey kurutucuda % 3-4 nem içeriğine kadar kurutulmaktadır. Bu şu anlama gelmektedir, sütleki toplam suyun % 85 civarında büyük bir bölümü evaporatörde uzaklaştırılmaktadır. Yani evaporasyon tekniği sütleme üretiminde hem ekonomik açıdan, hem de toz kalitesinde olumlu etki yapmaktadır. Bazı süt ürünlerinin evaporasyon öncesi ve sonrası ortalama su içeriği aşağıda verilmiştir.

Evaporasyon öncesi su içeriği		Evaporasyon sonraki su içeriği
Yağlı süt için	% 87	% 10 yağlı ve % 23 yağsız kurumaddeyi kondens süt için % 87
Yağsız süt için	% 91	% 7,5 yağlı ve % 17,5 yağsız kurumaddeyi kondens süt için % 75
Yayıkaltı için	% 90	Sonradan kurutulacak ürünler için % 50-60
Peyniraltı için	suyla % 94	Yoğurt için % 82

Diskontinü (Kesikli) Evaporatörler

Üründen buharlaştırılacak su miktarına karşılık % 100'den daha fazla enerjinin harcandığı ve diskontinü (kesikli) çalışan kazanlardan 50 yıl boyunca yararlanılmıştır. Evaporatör teknolojisindeki gelişmeler aşağıda Şekil 3.5'de sematik olarak görülmektedir.

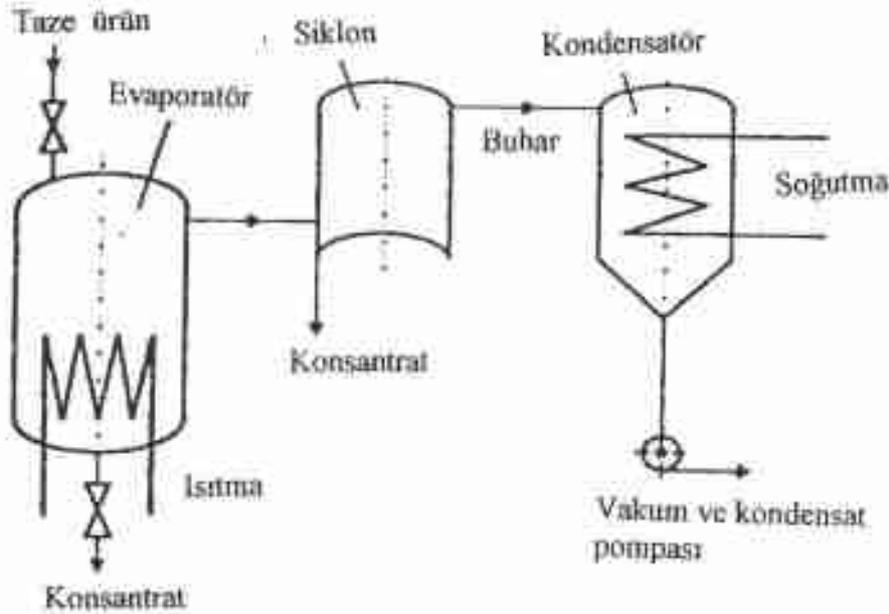


Şekil 3.5. Süt endüstrisinde evaporasyon tekniklerinin gelişimi ile birtarım her kg su evaporasyonu için gerekli enerji ihtiyacı (%)

Süt sanayinde kullanılan evaporatörlerin en basit tipleri sirkülayonlu evaporatörlerdir. Ancak bu tip evaporatörlere öncülük eden sistem vakum ortamında kaynatma işlemidir. Bu işlemde aşağıda Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bir kazan içindeki süt düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta kaynatılmaktadır. Batch tarzı (bir defa dolum) çalışan bu modelde oluşan buhar, vakum basıncının olduğu kondensatör olarak da tanımlanan bir siklon içine ayrılmakta, siklonla gelen buhar soğuk su ile yoğunlaşarak kondens suya dönüşmektedir. Asıl kaynama kazanındaki süt, evaporasyon süresince sürekli buharlaşarak kurumadde oranı nispi olarak yükselmektedir.

Ancak Şekil 3.6'da görülen basit evaporatör tipinin bazı önemli sakıncaları bulunmaktadır. Bunları şu şekilde sıralamak mümkündür.

- Enerji harcamaları oldukça fazladır.
- İçinden buhar veya sıcak suyun geçtiği serpantin borular yüzeyindeki yapışma ve yanmadan dolayı hem sütle besin maddesi kaybı görülmekte, hem de oluşan bu tabaka ısı geçişine izolasyon etkisi yaparak daha çok buhar sarfedilmesine neden olmaktadır.
- Daha düşük kapasite ile çalışmaktadır.
- İki proses arasında mutlaka uzunca bir süre temizlik yapılması gerekmektedir.



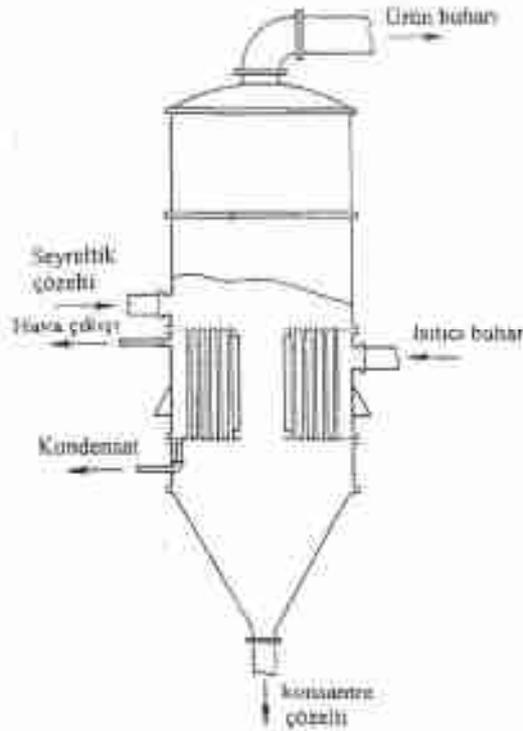
Şekil 3.6. Kazan tipi vakum evaporatör

Bu evaporatör modeline benzer iki ayrı basit evaporatörün şemaları Şekil 3.7 ve 3.8'de (Robert evaporatör ve kanştırıcılı ısıtma-kazan evaporatörü) görülmektedir. Bunlardan özellikle Robert tip olanı Türkiye'de birçok yoğurt işletmesi tarafından kullanılmaktadır. Yukarıda sıralanmış olan sakıncalar bu modeller için de geçerlidir. Bunun dışında bu evaporatörlerde viskozitesi yüksek olan materyallerinde evaporasyonu yapılabilmektedir.

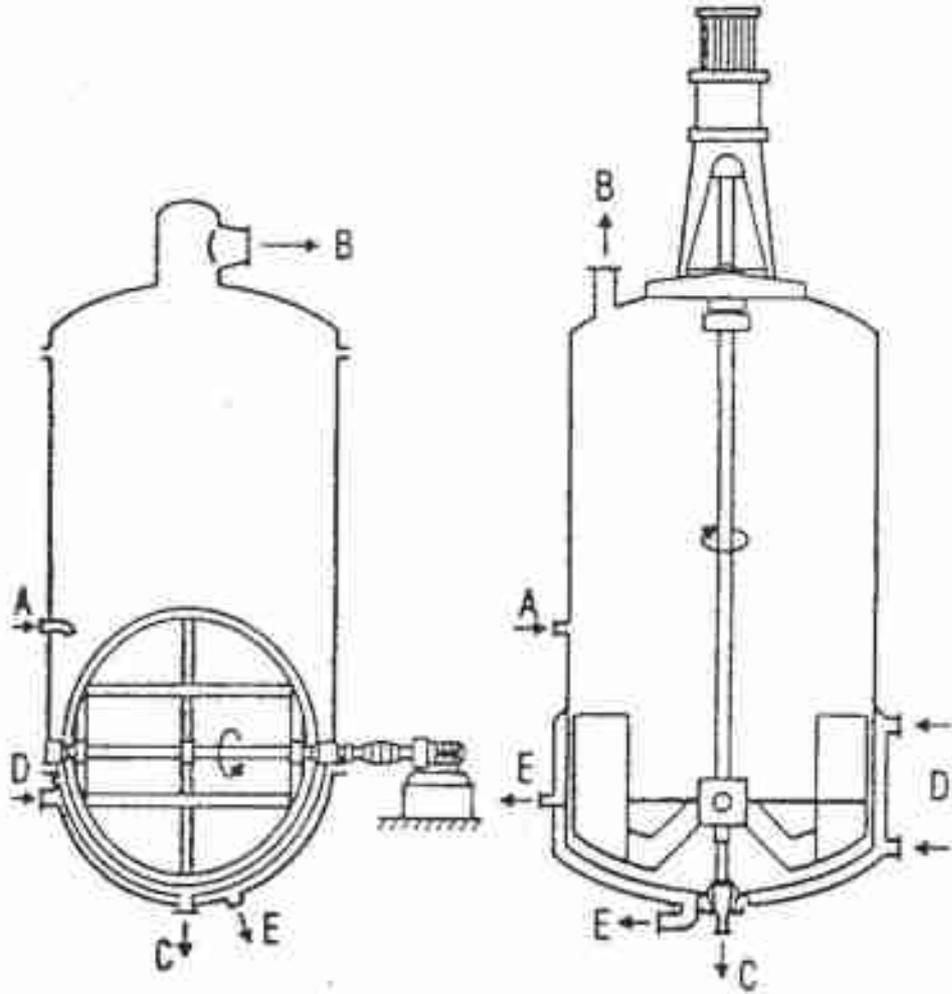
Sirkülasyonlu (dönerli) Evaporatörler

Sirkülasyonlu evaporatörler tek veya çok etkili olabilirler. Yani birbirlerine bağlanmış birden fazla evaporatördeki evaporasyon işlemi, her kademede devam ederek akışkanın konsantrasyonu sürekli olarak yükselmektedir. Eğer yeterli kurumda düzeyine ulaşılmamışsa o zaman konsantrat tekrar başlangıç etkiye dönmektedir.

1900'lü yıllardan itibaren geliştirilen bu tip evaporatörlerin tek etkili olanları düşük kapasitede ve batch (bir defa dolun ve boşaltma) tipi çalışmalara karşın kısmen daha az enerjiye ihtiyaç gösterirler ve üründe yanmadan dolayı besin maddesi kayıplarını fazla olmamaktadır. Tek etkili böyle bir evaporatörün şeması Şekil 3.9'da görülmektedir.

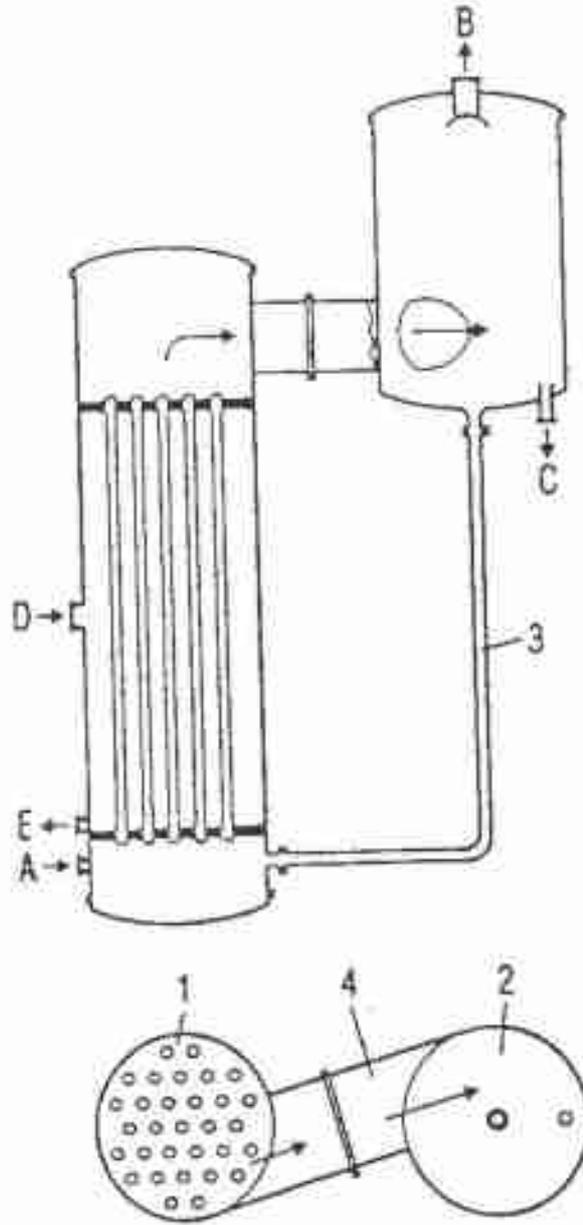


Şekil 3.7. Robert tip evaporatör



Şekil 3.8. İki farklı, karıştırıcı ısıtma-kazan evaporatörleri (GEA-Wiegand)

A. Ürün	D. Isıtıcı Buhar
B. Ürün Su Buharı	E. Kondensat
C. Konsantrat	



Şekil 3.9. Birküleyimli evaporatör modeli (GE4-Wiegand). A Ürün; B Buhar;
 C Konsantré; D İnce buhar; E Kondensat; 1 Calandria; 2 Santrifüj siklon;
 3 Sirküleyon borusu; 4 Karşon kanalı

Şekilden anlaşıldığı gibi buharlaştırılacak akışkan evaporatörün iç hacmi kadar doldurulmakta ve evaporasyon başlatılmaktadır. Kapalı sistem içindeki vakumun etkisi ile akışkan, " calandria " (ısıtma-evaporasyon bölümü) içinde

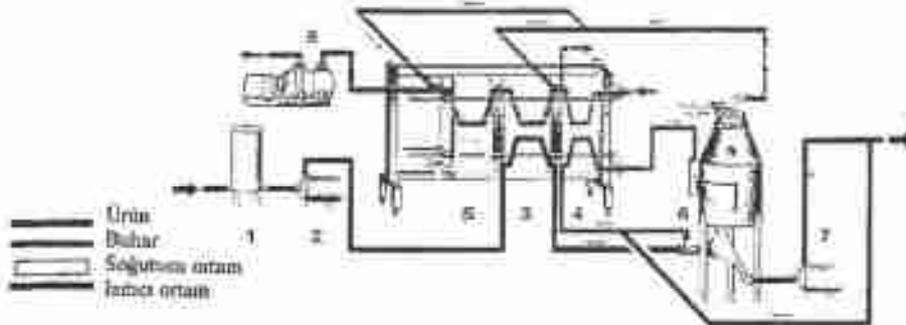
aşağıdan yukarıya doğru hareket ederek calandria ve seperatör arasında sürekli dönmektedir.

Bu modelin önemli bir avantajı, sabit-maksimum dolum hacmine sahip olan evaporatörde koyulaşmanın devamında konsantrat miktar azalacağı için, zaman zaman azalan hacim kadar ham (koyulaşmamış) akışkan yeniden evaporatör içine vakum etkisiyle emilebilir. Böylece evaporasyonu, evaporatörün sabit iç hacmi kadar konsantrat elde edilinceye kadar sürdürmek mümkündür.

Şekil 3.9, aynı zamanda bir evaporatörün esas kısımlarının da görüldüğü bir şekildir. Bunlar;

- Isıtma ve buharlaşmanın gerçekleştiği calandria,
- Ürün buharı ve ürünün birbirinden ayrıldığı seperatör,
- Kondensatör ve
- Vakum pompasıdır.

Bir başka tip sirkülasyonlu evaporatörler ise Şekil 3.10'da görülmektedir. Bu tipler, düşük derecede konsantrasyona ihtiyaç duyulduğunda veya az miktarda ürün işlenmesi söz konusu olduğunda kullanılmaktadırlar. Örneğin yoğurt üretiminde, sirkülasyonlu evaporatörler ile süt 1,1 - 1,25 kat konsantrte edilebilmektedir. Diğer bir deyişle kurumadde içeriği sırasıyla; % 13'den % 14,5'e veya % 16,5'e çıkarılabilmektedir. Bu uygulama aynı zamanda havasız ortamda gerçekleştirildiği için aroma kaybını da önlemektedir.



Şekil 3.10. Sirkülasyonlu evaporatör şeması

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Balans tankı | 5 Soğutma seksiyonu / kondensatör |
| 2 Besleme pompası | 6 Vakum tankı |
| 3 Ön ısıtma seksiyonu / kondensatör | 7 Resirkülasyon pompası |
| 4 Sıcaklık uygulama seksiyonu | 8 Vakum pompası |

Burada 90°C'ye ısıtılmış olan süt, vakum odasına ince bir film şeklinde ve yüksek hızda toğut olarak ve yan yüzeylerde bir dönel hareketli yaparak girmektedir (Şekil 3.11).

Etrafında oluşan girdap nedeniyle suyun bir bölümü buharlaşmakta ve oluşan buhar bir kondansör tarafından çekilmektedir. Hava ve diğer yoğunlaşmamış gazlar ise vakum pompası vasıfıyla sistemi terk etmektedir. Ürün ise

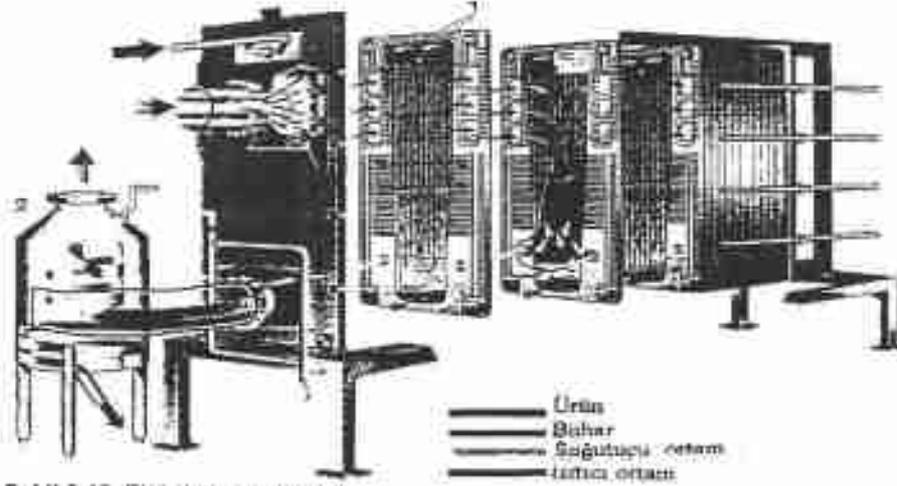
evaporatörün içe doğru kavisli olan alt kısmında sistemden alınmaktadır. Sistemden alınan ürünün bir kısmı sıcaklığın ayarlanması için bir santrifüj pompa ile ısı değişiriciye geri verilmekte, buradan da evaporasyon için tekrar vakum odasına gönderilmektedir. İstenen derecede konsantrasyonu elde edebilmek için büyük miktardaki ürün sistemde dolaştırılmak, resirküle ettirilmelidir.



Şekil 3.11. Vakum odasındaki ürün akışı

Plakalı Tip Evaporatörler

Plakalı tip düşen film evaporatörlerde akışkanın dağılımı, plaka paketinin bir ucundan diğerine uzanan iki boru vasıtası ile gerçekleştirilebilmektedir. Her bir plaka için adı geçen ve içinde ince film tabakası şeklinde ürünün aktığı boruların plakalar ile birleştiği kısımlarda her plakaya yerleştirilmiş sprey mieme (nozzle)ler, ürünün eşit şekilde dağılmasını sağlamaktadır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Plakalı tip evaporatör

1. Sprey nozlele dağıtıcı başlık
2. Buhar seperatörü

Dağıtım esnasında oluşabilecek ani buharlaşmadan sakonabilmek için koyulaştırılacak ürün, sisteme buharlaşma sıcaklığında verilmelidir. Bu sistemde ısıtıcı yüzey üzerinden ince bir film tabakası şeklinde geçen ürünün su içeriği hızlı bir şekilde buharlaşmaktadır. Evaporatörün çıkışına yerleştirilmiş olan buhar seperatörünün görevi ise konsantre edilmiş sıvıdan buharı ayırmaktır.

Evaporasyon işleminin ilerlemesi ile akışkan hacmi azalırken, buhar hacmi artmaktadır. Ortamdaki buhar hacmi kullanılabilen alanı aşacak olursa buharın hızında da bir artış meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak yüksek basınç damllanmaktadır. Sonuç olarak ısıtıcı buhar ile ürün arasında daha yüksek bir sıcaklık farkına ihtiyaç duyulur. Yine buhar hacmi arttıkça buharın kullanılabileceği alanın da artırılması gerekir.

Optimum evaporasyon şartlarının sağlanabilmesi, film tabakası şeklindeki ürünün ısıtıcı yüzey boyunca eşit kalınlıkta akması ile mümkün olabilmektedir. ısıtıcı yüzeyden aşağı doğru inen sıvının mevcut hacmi giderek azaldığından, film kalınlığının değişmezliğini muhafaza edebilmek için ısıtıcı yüzey genişliği azaltılmalıdır. Bu teknik özelliğin yerine getirildiği plakalı tip düşen film evaporatörünün dizaynı Şekil 3.12'de verilmiştir. Bu sistemde çok düşük sıcaklıkta koyulaştırma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Koyulaştırılacak ürünün düşen film evaporatörlerde kalma süresi diğer tip evaporatörler ile karşılaştırıldığında çok daha kısadır.

Evaporatördeki sıcaklık ve süre kombinasyonları ürün üzerindeki termal etkiyi belirleyen ana unsurlardır. Buna bağlı olarak, daha düşük sıcaklıkta kullanılması, ürünün sistemde kalma süresinin daha kısa olması gibi avantajları nedeniyle düşen film evaporatörleri, ısıya karşı duyarlı olan süt ürünlerinin koyulaştırılması için en uygun evaporatör tipi olarak ortaya çıkmaktadır.

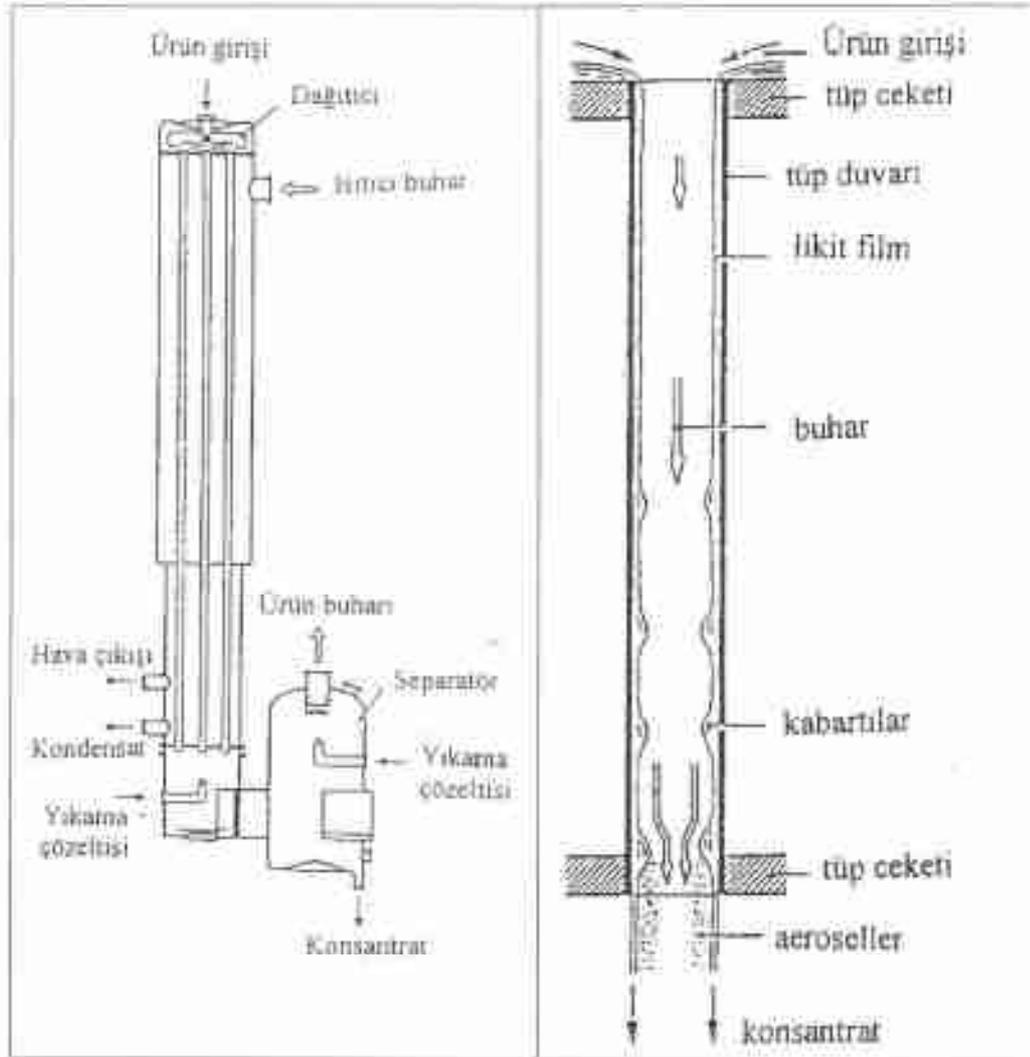
Çok Etkili Düşen Film (Falling Film) Evaporatörler

Modern süt sanayinde artık düşen film evaporatörler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle çok etkilidirler, nadiren tek etkililerdir. 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.

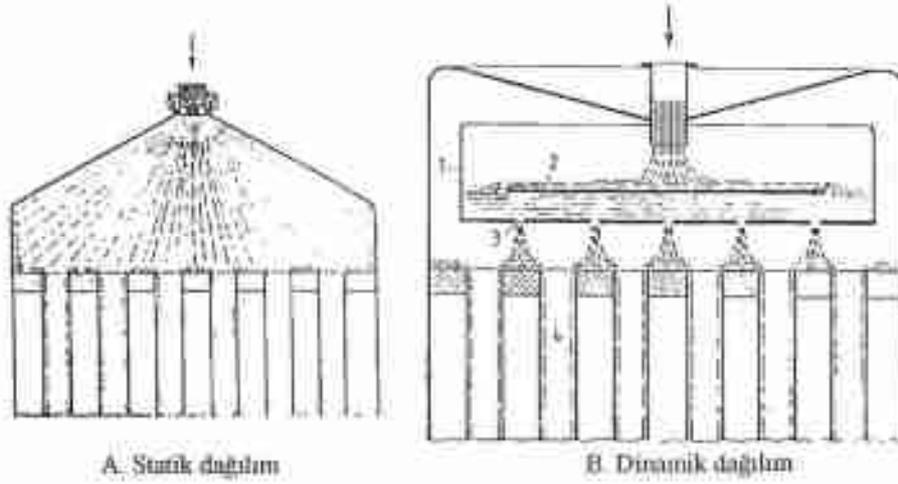
Düşen film evaporatörlerine ince tabaka evaporatörler de denmektedir. Bu evaporatörlerde bir buhar çekeli içinde ısıtıcı boruları geçişli calandria bulunur (Şekil 3.13.). İçinden ürünün aktığı düşey konumdaki bu borular (serpantinler) 20 - 40 mm çapında ve 4 - 6 m uzunluğundadır.

İyi değiştirilmez yüzey alanına sahip borular demetinden oluşan düşen film evaporatörlerde ürün, calandriyanın bulunduğu üst kısımdan boru iç yüzeylerine doğru belirli, eşit miktarda ve film şeklinde aşağıya akarken (Şekil 3.14.) aynı anda evaporasyon da gerçekleşmektedir. Şekil 3.14'de bir ısıtıcı tüp içindeki olay şematize edilmiştir. Boruların bir diğerdan çok az veya çok fazla dolmamalıdır. Akışkan dağılımı statik bir süzgeç yardımıyla veya dinamik bir konik meme vasıtasıyla sağlanmaktadır (Şekil 3.15.)

Düşey boruların dış kısmındaki çekel içinde ısıtıcı olarak kızgın buhar veya sıcak su bulunmaktadır. Pastırmaz 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. etkiye belirli bir kurumadde seviyesine kadar koyulaşan ürün 2. etkiye geçmekte, oradan da daha sonraki etkilere sürekli bir kurumadde artışı olacak şekilde geçiş olmaktadır. Sonuncu etkiye akışkanda istenen konsantrasyon seviyesine ulaşmış olmaktadır. Düşen film evaporatörlerde calandria'ya alttan bağlantılı olan buhar seperatörlerinin hacim genişmesi ve basınç azalması etkisi altında koyulaşmış akışkandan çıkan evapore buhar ayrılmaktadır. Ayrıca seperatörün alt kısmından alınan konsantrat, bir sonraki etkiye bir pompa yardımıyla aktarılırken, üst kısmından da ürün buhar yukarıdan vakum etkisi ile çekilir.



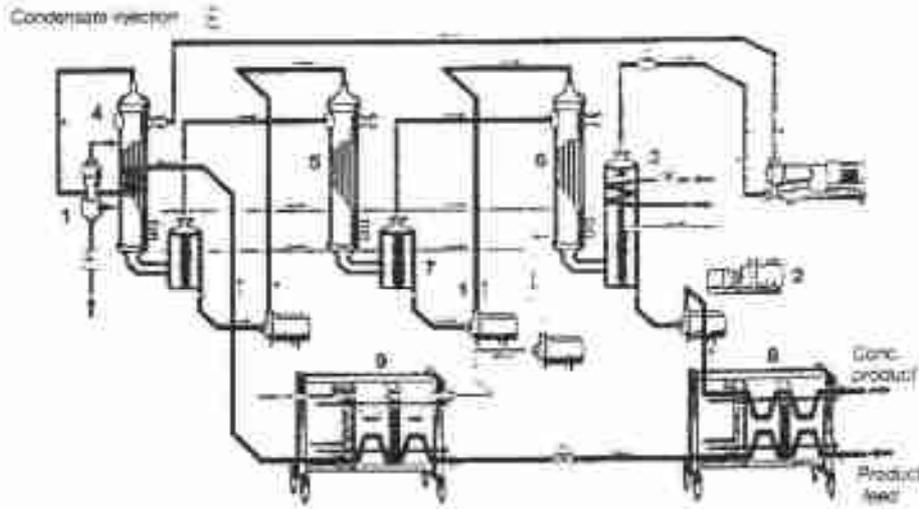
Şekil 3.13. ve 3.14. Düşen film evaporatör ve düşen film evaporatörde bir parçici tüp içindeki işlem



Şekil 3.15. Çok etkili evaporatörlerde statik ve dinamik dağılım

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. Dağıtıcı | 3. Dağıtıcı delikleri |
| 2. Düzeltme plakası | 4. Isıtma tüpleri |

Aşağıda Şekil 3.16. ve 3.17'de iki ayrı çok etkili evaporatör görülmektedir:



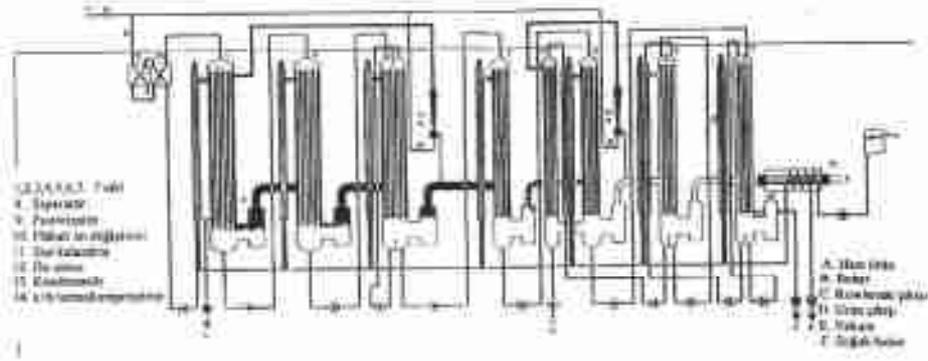
Şekil 3.16. Çok etkili evaporatör

- | | |
|-----------------------------|----------------------|
| 1. Termokompresör | 6. 3'üncü etki |
| 2. Vakum pompası | 7. Buhar seperatörü |
| 3. Mekanik buhar kompresörü | 8. Ürün ısıtıcısı |
| 4. 1'inci etki | 9. Plakalı kondenser |
| 5. 2'inci etki | |

Evaporasyonda enerjiden tasarruf ve sürekli (sürekli) çalışma amacıyla çok etkili evaporatörler kullanılır. Süttozu üretim ünitelerinde evaporatörlerin etki sayısı 3 – 8 arasında değişmektedir. Dört kademeleli evaporatörde vakum basıncı

etkiden etkiye artarken, kaynama noktası azalmaktadır. Örneğin 3 etkili bir evaporatörde kaynama noktası 1. etkiden itibaren sırasıyla 70, 55 ve 40 °C'dir.

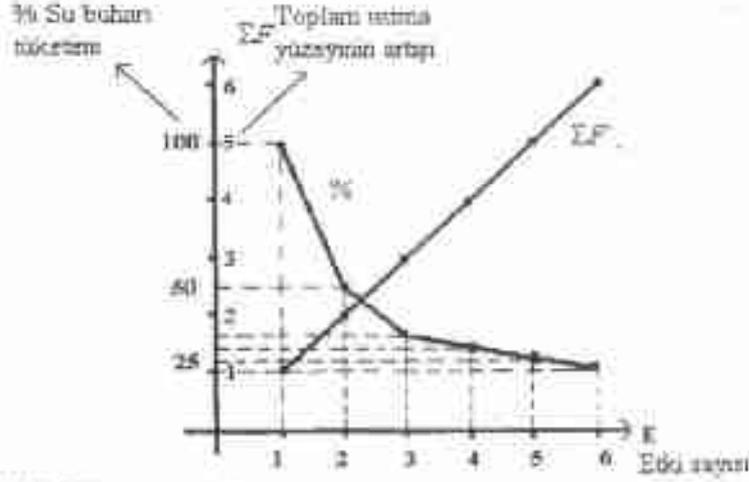
Çok etkili evaporatörlerde enerjiden tasarrufun esası, üründen alınan buharın tekrar ısıtmada yararlanılmasıdır. Örneğin herhangi bir etkide üründen alınan buhar, bir sonrakinde ısıtma amacıyla kullanılır. Yine bir etkinin seperatöründen ayrılan ürün buharının bir kısmı termokompresörler ile tekrar basınçlandırılıp sıcaklığı artırılarak ısıtıcı buhar (genellikle aynı etkinin calandriasında) olarak yeniden değerlendirilir. Çok etkili evaporatörlerde önemli bir yer olan termokompresörlere aşağıda daha geniş olarak değinilecektir.



Şekil 3.17. Yedi etkili evaporatör (3. etkiden 1. etkiye termokompresörü)

Çok etkili evaporatörlerde her etkideki calandria ceketlerinde ısıtma amacıyla kullanılan buhar calandrianın alt kısımlarında kondens sıcak su ve/veya buhar olarak buhar ve sıcak su üretim merkezinde tekrar toplanır. Aynı şekilde buhar seperatörlerindeki bacadan vakum etkisi ile alınan ürün buharları ve yoğunlaşmamış gazlar da toplanarak kondansatörde yoğunlaştırılmakta ve vakum pompası ile atılmaktadır.

Ç.e.d.f.e.'de etki sayısı arttıkça toplam ısıtma yüzeyi de artar. Diğer yandan üründen 1 kg su buharlaştırmak için gerekli su buhar tüketimi azalmaktadır. Bu ilişkileri aşağıdaki grafiğe görmek mümkündür (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Etki sayısına bağlı olarak yüzde su buharı tüketimi ve toplam ısıtma yüzeyi

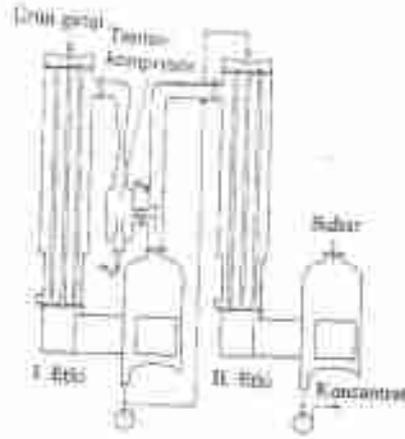
Buhar Kompresörleri (Termokompresörler)

1970'li yıllardan itibaren enerji masraflarını en aza indirmek bakımından evaporatör sistemlerinin gelişimi daha bir önem kazanmıştır. Fakat bunun için yapılacak yatırım masraflarının da yüksek olmaması gerekir. Bu yıllardan sonra birbirini takip eden enerji kızıları nedeniyle termik buhar sıkıştırma (Termokompresör) evaporatörlerin etki sayısı 3'den 5'e yükselmiş ve alınan buharın sıkıştırılmasında mekanik buhar kompresörleri de kullanılmaya başlamıştır. Enerji tüketimi bakımından kompresörlerin gelişimi aşağıdaki gibi olmuştur:

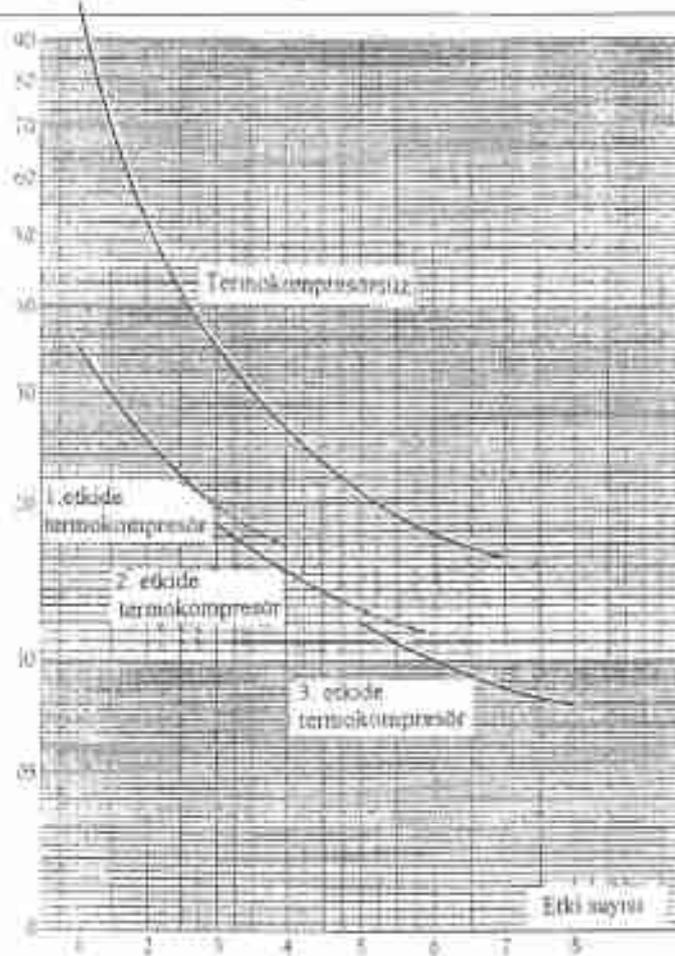
1. Birinci etki üzerinde termik kompresörü 3 etkili bir evaporatör
2. Üçüncü etki üzerinde termik kompresörü 7 etkili bir evaporatör
3. Üçüncü etki üzerinde mekanik kompresörü 3 etkili bir evaporatör

1. ve 2. teknoloji " TVR Sistemi ", üçüncü teknoloji ise " MVR Sistemi " olarak anılır. Bu kompresörler seperatör ile calandria arasına monte edilmektedir. Termik kompresörlerde (TVR) seperatörden ayrılan buharın bir kısmı kompresörde taze buhar ile sıkıştırılıp karıştırılarak, kullanılacağı calandria'nın sıcaklık ve basınç seviyesine ulaştırılır. Böylece üründen alınan buhar ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir. Şekil 3.19'da termik bir kompresörün evaporatör üzerindeki dizaynı görülmektedir.

TVR sisteminde buhar tüketimi ve etki sayısı arasındaki ilişki aşağıda Şekil 3.20'de kurve şeklinde verilmiştir. Termik buhar kompresörü bir veya daha fazla etki üzerine monte edildiğinde su evaporasyonunun %'si olarak buhar tüketimi değerleri kurve haline getirilmiştir.



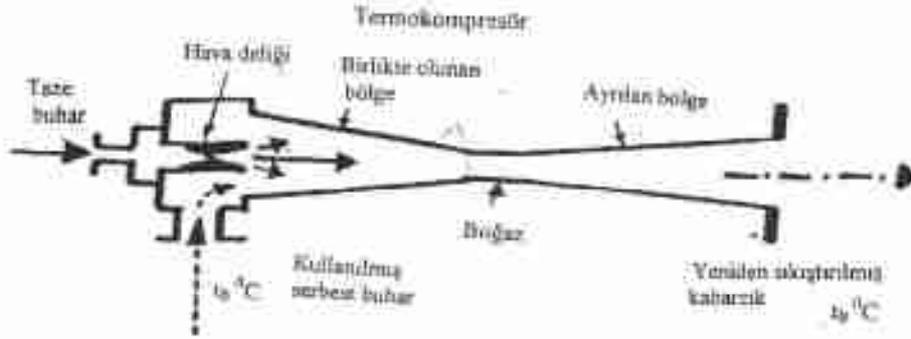
Şekil 3.19. İki etkili bir evaporatörde termokompresörün rolünü
Su evaporasyonunun % buhar ihtiyacı



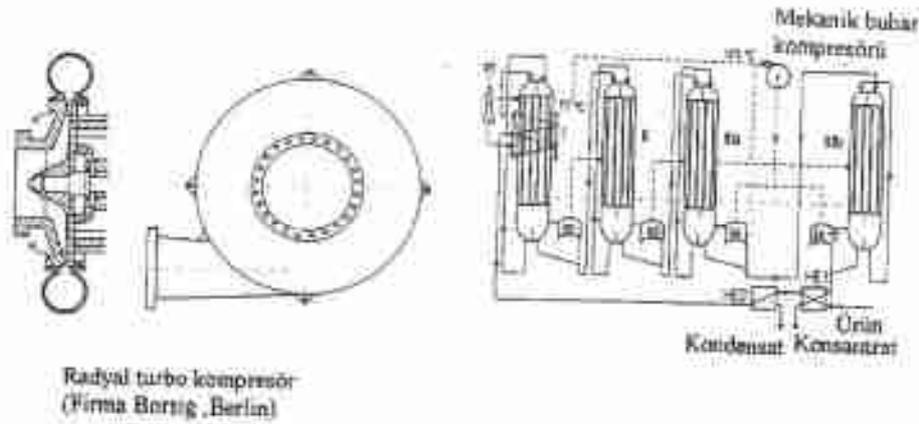
Şekil 3.20. Çok etkili bir evaporatörde su evaporasyonunun % buhar ihtiyacı (kurularlı
ışık bir ürünün standart kütlesini göstermektedir)

Aşağıdaki şekillerde ise (Şekil 3.21 ve 3.22) termik ve mekanik kompresörler ile mekanik kompresörün evaporatör üzerindeki yerleşimlerini görmek mümkündür.

Eğer işletmede elektrik enerjisi maliyeti düşükse, o zaman mekanik buhar kompresörünün (MVR) kullanımı işletme masraflarında önemli bir tasarruf sağlar. MVR sistemli evaporasyon prosesinde çalışmaya bağlı olarak kompresörde çok az veya hiç buhar kullanılmaz. Basınçlandırılacak tüm buhar miktarı kompresör edilir ve kullanılan buharın kondensasyonu için ayrıca soğuk su gerekmez. Bu kompresörün tahrik edilmesi elektromotorlar, buhar- veya gaz türbinleri ile olmaktadır.



Şekil 3.21. Termokompresör şeması



Şekil 3.22. Mekanik kompresör ve evaporatör üzerindeki dizaynı

Tüm mekanik buhar kompresörlerinde yüksek basınç vantilatörleri kullanılmaktadır. Bu vantilatörler yardımıyla daha fazla miktarda buhar yeniden basınçlandırılmaktadır. MVR sisteminde buhar basıncı kompresör tarafından 20 kPa'dan 32 kPa'ya çıkarken koyulaştırma sıcaklığı da 60 °C'den 71 °C'ye yükselmektedir. 71 °C'lik bir koyulaştırma sıcaklığı ise 1. etkideki ürünün pastörizasyonu için yeterli olmaktadır. Bu nedenle ihtiyaç duyulan koyulaştırma sıcaklığına ulaşabilmek için, sisteme 1. etkidен önce bir

termokompresör eklenmelidir. 3. etkideki buharın ayrılmışından sonra, adı geçen buhar küçük bir kondansöre gelmekte ve burada ihtiyaç dışı olan fazla buhar uzaklaştırılmaktadır. Keza kondansör evaporatördeki ısı dengesini de kontrol etmektedir.

Mekanik yolla buharın sıkıştırılması ile 1 kW'lık enerji kullanarak 100 – 125 kg suyun buharlaştırılması mümkün olabilmektedir. Yine 3 etkili mekanik buhar sıkıştırılmalı bir evaporatör ile 7 etkili termokompresörü bir evaporatör karşılaştırıldığında; birincisinin kullanılması durumunda maliyetin yarı yarıya azaldığı saptanmıştır.

Yüksek hızlı fanların kullanımı diğer bir mekanik sıkıştırma yöntemidir. Bunlar termal buhar kompresörlerinin kullanım amacına benzer şekilde veya sadece birkaç derece sıcaklık artışına ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmaktadırlar.

Her iki sistemin bir karşılaştırması yapılacak olursa TVR- ve MVR-sisteminin işletme verileri aşağıda verilmiştir:

İki termokompresör sisteminin karşılaştırılması	TVR	MVR
Kapasite, kg-su buhar / h	15.000	10.000
Pompaların güç ihtiyacı, kW	40	30
Her kg su buhar için özgül buhar ihtiyacı, kg	0.09	-
Mekanik buhar kompresörünün güç ihtiyacı, kW	-	100
Pastörizasyon (85°C)dahil olduğunda buhar tüketimi, kg / h	1.350	85

Termik ve mekanik buhar kompresörlerinin enerji ve maliyet masrafları bakımından bir karşılaştırması için ise yukarıda anlatılan 3 ayrı evaporatör arasındaki değerler aşağıda verilmiştir.

	<u>3 etkili termik</u>	<u>7 etkili termik</u>	<u>3 etkili mekanik</u>
Buhar, kg	260	90	10
Elektrik, kW	2	4	12
Maliyet masrafları, %	100	39,3	20,6

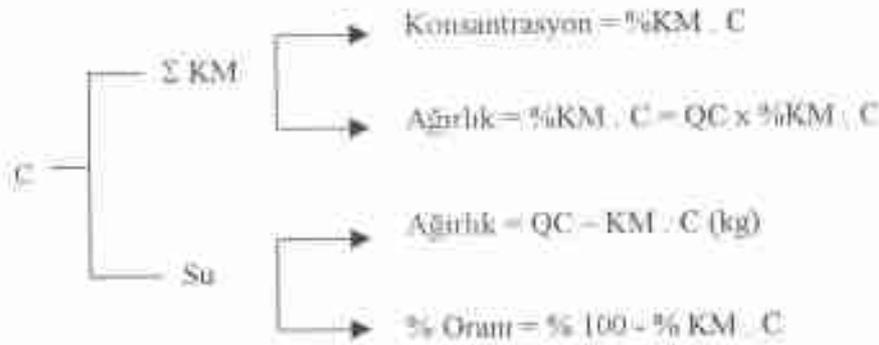
3.3. Evaporasyonun Bilançosu ve Randımanı Evaporasyonun Bilançosu

Evaporatördeki evaporasyon işleminin bilançosu şu şekilde saptanmaktadır.
Sütün KM'si = Konsantratin KM'si = KM

$$Q_L = Q_C + Q_E$$

L : Süt C : Konsantrat
E : Evapore su Q : Debi

$$C = \frac{Q_L}{Q_C} = \frac{\%KM \cdot L}{\%KM \cdot C}$$



Evaporasyonda bir başka hesaplama yöntemi şudur;

A: Koyulaştırılacak ürün miktar

B: Evapore buhar miktar

C: Konsantrat miktar

$$A = B + C$$

e: Evaporasyon oranı $e = \frac{A}{C}$ veya $e = \frac{C_2}{C_1}$

Eğer giren ve çıkan ürünlerin KM oranları veya konsantrasyon oranları önceden biliniyorsa miktarlar aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

Verilen Miktar	Bulunan	Formül
İşlenen madde miktarı	-A B, C	$B = A \cdot \frac{e-1}{e} \quad ; \quad C = A \cdot \frac{1}{E}$
Buharlaştırılan miktar	-B A, C	$A = B \cdot \frac{e}{e-1} \quad ; \quad C = B \cdot \frac{1}{e-1}$
Konsantrat miktarı	-C A, B	$A = C \cdot e \quad ; \quad B = C \cdot (e-1)$

Evaporasyon Randımanı

İki etkili, termokompresörlü bir düşen film evaporatörü 1 kg suyu buharlaştırmak için yaklaşık 0,25 kg buhar, 5 etkili bir evaporatör ise 0,20 kg buhara ihtiyaç göstermektedir. Bu evaporatörlerin termokompresörsüz olmaları durumunda ise buharlaştırma için ihtiyaç duyulan buhar miktarı sırasıyla 0,60 ve 0,40 kg olmaktadır. Termokompresörlü, 7 etkili bir evaporatörde 1 kg buhar ile 12 kg suyun buharlaştırılması mümkündür. Diğer bir deyişle spesifik buhar tüketimi 0,08 kg'dır.

Maksimum kaynatma sıcaklığı 1 etkide 70 °C iken, sonraki etkide 40 °C olmaktadır. 40 – 70 °C arasındaki sıcaklık farkı, teçhizatın boyutu için 30 °C'lik kullanılabilir bir alan yaratmaktadır. Evaporatörün etki sayısı arttıkça, takip eden her etkideki sıcaklık farkı daha düşük olmaktadır. Keza sıcaklık farkı basınç ve artan kaynama noktasına bağlı olarak kaybolmaktadır. Çok etkili ekipmanlarda genellikle 5 – 15 °C'lik bir sıcaklık farkı meydana gelmektedir. Bu ise daha geniş bir ısı transfer yüzeyi gerektirmekte ve buna bağlı olarak maliyeti artırmaktadır. Daha geniş ısı transfer yüzeyi, yüzey üzerinden sıvının yeterli bir şekilde ayrılabilmesi için ekipman ile ilgili ihtiyaçların artması anlamını taşımaktadır. Isı transfer yüzeyindeki artış, ürünün ısı transfer yüzeyinden geçiş süresinin uzamasına neden olmaktadır, ki bunun anlamı ürünün evaporatörde daha uzun süre kalmasıdır.

Konsantrasyon işleminin ne kadar süreceği, ürünün viskozite ve ısı direnci gibi özelliklerine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Ulaşılabilecek maksimum konsantrasyon yağsız sütte % 48, yağlı sütte ise % 52 olarak belirlenmektedir.

4. Koyulaştırılmış Süt Ürünleri Teknolojisi

Esas itibarıyla kondens süt çeşitlerinin ne olduğu hakkındaki bilgi "3. Koyulaştırma" bölümünde Çizelge 1'de 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 aroma sağlanması için yapılmaktadır. Örneğin % 8,1 yağlı şekerli kondens sütle sakaroz % 44'lük bir orana sahiptir.

4.1. Şekersiz Kondens (Evapore) Süt Üretimi

4.1.1. Tanım

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 sütenkinden 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.

Sterilizasyonda en önemli sorun ısı stabilitesidir. Sütün konsantrasyonu ne kadar yüksekse stabilitesi o kadar düşüktür. Bu tip ürünlerde konsantrasyonun 2,5 kez'den daha fazla yapılamamasının ve evapore sütle yağsız kurumaddenin yaklaşık % 22 istenmesinin nedeni budur.

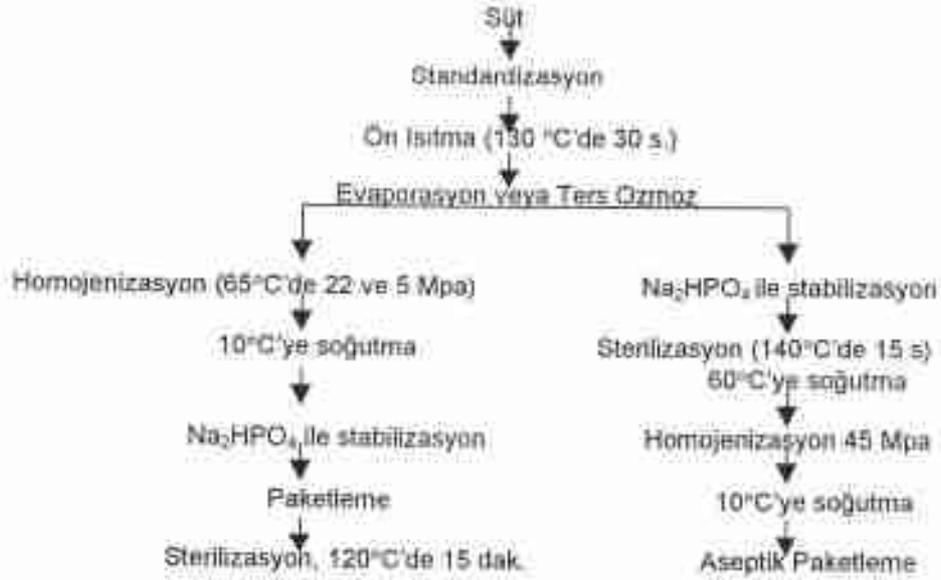
Geleneksel üretimde ürün, Maillard reaksiyonlarından dolayı esmerleşme gösterir ve aynı zamanda sterilize aromaya sahiptir. Klasik sterilizasyon ile üründeki lizin % 10'u, B₁, B₂ ve C vitaminlerinin yaklaşık yarısı ve B₉ folik asit vitaminlerinin de daha küçük miktar zarar görmektedir. Evapore süt oldukça viskozdur (viskozite 40 mPa.s civarındadır, diğer bir deyişle taze süten 20 kez daha fazladır). UHT yöntemi ile üretilen evapore sütle 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 sütozu, 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 azaldığından dolayı bakteri gelişimi oldukça yavaş olmaktadır. Aşağıda bazı evapore sütle ilgili bileşimi verilmektedir (Çizelge 4.1). Üretim sürecinde sütle ilgili ısı stabilitesini kontrol etmek için, CaCl₂ veya sodyumkarbonat fosfat veya sitrat ilave edilebilir. Bazen hafif kremimsi bir yapı için stabilizatör (örn. % 0,015 carragenan) de katılabilmektedir.

Çizelge 4.1. Bazı evapore sütlerin bileşimi

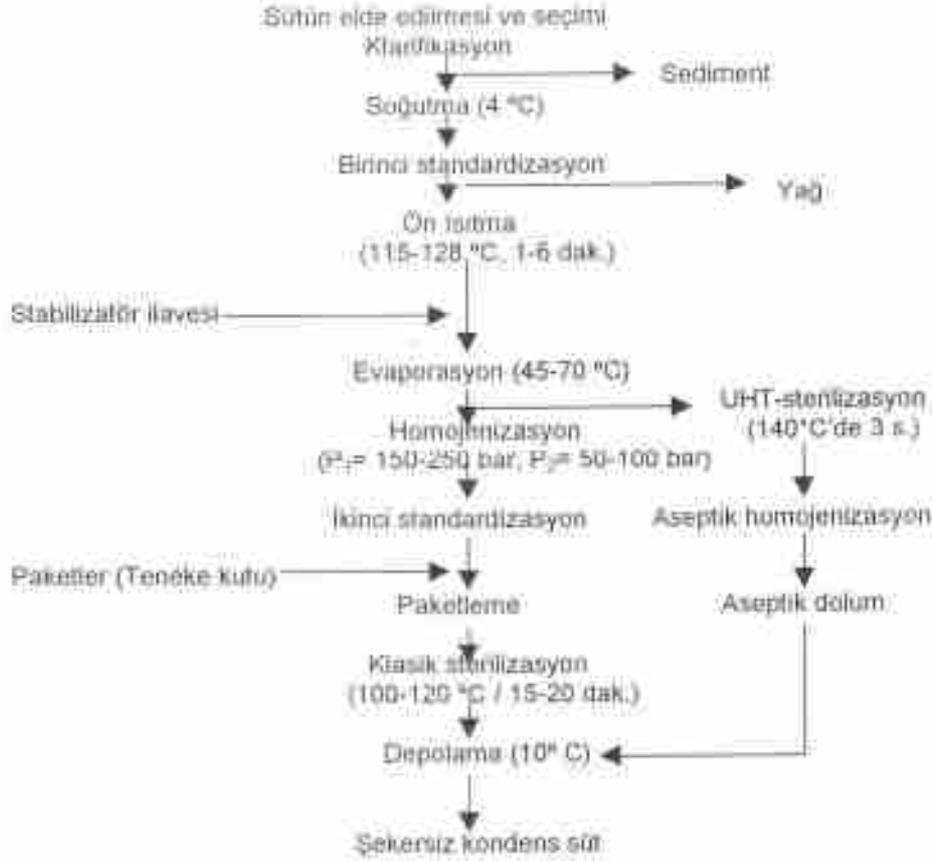
Tip	Konsantrasyon Faktörü	% yağ	% yağsız km.
Amerikan standardında	2,1	7,8	16,1
İngiliz standardında	2,6	9,0	22,0
Düşük yağlı evapore süt	2,25	4,0	20,0
Yağsız evapore süt	2,35	0,1	22,0

Klasik ve LHT sterilizasyon ile elde edilen evapore tam yağlı sütün üretim akım şemaları Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Tam yağlı evapore süt üretimi (hem şişede, hem de LHT ile sterilizasyon)

Kimi yabancı kaynaklarda, evapore süt denildiğinde genellikle şekersiz kondens süt akla gelmektedir. Bu ürünün üretiminde uygulanan işlemler sırasıyla; sütün seçimi ve hazırlanması, konsantrat eldeşi, homojenizasyon, paketlenme ve sterilizasyondur. Şekersiz kondens sütün üretim akım şeması Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Şekerli kondens sütün üretim akım çartası.

Elde edilen kondens süt UHT yöntemi ile sterilize edilebilir. Bu durumda sterilizasyondan sonra süt aseptik olarak doldurulmalıdır. Şekerli kondens sütün üretiminde uygulanan işlemler hakkındaki açıklayıcı bilgiler şöyledir.

Sütün Seçimi ve Ön İşlemler

Bunun için önce hammadde niteliklerinden söz edilmelidir. 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 yoğun ve yüksek derecedeki ısı işlemlerine karşı koyma yeteneği büyük ölçüde onun asitliğine ve tuz dengesine bağlıdır. Sütün yüksek ısı uygulamalarına dayanabilmesi için asitliğinin mutlaka düşük düzeyde olması gerekir. Bunun dışında mevsimsel değişimler, hayvana verilen yemin özellikleri ve laktasyon periyodu da ısıya karşı dayanımda etkili olmaktadır. Bu faktörler gözönüne alınarak, sütün

yüksek ısı uygulamalarına karşı koyma kabiliyetinin artırılması mümkün olabilmektedir.

- * 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 Klostridialar gibi) ve ısıya karşı dirençli bakteri sayısı az olmalıdır. Bu bağlamda evaporasyon vakum altında ve 65 – 70 °C'yi geçmeyen sıcaklıklarda yürütülmektedir. 65 °C'nin altındaki sıcaklıklar sporlar ve ısıya dayanıklı bakterilerin gelişimi için çok uygun düşmekte, bu ise son üründe bozulmalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle kondanse süt üretiminde proses sırasında dikkatli bir bakteri kontrolü zorunludur.
- * Çiğ sütün, uygun koşullarda muhafaza edilmesi kaydıyla 48 saatten daha eski olmaması gerekir.

Sütün koyulaştırmaya hazırlanmasındaki ön işlemler klarifikasyon, standardizasyon ve ısı uygulamasıdır.

Klarifikasyon: Sütün seçiminden sonra süt klarifiye edilir. Bu amaçla yararlanılan klarifikatör veya seperatörlerde aynı zamanda özgül ağırlığı yüksek olan basil içereninde de azalma görülür. Bunun yanında mama üretiminde kullanılacak yüksek besin değeri süttezu üretiminde sporlu mikroorganizma sayısını azaltmak için bakteriyüstasyon işlemi de yapılabilir.

Yağ Standardizasyonu: Hammadde sütün yağ oranı tuzaklara (Çizelge 3.1'deki gibi) veya isteğe göre yapılır. Ancak yağ standardizasyonu koyulaştırmadan sonra da olabilir. Kondens süt, bileşenlerinin oranı değişebilmekte birlikte normalde % 8 yağ ve % 18 yağsız kurumadde olarak üretilmektedir. Diğer bir deyişle kondens sütte yağın, yağsız kurumaddeye oranı 8:18 veya 1:2.25 olmaktadır. Bu oranlar ülke standartlarına göre değişmektedir. Örneğin İngiltere'de 10:20 iken, Almanya'da 7,5:17,5'dir. Korunması gereken minimum değer olan bu oranlar artırılabilir. Fakat ekonomik olarak düşünüldüğünde bunun gereksiz olduğu açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Uygulamada mevcut oranlar çok az değişebilmektedir. Örneğin % 8,05 yağ ve % 18,10 yağsız kurumadde gibi.

Isı Uygulaması: Kondens süt üretiminde ısıtma işleminin amaçları;

- * Sıcaklığa duyarlı mikroorganizmaların imhası ve enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak.
- * Isı muamelesi sırasında kalium 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.

Isıtmanın termal stabiliteye olan etkisi şu şekilde açıklanabilir: Sütte asit ve alkali maddeler arasında bir denge vardır. Asit eşdeğerlerinin toplamı (P_2O_5 , Cl , SiO_2 , CO_2 , sülfitler, kazein, albumin, globülin) yaklaşık olarak alkali olanların

(CaO, MgO, K₂O ve Na₂OH) toplamına eşittir. Asit eşdeğerleri sütteki protein sistemleri üzerinde stabilizasyon etkisi göstermektedir. Oysa alkaller, özellikle de Ca²⁺ ve Mg²⁺ karşı bir davranış gösterir ve kazein misellerinin agregasyonuna, stabilitelerinin bozulmalarına ve presipitasyona neden olmaktadır. Sütteki eriyebilir kalsiyum ve fosforun miktarları ısıtma sırasında azalır. Eriyebilir kalsiyumdaki azalma fosfordakinden daha fazla ve önemlidir. Sistemin stabilitesi, ısıtmadan sonra yeniden sağlanmaktadır. Son araştırmalar şekersiz kondens sütün termal stabilitesinin, ısıtmadan sonra santrifüjasyon işlemi ile artırılabilirliğini göstermiştir.

75 °C'nin üzerindeki ısıtma sıcaklığında serum proteinleri denatüre olduğu için viskozite artışı ve muhtemel bir jelasyon görülebilir. Eğer 100 °C'nin üzerinde bir sıcaklık uygulanırsa kazeinlerde de bir pıhtılaşma ortaya çıkabilir. Kazeinin böyle yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması optimum tuz dengesine bağlıdır. Kondens süt üretiminde kazein stabilitesini artırmak için yaklaşık % 0,1 oranında fosfat ve sülfitler ilave edilebilmektedir. Bu stabilizatörler ön ısıtmadan önce kısmen süte ve evaporasyondan sonra da konsantrata katılır. Kullanılan stabilizatörler genellikle disodyumhidrojen fosfat, trisodyum fosfat ve sodyumhidrojen karbonattır. Bunlardan trisodyum fosfat kötü eriyebilirliğinden dolayı pek kullanılmaz. Katılacak olan toplam miktar % 7,5 yağlı kondens sültilerde 0,5 g/l, % 10 yağlı kondens sültilerde ise 0,8 g/l kadardır.

Isı işlemi genellikle 100–120 °C'de 1–3 s süreyle uygulanmaktadır. Bununla birlikte kazein stabilitesi açısından süte uygulanacak ısı-zamanı 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 düşük 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. Bu hesapla % 3,8 yağ ve % 8,55 yağsız kurumadde içerikli 2,1 kg materyal sütün, % 8 yağ ve % 18 yağsız kurumadde 1 kg şekersiz kondens süt üretilmektedir. Evaporasyon sırasında sütün koku ve tat gibi fizyolojik değerleri mümkün olduğunca çok az değişmeli, evaporatörde buhar ve su tüketimi en ekonomik şekilde sağlanmalı ve buharlaşma süreci kontrollü bir şekilde yapılmalıdır.

Konsantrat eldesi Ters Ozmoz teknolojisi ile de sağlanabilir.

Homojenizasyon: 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.

Koyulaştırmadan sonra evapöre sütün homojenize edilmesinin nedenleri;

- Ambalaj içinde (özellikle cam şişelerde) yağ damlalan oluşumuna engel olmak,
- Kahveye katımda beyazlatma gücünü artırmak,
- Paketlerde yağın iç yüzeye yapışmasını önlemek ve
- Sterilizasyon sırasında yağ globüllerinin birleşmesine engel olmaktır.

Homojenizasyon nedeniyle fiziksel yapıda meydana gelen diğer değişiklikler şöyledir;

- Işıyı yansıtma ve dağıtma özelliğine sahip olan yağ globüllerinin sayılarının artması sonucu daha yoğun beyaz renk oluşur.
- Oluşan yağ globül yüzeylerine proteinleri adsorbasyonu sonucu viskozite artar,
- Yağsız süt fazından yüzey aktif maddelerin ayrılması sonucu yüzey tansiyonu yükselir ve
- Kazenin yeni oluşan yağ globül membranlarına adsorbe edilmesi sonucu koagülasyon yeteneği artar.

Kimyasal değişiklikler arasında en önemli olanları ise şöyle sıralanabilir;

- Artan yağ globül yüzey alanının lipazla daha fazla teması sonucu lipolitik ransiditenin artması,
- Antioksidatif özelliklere sahip sültürlü bileşiklerin oluşumu ile yağ globül yüzeyinden yağsız süt fazına fosfolipidlerin geçişine bağlı olarak oksidatif değişikliklerin azalması ve
- Tuz dengesindeki değişiklikler sonucu, ısı ile teşvik edilen denatürasyonda olduğu gibi protein stabilitesinin azalmasıdır.

Homojenizasyonun diğer süt ürünleri için sağladığı yağ globüllerinin küçülmesi, viskozitenin iyileşmesi, proteinlerin ısı stabilitesinin artması gibi yararları kondens süt için de geçerlidir. 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: Evapöre süt homojenize edildikten sonra ya dar boyunlu cam şişelere, ya da tenekeler kutulara doldurulur. Genellikle şişeler 250 g, tenekeler kutular ise 170–410 g ürün hacmindeydir. Modern yöntemde ise UHT sterilizasyondan sonra karton ambalajlara aseptik dolum yapılır. Eğer konserve

kutularda paketlenme yapılmışsa ürün içinde demirin çözünmesini önlemek için kutunun içi kağıt ile kaplanır.

Sterilizasyon: Bilinen sterilizasyon normlarında üretilmiş olan kondens sütler, dolundan sonra ambalajın içinde (metal kap veya cam şişe) klasik sterilizasyonla otoklavda veya yataş sterilizatörlerde kesikli veya sürekli şekilde sterilize edilirler.

Sterilizasyonda özellikle patojenler, basiller ve klostridialar gibi sporlu mikroorganizmaların ölmesi gerekir. Tüm bakteri sporlarını öldürmek ve bir süt proteinazı olan plasmin gibi enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak amacıyla yapılır. Çiğ sütte olmayan ve daha sonra psikrotrof bakterilerin ürettiği lipaz ve proteinazlar sterilizasyonla inaktive olmaktadır. Isıya en dirençli sporeler *Bacillus stearothermophilus*'un oluşturduğu spordur. Eğer sterilizasyon *B. stearothermophilus* için yeterli ise, *B. subtilis*, *C. botulinum* ve *C. perfringens* için de yeterli olmaktadır. Sporeler ve plasminlerin ölümlü bakımından UHT yöntemi, klasik sterilizasyona göre daha etkilidir.

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. Fakat depolama sırasında yüksek ısı uygulaması nedeni ile protein ve laktöz arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar (Maillard veya Browning reaksiyonu) sonucu, üründe açık kahverengi bir renk oluşumu meydana gelebilmektedir.

Sterilizasyon amacıyla UHT yönteminden de yararlanılmaktadır. Bu durumda süt, eğer gerekli ise yukarıda ısı uygulaması bölümünde belirtildiği gibi stabilizer eklenecek UHT sistemine pompalanmakta ve burada yaklaşık 140 °C'de 3 s süreyle sterilize edilmektedir. Soğutmanın ardından aseptik dolum makinelerinde karton ambalaja paketlenir.

Rekombine kondens sütler de, aynı şekilde ya metal kaplara ambalajlanarak sterilize edilmekte veya UHT yöntemi ile sterilize edilerek karton maleryalde aseptik ambalajlanmaktadır.

Depolama ve Muayene: Metal ambalaj ve/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.

Kondens süt, açık renkte ve krem görünümünde olmalıdır. Kondens sütlerin muayenesi amacıyla, öncelikle her bir partiden birkaç tane olmak üzere örnek alınmakta (ambalajlanmış halde) ve bu örnekler 3 farklı sıcaklıkta inkübe edilmektedirler (oda sıcaklığı, 30 °C ve 38 °C). Bu muayeneden 10–14 gün sonra metal ambalajlar, toplam partinin niteliklerini belirlemek üzere dikkatle incelenmektedirler. Daha sonra kondens sütler, yağ, yağsız kurumadde, viskozite, bakteri ve spor içeriği bakımından test edilmekte ve benzer şekilde renk, tat, koku açısından da değerlendirilmektedirler. Son olarak ise

numunelerden bir, şikayetlerin doğrulanması ve karşılaştırılması gibi amaçlarda bir yıl kadar muhafaza edilmektedir.

Duyusal Özellikler:

Evapore sütün rengi ve aroması üzerine Maillard reaksiyonu önemlidir. Üretim sırasındaki ısı uygulaması ve sıcaklık reaksiyon ürünlerinin baştaki konsantrasyonunu belirler, ancak devam eden Maillard reaksiyonu özellikle yüksek sıcaklıklarda depolama sırasında meydana gelir. Neticede bayat bir tat ve farklı bir aroma ortaya çıkar. Ayrıca süt konusu kahverengilik evapore süt kahve boyazlatıcı olarak kullanıldığında farklı bir renge neden olur. Kahverengi renk, yağdan da ileri gelebileceği gibi büyük miktarda Maillard reaksiyonlarına bağlıdır.

Evapore sütün viskozitesi, en önemli kalite kriteri olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Uygun viskoziteye ısı koagülasyonunun önlenildiği bir sterilizasyona ulaşılabilir. UHT evapore süt daima daha az viskozdur, bu yüzden bazen K-arrajenan ilave edilmelidir.

Eğer materyal süt bakteriyel lipaz ve proteinaz içerirse, bu enzimler evapore süte aktif kalabilmekte ve sabunumsu-ransit, acı ve bayat tat gibi bozukluklara neden olmaktadır. Evapore yağsız süt proteinaz aktivitesinden dolayı daha az veya daha fazla parlak-saydam görüntü verebilmektedir.

4.2. Şekerli Kondens Süt Üretimi

4.2.1. Tanım

Şekerli koyulaştırılmış süt, evaporasyon ile konsantre edilen konserveleme işleminden önce sakaroz (doymuş çözelti formunda) ilave edilen süttür. 1856'da uygulanmaya başlanan "şeker ile dayanıklılığı koruma" sterilizasyon ve kurutmadan önce kullanılan bir yöntemdir. Çizelge 4.2 şekerli koyulaştırılmış yağsız sütün bileşimini vermektedir.

Çizelge 4.2. İki ayrı standarda göre şekerli koyulaştırılmış sütün bileşimi

	Amerikan standardı	İngiliz standardı
Yağ, %	8	9
SYKM, %	20	22
Laktoz, % g	10,3	11,4
Sakaroz, % g	45,0	43,5
Su, %	27,0	25,5
Laktoz / 100 g su	38,3	44,6
Sakaroz / 100 g su	167	171
Konsantrasyon faktörü	4,6	5,0

Süt konsantre edildiğinde kütleli konsantrasyon oranı $Q = 4-6-5$ ve suyun nispi konsantrasyon artışı ise $Q = 7,3 - 8,5$ 'tir. Bu durumdan ve yüksek şeker

konsantrasyonundan dolayı ürün hayli viskozdur. $\eta^1 = 2$ Pa.s örneğin süttten 1000 kez daha viskozdur.

Şekerli koyulaştırılmış süt özellikle tropik ülkelerde, pastalarda, çaylarda ve kahvelerde kullanılır. Bazen seyreltikten sonra bebek yiyeceği olarak da kullanılabilir, ancak bu şekilde kullanım besinsel nedenlerle tartışmalıdır. Bazı ülkelerde daha az şeker içeren ürün (her 100 g suda 70 g sakarozdan daha az) çikolata ve şekerleme sanayinde kullanılmak üzere üretilmektedir.

4.2.2. Geleneksel Olarak Üretim:

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 ozmotik basıncı artırarak mikroorganizma gelişimini önlemektedir.

Üretimde işlem aşamaları genel olarak bir önceki üründe (şekersiz kondens süt) olduğu gibidir (Şekil 4.3).

1. Sütün seçimi ve hazırlanması,
2. Isı uygulaması
3. Konsantrat eldesi ve şeker ilavesi,
4. Konsantratin soğutulması ve
5. Paketlemidir.

Sütün Seçimi ve Hazırlanması: Hammaddede sütte aranan nitelikler şekersiz kondens süt için istenen niteliklerde olduğu gibidir. Son üründe istenen kalite gereksinimleri için materyal sütte yağ/yağsız kurumaddé oranının ayarlanması gerekir.

Bu üründe sterilizasyon yapılmadığından pastörizasyon özenle uygulanmalıdır. Pastörizasyondan sonra sütte halen bulunabilecek mikroorganizma gelişmesi veya reenfeksiyon tehlikesi, yüksek şeker konsantrasyonu ile önlenmektedir.

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. Süte evaporasyondan önce uygulanan ısının ekonomik ve teknolojik yararları vardır. 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 bir ürün üretilmek isteniyorsa, süt 82 °C'de 10 dak'lık bir ısıl işleme tabi tutulmalıdır, buna karşın düşük viskoziteli bir ürün söz konusu ise sıcaklık/süre kombinasyonunun 118 °C'de 30 s olması gerekir. İstirna

yoğunluğunu ürünün viskozitesini, kalınlaşma zamanını ve jelleşmesini etkilemektedir. Bu nedenle yaklaşık 130-140 °C'de 5 s gibi bir UHT uygulaması yaygın olarak kullanılır.

Konsantrat Eldesi ve Şeker İlavesi: Giriş sütünün evaporasyonu ile konsantrat eldesi tıpkı şekerli kondens sütle 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).

Evaporasyon işlemi sırasında evaporatör içine yüksek konsantrasyonlu şeker ilave edilir. Şekerin homojen bir şekilde konsantrat içine dağılımı için sürekli kapalı sistemlerin kullanılması daha uygundur.

Şeker eğer evaporatörde eklenecekse, şurup evaporasyonu işleminin yarısı kadar bir sürede sütle karıştırılmalıdır. Evaporasyon işlemi istenen kurumadde içeriği sağlanana kadar sürmekte, kurumadde içeriği, konsantratin yoğunluğunun tespiti ile belirlenebilmektedir. Bu yoğunluk, doğru kurumadde değerine eriştiği zaman şekerli-yağlı süt için 1,30, şekerli-yağsız süt için ise 1,35 olmalıdır. Başka bir hesaplama ile örnekleme yapılacak olursa; % 45 şeker, % 27 su ve % 8 yağ oranına sahip 1 kg şekerli kondens süt, 0,44 kg şeker içeren % 3,2 yağlı, 2,5 kg süttten elde edilebilmektedir.

Şekerli kondens süt üretimindeki 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.

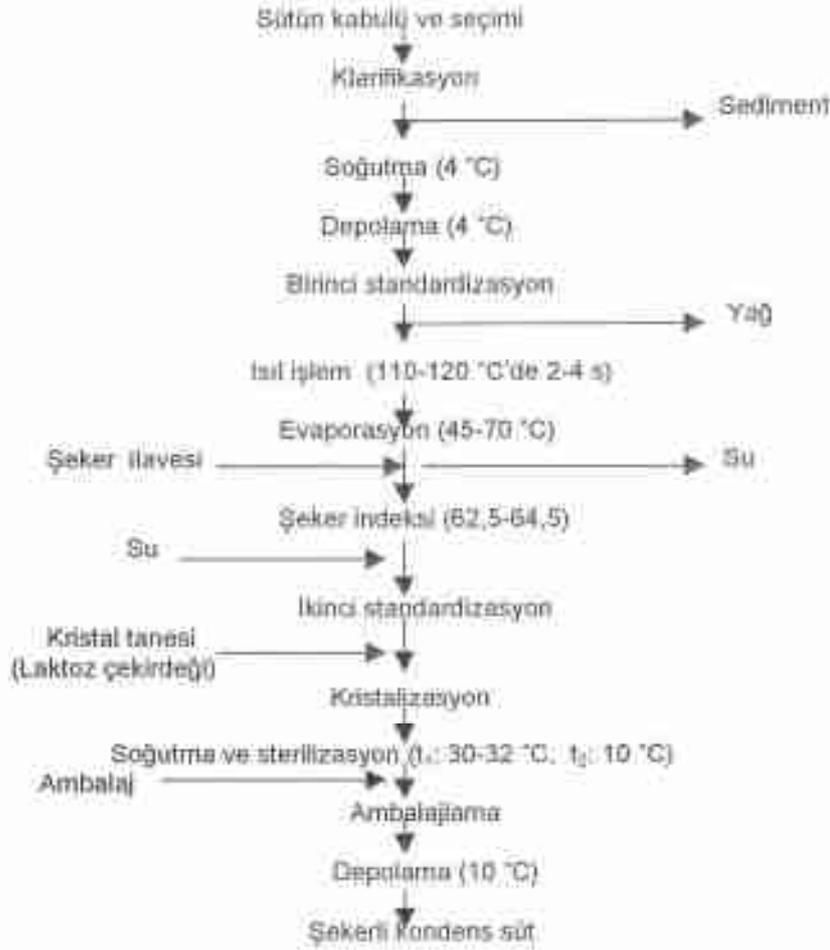
Genellikle kullanılan şekerler glukoz, dekstroz veya diğer şekerler olmasına karşın çoğunlukla eriyebilirliğinin iyi olması, fermentasyon yeteneklerinin az olması ve tüketici tercihleri gibi nedenlerle sakaroz tercih edilmektedir. Fakat sakarozun da iyi bir mikrobiyolojik kaliteye sahip olması ve invert şeker (sakarozun invertaz enzimi ile hidrolize olmasıyla elde edilen indirgen şeker'dir) içermemesi gerekir.

Şekerli kondansé süt, doğrudan tüketim için üretiliyorsa şeker ya kristal halde ya da çözelti halinde süte katılır. Eğer çözelti şeklinde katılacaksa, önce 95 °C'deki suda çözülür, ardından yüksek derecede pastörize edilir. Şekerli kondansé sütün dayanımında üründeki şeker/su konsantrasyonu önemli bir faktördür. Şeker sayısı veya şeker indeksi olarak anılan bu oran, % 60-64 arasında olmalı ve şu formüle göre hesaplanmalıdır.

$$K_s = \frac{S}{S+W} \cdot 100$$

K_s = Şeker/Su oranı, % (Şeker indeksi)
 S = Sakaroz içeriği, %
 W = Su içeriği, %

Şeker indeksi yani $K_2 < 62,5$ olduğunda son üründe bakteriler tarafından teşvik edilen değişiklikler olabilir. $K_2 > 64,5$ olduğunda ise düşük sıcaklıklarda laktöz kristallizasyonu görülebilir.



Şekil 4.3. Şekerli kondens sütün üretim akışı şeması

Şeker ilavesi eğer ısı işleminden önce yapılırsa bakterilerin ve bakteri enzimlerinin sıcaklık dayanımını ve depolama sırasında ürünün viskozitesini artırır, evaporasyondan önce olursa o zaman diğ depolama sırasında viskozite artışına neden olabilmektedir.

lave edilecek şeker çözeltisi buhar ile ısıtılan kanştırıcı özel bir tankta hazırlanır. Genel olarak şeker kamışı veya şeker pancarı şekerli suda

çözündürülerek son ürünün şeker oranı % 41'e ayarlanır. Bu çözeltinin hazırlanmasında çözücü olarak yağsız süt de kullanılabilir. Şekerli ürüne mutlaka doymuş çözelti halinde ilave edilmesi gerekir. Ürüne katımdan önce, çözeltinin erimeyen veya yabancı katı unsurları filtre edilmelidir. Bu çözelti eğer evaporatörde süte doğrudan ilave edilecek olursa erimeyen unsurların üründe kalma tehlikesi olabilir.

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

Evaporatördeki süt kütlelerinin kuvvetli hareketinden dolayı laktoz kristalizasyonu meydana gelebilir. Evaporasyon işleminin sonunda bome derecesi ile konsantrasyon kontrolü yapılır. Üretilmiş hazır ürün 49 °C'de 32 bome, 15 °C'de 33,5 bome derecesi gösterir ki, bu da yaklaşık 1,30 g/ml'lik bir özgül ağırlığa karşılık gelir.

Geleneksel üretimde tatlandırma işlemi yukarıda açıklandığı gibidir. Ancak şekerli kondensé süt üretiminde laktozu hidrolize ederek monosakkaritlerine parçalamak suretiyle de tatlandırma yapılabilmektedir. Bu işlemde, süt pastörizasyondan sonra 5-10 °C'ye soğutulur ve *Saccharomyces fragilis* den elde edilen β -galaktosidaz ile laktoz hidrolize edilir. Hidrolizasyon, süte % 1 oranında enzim ilavesi ve 37 °C'de 3 saat veya 6 °C'de 24 saatte gerçekleştirilir. Böylece laktoz % 95-99 oranında hidrolize olur. Son ürünün tatlılık derecesi, geleneksel prosedürdeki sakaroz katımı ile sağlanan tatlılık düzeyine yakındır.

İkinci standartizasyon sırasında toplam kurumadde, şeker ve yağ içerikleri kontrol edilir ve elde edilen bilgiler ışığında toplam kurumadde içindeki oranlar ayarlanır.

Bazı üreticiler son üründe viskoziteyi düzeltmek amacıyla, evaporasyondan hemen sonra konsantrati 5-7,5 mPa (50-75 bar) basınçta homojenize etmektedirler.

Homojenizasyon: Koyulaşmış üründe kremleşme sık karşılaşılan bir problem olmadığından homojenizasyon her zaman uygulanmaz. Diğer yandan genelde şekerli koyulaştırılmış süt daha az viskoz olduğundan kalınlaşma daha seyrek görülmektedir. Yağ globülleri ile sürekli faz arasındaki kütle yoğunluğu fazladır ($400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Eğer sürekli fazın viskozitesi 1 Pa.s ve homojenizasyon yapılmaz ise kremleşme oranı her gün yağın % 1'i kadar olacaktır. Bu yüzden homojenizasyon düşük basınçta, örneğin 2-6 MPa, uygulanmalıdır. Homojenizasyon 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 kristalleşebilir, 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

yapılmaktadır. Bu ilikteki kristaller normal depolama sıcaklığında (15–25 °C) koyulaştırmış 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 1 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 m³ te 4x10¹⁷ den fazla ve boyutları 10 µm'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:

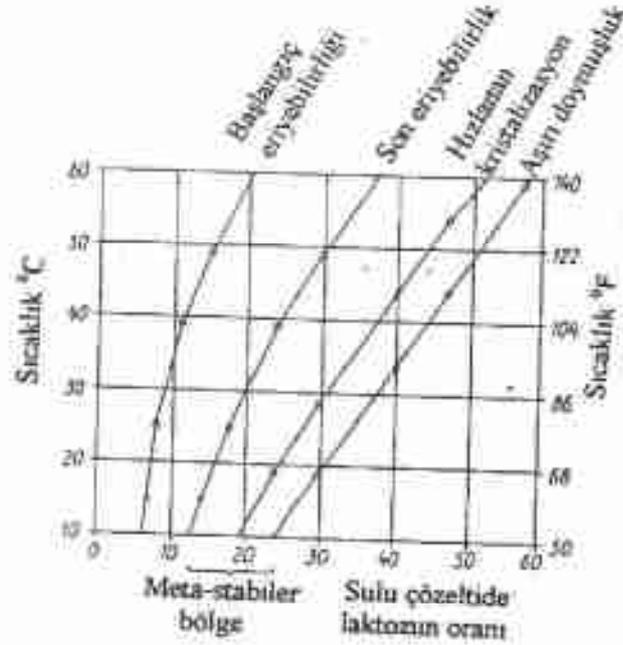
- * Sıcaklık azalması
- * Yüksek laktoz konsantrasyonu, > % 10
- * İlave şekerin yüksek konsantrasyonu, > % 40
- * Su miktarının az olması

Laktozun eriyebilirliği ısıya bağlıdır. 10 °C'deki bir laktoz çözeltisinde laktoz konsantrasyonu % 13,1'dir. Bunun % 5'i α-laktoz, % 8,1'i β-laktozdur. Buna karşın 40 °C'deki çözeltide konsantrasyon % 25'dir. Laktozun çözündürülmesinde 3 ayrı eriyebilirlik fazı vardır.

1. Başlangıç eriyebilirlik fazı,
2. Son eriyebilirlik fazı (Doymuşluk).
3. Aşırı eriyebilirlik fazı (Aşırı doymuşluk)

Konsantrat evaporatörden 60 °C'de çıktığında eriyebilirlik fazı doymuşluk seviyesindedir ve konsantrat soğutulduğunda çözeltide aşırı doymuşluk olur. Aşırı doymuşluk, daha kolay enr şekerin çözücünün bir bölümünü kullanmasıyla daha da artar. Aşağıda Şekil 4.4'de laktozun suda eriyebilirlik kurvesi görülmektedir. Ancak aşırı doymuşluk yükselirse çözelti stabil olmayan duruma geçer ve o zaman da aşırı doymuş laktoz kristalize olur.

Şekildeki son eriyebilirlik kurvesi ve aşırı doymuşluk kurvesi arasındaki bölüme, ki bu bölüme meta-stabiler oda denilmektedir, eğer çözeltide kristalizasyonu başlatan kristaller varsa veya bunlar kinetik enerji ile hızlandırılmışsa bir kristalizasyon meydana gelir. Bununla birlikte meta-stabiler bölümünde hızlı bir kristalizasyon kurvesi ortaya çıkar. Son eriyebilirlik tekrar elde edilinceye kadar birçok laktoz kristalize olur. Tipik kristalizasyon hatalarından kaçınmak için kristalizasyon işlemi doğru şekilde yapılmalıdır. 18-30 µm arasındaki kristal büyüklüklerinde unumsu bir tat, 30 µm'nin üzerindeki büyüklüklerde ise kumumsu bir tat bozukluğu görülür.



Şekil 4.4. Laktözün suda eriyebilirlik kurvesi

Yağlı şekerli kondens süt üretiminde arzu edilen kristal oluşumunu sağlamak için yukarıda da ifade edildiği gibi aşağıdaki önlemler alınmalıdır.

1. Konsantratin 20-30 °C aralığında optimum kristalizasyon ısısına hızlı bir şekilde soğutulması,
2. Kristalizasyon ısısına soğutulduktan sonra 500 kg'lık sıvı konsantrata yaklaşık 125 g saf pülvertze laktoz ilavesi ile kristal hücrelerinin aşılması,
3. Konsantratin sürekli ve düzenli bir şekilde karıştırılarak kristal oluşumunun sağlanması.

Kristalizasyonun amacına göre geliştirilmiş özel soğutucular bulunur. Bu sürekli soğutucularda soğutma prosesinin otomatik olarak çalıştırılmasıyla dengeli bir soğutma ve düzgün bir kristalizasyon elde edilebilir. Ayrıca kristalizasyon işlemi çift cidarlı kristalizasyon tanklarında veya özel vakumlu kristalizasyon düzeneklerinde de yapılabilir.

Üründe sonradan olabilecek laktoz kristalizasyonunu önlemek için asitle hidrolize edilmiş şeker şurubu da katılabilir. Şeker şurubu ilave edilmeden önce HCl kullanarak 6,5-6,7 pH derecesinde 80-90 °C'de 20-30 dak. hidrolize edilir. Sonraki işlemler geleneksel tatlantırılmış süt üretiminde olduğu gibidir.

Paketleme: Şekerli kondens süt, yeşilimsi-sarı bir renkte ve mayonez kıvamında olmalıdır. Bu ürün geleneksel olarak metal ambalajlar ile paketlenmektedir. Bu durumda ambalajların temiz olması ve dolurmadan önce

sterilize edilmeleti gerekir. Bu kutular dolundan sonra doğrudan hermetik olarak kapatılır. Ancak günümüzde şekerli kondens sütlerin paketlenmesinde, aseptik karton ambalajlardan da yararlanılmaktadır.

Pirakende satış markaları için dizayn edilmiş olan bu paketler küçük (250 veya 410 g gibi) hacimlerde, değişik özellikteki tenekelerden imal edilmektedir. Büyük kuruluşlar için ise ürün, silindirik metal fiçilerde veya varillerde ambalajlanırlar.

Şekerli koyulaştırılmış sütler 10 °C'de 1 yıl, 18-20 °C'de 6 ay kadar depolanabilmektedir. Metal veya karton ambalajlı örneklerden biri şekerli kondens-süt üreticisi tarafından 1 yıl kadar muhafaza edilerek oluşan değişimler incelenmekte. Özellikle ürünün performans ve kristalizasyon düzeyi belirlenmektedir.

Şekerli Koyulaştırılmış Sütlerdeki Bozulmalar:

Mikrobiyel Bozulma: Bu ürün steril olmadığından canlı bakteri ve sporlar içerir. Ancak düşük su aktivitesi (-0,83) veya yüksek şeker içeriğinden dolayı mikroorganizma gelişimi önlenir. Mikrobiyolojik bozulmaya "Tonilopsis" cinsi osmofillik mayalar, mikrokoklar ve bazı küfler (*Aspergillus repens*, *A. glaucus*) neden olur. Tonilopsis 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 süten 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 ise daha az ve daha geç bir kalınlaşma görülür.
- Stabilize tuzlar: Çeşitli tuzların stabilizasyon etkisi geniş bir spektruma sahiptir. % 0,2'ye kadar tuz ilavesi mümkündür. Örneğin % 0,03 tetrapolifosfat ilavesi zamanla kalınlaşmayı geciktirir, ancak daha fazla ilavesi ters etki yapar.
- Depolama: Zamana bağlı koyulaşma depolama sıcaklığıyla artar. $Q_{10} = 3,4$ olan tropik sıcaklıklardaki jelleşme (jelasyon), yaklaşık 1 yıl içinde meydana gelir.

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.

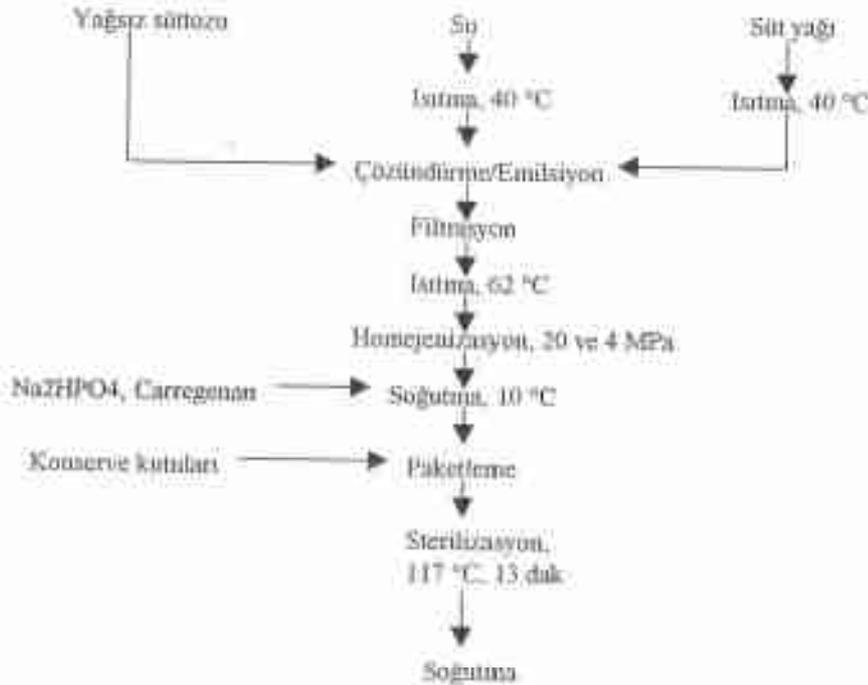
4.2.3. Ultrafiltrasyon İle Şekerli Kondens Süt Üretimi:

Maleryal sütün başlangıçta ultrafiltre edilmesi ile laktoz içeriği düşürülmekte, böylece kristalizasyon problemi büyük ölçüde çözümlenerek şekerli kondens süt üretilmektedir. Ultrafiltrasyon ile üretimin, geleneksel göre bazı avantajlarının olduğu ifade edilmektedir.

4.3. Rekombine Evapore Süt

Rekombine sütün üretim geması Şekil 4.5'de görülmektedir. Rekombine kondens sütle kullanılacak olan sütozu, çok kısa süre ısı uygulanmış (130 °C'de 1 dak.) yağsız süttten elde edilmelidir. B.stearothermophilus sporlarının büyük çoğunluğu yok edilmektedir. Bazen yağsız sütozunun % 10'u kadar bir miktarda tatlı krema yayıkaltı tozu, ürünün aromasını geliştirmek için ilave edilir. Susuz süt yağının bakır ve peroksit içerikleri aroma bozukluğundan sakımmak için azaltılmalıdır. Kullanılan suda bulunabilecek yüksek miktardaki kalsiyum ısı stabilitesinde problemlere neden olabilmektedir.

*Filled evapore süt'te ise süt yağı yerine bitkisel bir yağ kullanılmaktadır.



Şekil 4.5. Rekombine evapore sütün üretim akım geması

4.4. Diğer Konsantre Süt Ürünleri

Son zamanlarda membran teknolojisinin gelişimi ile bir bölümü yeni olan çok sayıda konsantre süt ürünü geliştirilmiştir. Bu ürünlerin bir kısmı, serum proteinleri konsantratu gibi, kurutma işlemine tabi tutulmakta ve toz formda kullanılmaktadır. Bunlar kurutulmuş süt ürünleri veya kurutulmuş süt ingredientleri olarak tanımlanır.

Örneğin yağsız kondens süt, sütün vakum evaporasyonu veya hiperfiltrasyonu (HF) ile konsantre hâle getirilmektedir. Yağsız kondens süt daha ucuzdur ve bazı kullanım amaçları için yağsız süttekinden daha iyi kaliteye sahiptir. Çeşitli gıdalarda süt kurumaddesi kaynağı olarak kullanılırlar. Ultrafiltrasyon (UF) ile yağsız kurumaddenin yaklaşık % 30'unu teşkil eden proteinleri konsantre etmek suretiyle % 70-75 protein içeriğine sahip bir konsantrat elde etmek mümkündür. Ancak genelde protein oranı % 50 ile % 60 arasında değişebilmektedir. UF ile elde edilen proteince özellikle serum proteinlerce zengin konsantrat, mama endüstrisinde, diyetik ürünlerin üretiminde, gıda sanayi, ilaç sanayi gibi diğer endüstrilerde kullanılmaktadır.

Şekersiz kondens süt kahve, kakao veya diğer ingredientlere aromalandırılabilir. Bu katkı maddeleri, şekerli kondanse süt üretimindeki şeker ilavesinde olduğu gibi sterilizasyondan önce kondens süte katılmaktadır.

"Blok süt" şeker ilavesi ile konsantre edilmiş süttten elde edilen bir üründür. Toplam kurumadde bakımından yüksek bir konsantrasyona (% 84-90) sahiptir ve bıçakla kesilebilir. Artan yoğunluk, ürüne konsantre veya kurutulmuş ürünlerin tüm avantajlarını verir ve % 10-16 oranında olan su içeriği de ürünün erimesini kolaylaştırmaktadır.

İspanya'da yerel olarak üretilen ve "Duke de Leche" olarak adlandırılan karamelize kondens süt geleneksel bir üründür. Endüstriyel olarak üretilen bu ürün genellikle macun formunda pazarlanmakta birlikte toz veya tablet şeklinde de satılmaktadır. Macun formundaki karamelize kondens sütün bir çeşidi % 18-20 sakaroz veya glukozla karamelizasyon ve konsantrasyonu ile (aroma maddesi ilave edilebilir) üretilmektedir.

5. Kurutma

Kurutulmuş süt ürünleri, yağlı veya yağsız süttten üretildiği gibi, laktik asit bakteriyel kültürleri (peynir, yoğurt veya kefir kültürleri gibi) 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 içerenli toz (krema tozu): Süt ve/veya krema ürünleri kullanılarak üretilen en yüksek % 5 su, en az % 42 yağ içerikli üründür.
- Yağlı süttözu: Süt hammaddesi kullanılır ve yağ içeriği en az % 26,0'dır.
- Yarım yağlı süttözu: Süt hammaddesi kullanılır ve yağ içeriği % 1,5-25,9 arasındadır.
- Yağsız süttözu: 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 içerir.

Bunların dışında krema tozu, dondurma miks tozu, bebek mamaları, rekombine toz gibi değişik kurutulmuş ürünler de vardır. Yukarıdaki tozlardan bazılarının yaklaşık bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bazı tip tozların yaklaşık bileşimi, % w/w

Bileşenler	Tam yağlı süttözu	Yağsız süttözu	Peyniraltı suyu tozu	Tatlı krema yayıkaltı tozu
Yağ	26	1	1	5
Laktoz	38	51	72	48
Kazein	19,5	27	0,6	26
Serum proteini	4,8	6,6	8,5	6,2
Kül	6,3	8,5	8,0	8,0
Laktik asit	-	-	0,2-2,0	-
Su	2,5	3,0	3	3

Süt, toz haline getirilmeden önce suyu uzaklaştırılarak 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
 - Memeli atomizör (nozzle atomization) tekniği ile kurutma
 - Köpük püskürtmeli kurutma
 - Buhar yafamalı dişli atomizasyon ile kurutma
 - Venturi püskürtme ile kurutma
3. Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon) tekniği ile kurutma,

4. İntant (Granül halinde) kurutma; 3 aşamadao oluşar;
Kurutma, Nemlendirme-Granüleşme, Tekrar kurutma

Endüstriyel düzeyde ise süt, çoğunlukta silindir kurutucularda veya sprey kurutucuda sıcak hava ile kurutulmaktadır. Ancak bu yöntemlerin yanında aşağıdaki kurutma metotlarına olan ilgi de günümüzde artmıştır.

- Köpük kurutma; köpük formunda ürün,
- Vakum odalarında kurutma; macun formunda ürün,
- Dondürarak kurutma; toz formunda ürün.

Yeni kurutma metotlarını, örneğin dondürarak kurutma gibi, geliştirmek için çeşitli çalışmalar olmasına karşın, sprey ve silindir kurutma tekniklerinin avantajlarına ulaşılamamıştır. Çünkü sprey kurutma günümüzde ve gelecekte önemli bir ticari değere sahiptir ve ürün kalitesi, proses ekonomisi üst düzeydedir. 1970'lerde iki aşamalı sprey kurutma geliştirilerek aglomera (topaklaşma) olmamış tozların üretimi sağlanmış ve 1980'lerde ise aglomera olmuş veya olmamış tozların üretilebildiği üç aşamalı (İntant Kurutma) sprey kurutma geliştirilmiştir. Özellikle 1980'lerden itibaren sprey kurutma yöntemine olan eğilimler, sprey kurutma sistemini modifiye etmek için yoğun çabalar harcadığını göstermektedir. Bu yöntemin iki önemli avantajı; enerji tüketimini azaltırken ürün kalitesini geliştirmesidir.

5.1. 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 gerçekteşir.

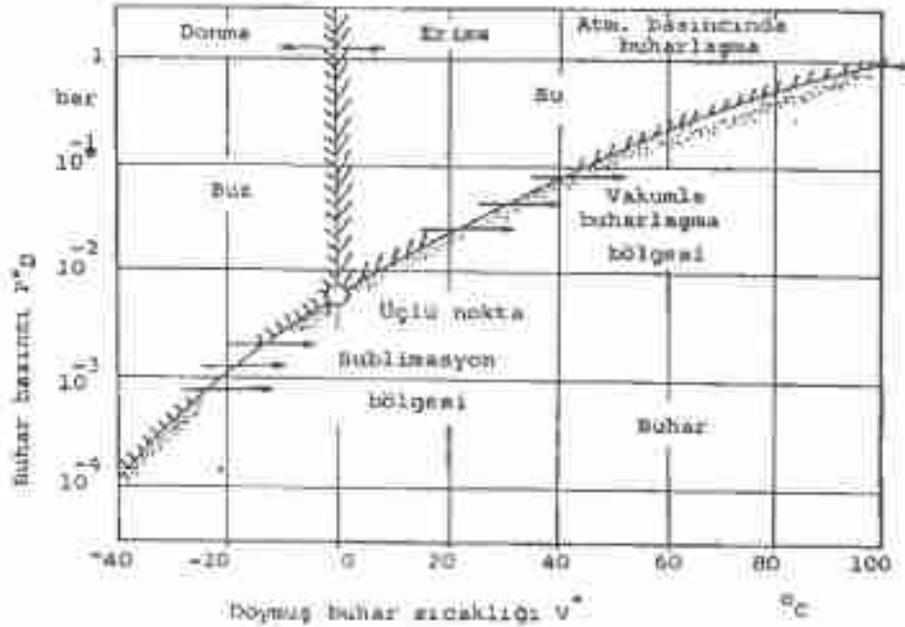
Buharlaşmanın olabilmesi için su içeren ürün sıcak bir yüzey ile temas ettiğinde kaynama noktasına kadar ısıtılmalıdır. Ürün, yüzeyindeki doymuş buhar basıncı çevre basıncına eşit olduğunda ($P=1,01325$ bar) ve 100 °C'de kaynama noktası gösterir. Bu durumu Şekil 5.1'de su/buhar/buz için belirlenen faz diyagramında (evaporasyonun prensibi için verilmiş Şekil 3.1.deki gibi) görmek mümkündür.

Buharlaşmanın ürünün sicağa hassasiyeti nedeniyle düşük sıcaklıkta yapılması gerekiyorsa, çevre basıncının düşürülerek vakum buharlaştırma gerçekteştirilmelidir.

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 (lyofilizasyon) olarak tanımlanır.

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



Şekil 5.1. Suyun faz diyagramı

Kurutma anında en önemli olay, suyun kurutulan yüzeyin üstüne çıkması ve buharlaşmasıdır. Süt zerrelerinin 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 zerrelerinin püskürtüldüğü bölgeye basınca 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 zerrelerinin yüzeyindeki bu suyun buharlaşmasından sonra "Acaba süt zerrelerinin iç tabakalarındaki suyu yüzeye hareket ettiren kuvvet nedir?" diye bir soru aklı gelebilir. Bu hareketi sağlayan birinci kuvvet, yüzeyin kuruması sonucu, burdaki su konsantrasyonunun düşmesi ve böylece alt tabakalardan suyun üst yüzeye yükselmesidir. İkinci aşamada zerrelerde görülen buruşma ve büzülmenin oluşturduğu ikinci bir etki kuvveti ile iç tabakalardaki su dışarıya doğru basılmaktadır. Zerrelerin 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. Evapöre süttten üretilen süttezu 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 evapöre 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 tıkanma ve kurutucuda püskürtmenin zorlaşması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan elde edilen tozun erteyebilirlik 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.

5.2. Kurutma Teknikleri

Yukarıda detayları verilmekte birlikte genel itibarıyla 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).

Bu yöntemlerden sprey yani püskürtme yöntemi, uygulamada geniş kullanım alanı bulmuş ve diğer yöntemlere göre daha büyük kapasitelerde daha ekonomik çalışmayı mümkün kılan bir yöntemdir. Endüstriyel veya ticari anlamda liyofilizasyon yöntemi ise pek kullanılmamaktadır. Genellikle bu yöntemler laboratuvar koşullarındaki çalışmalar ve araştırmalar için tercih edilmektedir.

5.2.1. Silindir (Vals) Yöntemiyle Kurutma

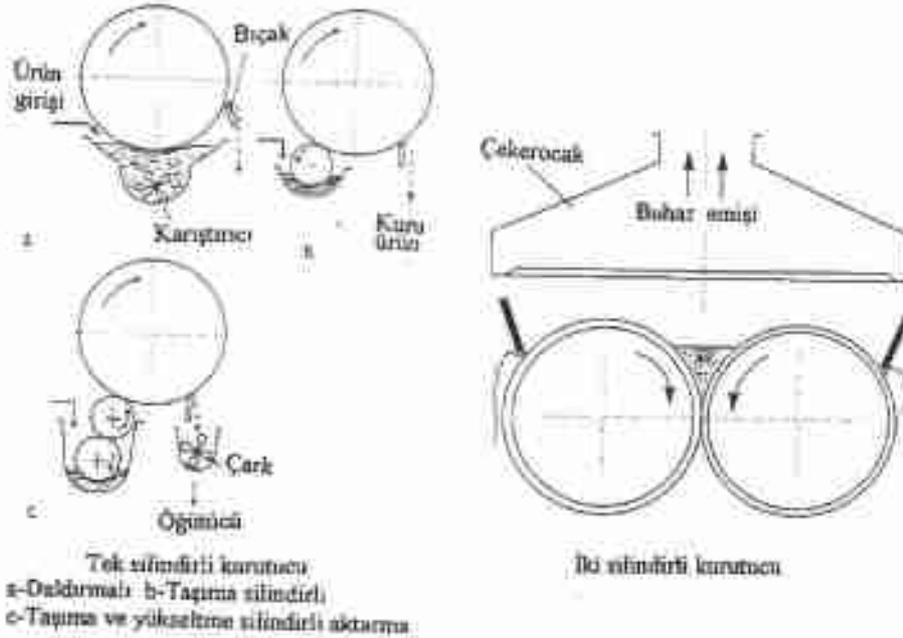
Silindir yöntemi ile kurutmada süt, içerisinde ısıtıcı buhar bulunan silindilerin üzerine akıtılmakta ve sıcak yüzey ile temas eden sütün suyu evapöre olmakta, buharlaşan su ise hava akımı yardımıyla çekilmektedir. Bu metod, tam yağlı süttezundaki gibi yağsız süttezunda da başarı ile kullanılmaktadır. 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 ağırlıkta 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. İki silindir ile kurutma

Silindir yöntemi ile kurutma atmosferik basınç veya vakum ortamında gerçekleştirilmektedir. Aşağıda Şekil 5.2'de iki ayrı silindir kurutma yöntemi şematize edilmiştir. Kurutucu silindire içinde kızgın buhar veya sıcak su bulunmaktadır.



Şekil 5.2. Tek ve çift silindiri kurutucular

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

Silindire, şekildedeki okların yönünde 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 dönüsünde, silindir çevresinin % Tük kısmında (~ % 70-80) kurumanın tamamlanması gerekir.

Kuruyan ve yüzeye yapışmış olan yufka inceliğindeki süttozu tabakaları bir voya birkaç tane kazıyıcı bıçak yardımı ile kazınır. Bıçaklar 15°-30° lik açı ile silindire doğru monte edilmiştir. Ürünün silindir kavrama durumuna göre bıçakların baskı kuvveti $3-5 \times 10^7$ Newton/m-bıçak uzunluğu'dur. Kazıma ritizlikle yapılmalıdır. Bıçağın fonksiyonu ve silindir yüzeyinin durumu sürekli kontrol edilmelidir. Kazımadaki verimsizlik kuru ürünün silindir yüzeyinde kalmasına, kahverengileşip yanmasına ve tozu kalitesini olumsuz etkilemesine neden olur. Kazınan bu süttozları sonsuz vida yardımıyla değirmene taşınır, burada öğütülür, toz büyüklüklerine göre elelenerek sınıflandırılır ve paketlenir yapılır. Bu arada sert ve yarı sert tanecikler eleme sırasında ayrılmaktadır.

Kurutulacak konsantratin silindirler üzerine taşınması aşağıdaki yöntemler ile mümkündür.

- Kurutucu silindirin ürüne kısmen dalması,
- Materyal haznesi ile kurutucu silindir arasındaki taşıyıcı bir silindire taşıma,
- Silindir yüzeyine nozle (memo) ile spreyleme,
- İki silindir arasında ürünün havuzlanması.

Silindir yöntemi ile kurutmada teknik kriterler:

Bu faktörlerden söz etmeden önce silindir kurutmada prosese ilişkin bazı değerlerin bilinmesi gerekir.

Silindir çapı	: 50 - 150 cm
Silindir uzunluğu	: 100 - 300 cm
Silindir matzemesi	: Kromlu veya kromsuz sert çelik, krom-nikel çelik, çelik veya sert kromlanmış VA-çelik
Silindir kenar	: 20 - 40 mm
Ürün film kalınlığı	: 0,1 - 0,5 mm
Silindir dönme hızı	: 5 - 30 dev./dak.
Buhar sıcaklığı	: 120 - 165 °C
Buhar basıncı	: 2 - 7 bar
Özgün ısı ihtiyacı	: 3000 - 3500 kJ/kg-H ₂ O uzaklaştırma
Özgün sıcak buhar ihtiyacı	: 1,3 - 1,5 kg buhar/ kg-H ₂ O uzaklaştırma
Özgün su buharlaşması	: 10 - 30 kg H ₂ O/m ² h, özel durumlarda 60 kg-H ₂ O/m ² h'e kadar çıkar.

Silindir kurutmaya etki eden faktörler şunlardır:

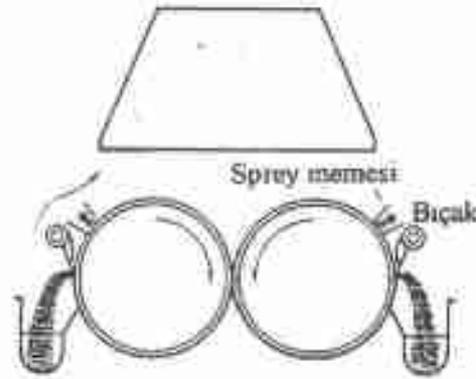
- Süt film tabakasının kalınlığı,
- Film tabakası kalınlığının yüzey alanının her noktasında aynı olması,
- Kurutma sıcaklığı ve süresi: Bu faktör de buhar basıncı ve silindir devir sayısından etkilenmektedir.
- Konsantratin sıcaklığı,
- Konsantratin kurumadde düzeyi.

- Hammaddenin yağlılık ve yağsızlığı (örneğin yağsız sütle randıman yağlı sütle göre % 20 daha azdır. Çünkü daha çok su içermektedir).
- Sütün asitliği ($^{\circ}\text{SH}$), örneğin asitlik 7,5 $^{\circ}\text{SH}$ dan 8,0 $^{\circ}\text{SH}$ 'ya yükseldiğinde randıman % 10 azalır.

Kurutulacak materyal silindir üzerine spreylenecek suretiyle de verilmektedir (Şekil 5.3). Burada silindirlerin yüzeyine yakın olan memelerden (nozzle), ön işleme tabii tutulmuş konsantré süt ince bir film tabakası halinde silindirlerin sıcak yüzeyine püskürtülmektedir. Spreylenme ile olan uygulamada ısı transfer alanının yaklaşık % 90'ından yararlanılırken, havuz beslemeli silindir kurutucularda bu değer % 75'in altındadır. Film tabakasının kalınlığı spreynozzle'ların sağladığı basınç tarafından belirlenmektedir.

Ancak kurutmadaki bu faktörlere karşın silindir kurutma ile üretilen süttozlarında muhtemel bazı sorunlar görülebilmektedir. Örneğin konsantré sütün dönü hareketi yapan silindirlerin sıcak yüzeyi ile direkt teması süt bileşenlerini etkileyebilmekte ve bileşenler üzerinde irreversiböl (geriye dönemez) değişikliklere neden olabilmektedir. Süttozu örneklerinde laktoz karamelizasyonu, laktoz degradasyonu (indirgenmesi), aminoasitler ve laktoz arasında meydana gelen Maillard reaksiyonları, protein denatürasyonu gibi değişiklikler görülebilir. Protein denatürasyonu zayıf çözünürlüğe neden olurken Maillard tipi reaksiyonların yan ürünleri yanık aroma oluşturabilirler.

Silindir yöntemi ile kurutmada aynı seviyede ürün kalitesi elde etmek için tüm faktörler öncelikle sabit tutulmalıdır. Örneğin buhar basıncı ve silindirin devir sayısının kesinlikle değişmemesi gerekir. Yüksek buhar basıncında yanma olayı görüleceği için verim azalmaktadır.



Şekil 5.3. Sprey püskürtmeli silindir kurutucu

Vakum ortamında, özellikle çift silindireli olanda, kurutmada alet, tamamen kapalı bir sistem içindedir ve sistemde vakum basıncı vardır. Kapalı sistemin alt kısmında toplanan süttozu tabakaları bir elevatör yardımıyla sistemin diğer ucundan dışarı alınır.

Vals (silindir) tekniği ile kurutmada asıl kuruma süresi 1,8–2,5 saniye arasında değişir. Ancak bu şekilde kusursuz bir kurutma gerçekleştirilebilmekte, yani proteinlerin denatürasyonu ve tozların yanması olayından kaçınılmaktadır.

Kurutmaya verilmenden önce eğer sıvı konsantre süt damlası çok sıcak yüzeye düşecek olursa birden buharlaşma/kuruma olmaz. Dolayısıyla damla şeklinde daha uzun süre kalmalı, ki bir sonra gelecek damla ile arasında buhar tabakası oluşabilsin. Bu nedenle kurutucu silindire verilmenden önce koyulaştırılmış sütün sıcaklığı kurutma sıcaklığına yakın bir seviyeye getirilmelidir.

Silindir yöntemi ile kurutmada 1 kg buharlaşmış su elde edebilmek için gerekli buhar tüketimi 1,3–1,6 kg'dır. Kurutucuların kapasitesi malzeme ve tipe göre değişmekle birlikte genellikle saatte % 45 kurumadeli konsantrattan 300–2.000 kg arasında değişen miktarlarda toz elde edilmektedir.

Çift silindirli kurutucuya ilişkin teknik kriterler.

Bu tip vals kurutucuların birbirine ters yönde dönen 2 silindiri vardır. Silindirlerin boyutları kurutma kapasitesi ile orantılıdır. Diğer bir deyişle silindirlerin boyları 1–6 m ve çapları 0,6–3 m arasında değişir.

Silindir kurutucularda seyrek de olsa koyulaştırmamış süt veya peyniraltı suyu kurutulacak olursa sıvı materyalin yüzeye kesiksiz, eşit kalınlıkta ve film tabakası şeklinde yayılması sağlanmalıdır. Yüzeye yapışan materyalin yanmamasına özen gösterilmelidir.

Çift silindirli kurutucularda silindire giren buharın basıncı 7-10 atm., sıcaklığı 150 °C civarındadır ve silindirin dönme hızı ise 15-18 dev./dak. dir. İki silindir arasındaki havuzda bulunan süt, silindirlerin sıcaklığı nedeniyle kaynamakta ve dolayısıyla burada bekleyen sütün kurumadde seviyesi nispi olarak yükselmektedir.

Film tabakasının silindir yüzeyini katetmesi sırasında meydana gelen buharlaşma ile sütün sıcaklığı yükselmez, ancak kazıma bıçağına doğru geldiğinde ani bir sıcaklık yükselmesi görülür.

Kazıma bıçağına gelmiş olan film şeklindeki tozun sıcaklığı yine de 90–100 °C'yi geçmez. Ancak bu tip kurutucularda iki silindir arasındaki kanalda sütün fazla bekletilmesinden kaçınılamadığı için elde edilen tozların eriyebilirlik nitelikleri çok iyi olmamaktadır. Dolayısıyla bu yöntem ile üretilen süttozları rekonstitüe ve rekombine süt üretmek için kullanılmaz. Yem ve gıda sanayinde katkı maddesi olarak kullanılır.

Eğer yağsız süt, önce kurumaddeyi % 45-50 seviyelerine getirildikten yani evaporasyondan sonra kurutulursa, silindirdeki buhar basıncının daha düşük (2-3 atm. kadar) ve silindirin dönme hızının da daha yüksek (30 dev./dak.) olması gerekir. Böylece kuruma süresi de kısalmakta, eriyebilirlik daha iyi olmakta ve kapasite artmaktadır.

Bir başka silindir kurutma yöntemi de vakumda kurutmadır. Bu teknikte çift silindire, 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 elimine 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, atmosfer basıncı altında silindirde üretilen tozların daha iyi toz nitelikleri gösterdikleri ifade edilmektedir. Süt endüstrisinde en çok kullanılan yöntem atmosfer basıncı altında çalışan çift silindire kurutmadır.

5.2.2. Sprey (Püskürtme) Yöntemiyle Kurutma

Süt ve ürünlerinin kurutulmasında kullanılan sprey yönteminde evapore süt ince deliklerden atomize edilmekte ve yatay veya düşey pozisyonundaki sprey 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.

Sprey yönteminde uygun bir şekilde dizayn edilmiş kurutma odası (kule) içinden geçirilen sıcak hava akımı içersine süt, santrifüj veya nozlele 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 zerrelereinin düşük sıcaklıkta kurumasını sağlamaktadır. Tıpkı silindir yöntemindeki gibi buharlaşmanın, yani kurumanın sonuna doğru (kule çıkışında) süt zerrelereindeki sıcaklık ani bir yükselme göstermektedir.

Sprey 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 ısıtım, konsantrata suyun buharlaşması için vermesidir. Burada termal randıman şöyle hesaplanır:

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

- T₁ : Kurutma havasının giriş sıcaklığı
- T₀ : 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 kullanılmamalıdır.
- Kurumanın, giriş havasının en sıcak olduğu kurutucu havanın kuleye giriş bölgesinde olması gerekir.
- Sprey kurutucu çıkışından ısı ve toz kütlesinin geri alınmasında mümkün olduğunca hijyenik sprey fırçalayıcı ve hijyenik venturi fırçalayıcı kullanılmalıdır.

Kurutucu sıcak havanın akım yönünde veya sıcak havaya karşı yönde sis bulutu şeklinde spreyleyen konsantrant zerrelerinin ani kurumasından sonra oluşan sültozları, kurutucu kuleden birlikte çıkan kurutucu hava ve oluşan evapore buharları, kuleye bağlantılı siklonlar ve/veya torba filtreler yardımıyla ayrılmaktadır.

Kurulmada kullanılan sıcak havanın kuleye göndermeden 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 sültozu yakıt gazlarında bulunan nitrojen oksitlerle kontamine olabilmektedir. Nitrosaminler gibi kanserojen maddeler sültozunda aminler ve diğer bileşimlerle 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 buhar da beraberinde bulundurulması nedeniyle özel şekilde dizayn edilmiş borulu ısı değiştiriciler kullanılır.

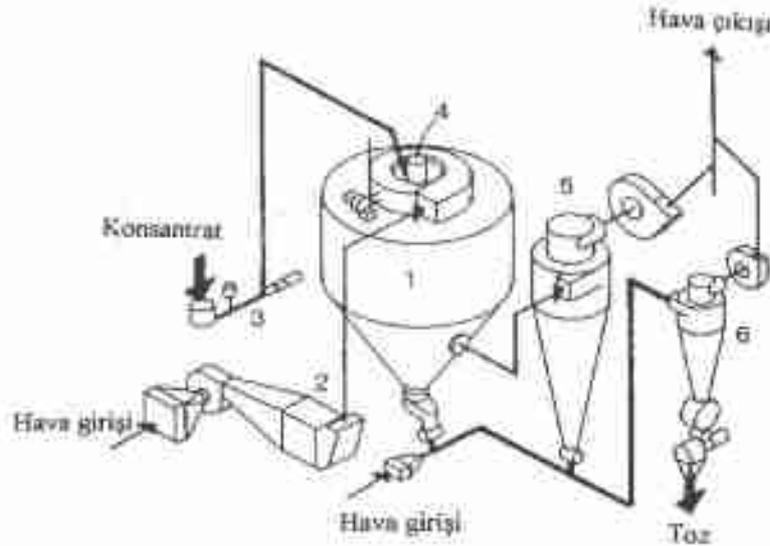
Kurutma işleminden önce giriş maddesinin (materyalin, örneğin süt, peyniraltı suyu gibi) koyulaştırılmasının amacı şunlardır:

- Hammadde suyunun önemli miktarının önce bir evaporatörde buhar haline getirildikten sonra kulede kurutulması, materyalin koyulaştırmaksızın doğrudan kurutulmasına göre daha az enerji gerektirir.
- Süt önceden koyulaştırdığı 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 kurutulur. Şekildeki (5.4.) kurutucu kuleye konsantrat yüksek basınç pompası ile gönderilmekte ve püverize edilmektedir.

Modern bir sprej kurutucu genellikle şu kısımlardan oluşmaktadır (Şekil 5.4.)

1. Sıcak hava üreticisi
2. Atomizör
3. Kurutucu kule
4. Konsantrat ve sıcak havanın karıştığı bölüm
5. Toz çıkış hattı
6. Siklonlar
7. Soğutma siklonu
8. Dolun hattı (paketlenme)



Şekil 5.4. Konvansiyonel sprej kurutucu (tek aşamalı kurutma)

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| 1- Kurutucu tank | 4- Atomizör |
| 2- Isıtıcı | 5- Ağıl siklon |
| 3- Besleme | 6- Pnömatik iletimli siklon |

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 sıs bulutu şeklinde sprejlenen konsantrat zerreleri bu sıcak hava ile karşılaşır. Zerredeki suyun önemli bir bölümü hemen buharlaşır. Artık toz halindeki taneciklerin kapiller ve poranlerinde bulunan su parçacıkları ise kapiller kuvvet ve sıcaklık farkından oluşan kuvvetlerin etkisiyle iç kısımlardan yukarıya doğru çıkmaktadır. Kurumamın bu aşaması toz taneciklerinin yüzeyine çıkan suyun

buharlaşması, kurutucu kuleinin orta ve alt kısımlarında cereyan eder. Suyun buharlaşması sırasında sıcak havanın ısısını alan süt zerrelerinin toza dönüşümündeki sıcaklığı 70–80 °C'dir.

Sis şeklinde pülverize edilen konsantrat kule ve siklon çıkışlarında % 2-4 nem içerecek şekilde toza dönüşür. Toz kurumaddesi hem tek tek partiküllerden, hem de bu partiküllerin birbirleri ile birleşmesinden oluşan aglomeraatlardan meydana gelir.

Oluşan sütozian kurutucu kuleinin zemininde toplanır ve bu bölümden pnömatik olarak çalışan bir sistemle çıkış hattına gönderilir ve dolun gerçekleştirilir. Daha küçük ve hafif partiküller kuleyi kurutma havası ile terk edebilirler ve bu nedenle partiküllerin bir siklonda ayrılması gerekir. Bu ayırma işleminden sonra tozlar paketlemeden önce diğer tozlara ilave edilir.

Başarı ile gerçekleştirilen bir kuruma olayından sonra elde edilecek olan tozlar, su ile tekrar rekonstitüe edildiğinde bileşim ve duysal niteliklerinin çığ süt ile hemen hemen aynı olacağı kesindir.

Spreyleme sırasında ne kadar küçük konsantrat zerreleri elde edilirse, o kadar büyük yüzey alanı oluşacak ve bu da etkin bir kuruma sağlayacaktır. Normalde 1 l süt tek bir küre şeklinde düşünülecek olursa yüzeyi yaklaşık 0,05 m² dir. Eğer bu süt miktarı bir kuleye spreylense her bir damlacığın yüzeyi 0,05–0,15 mm² dir. Bu durumda 1 l sütün pülverize zerreler şeklinde sahip olduğu yüzey alanı 35 m² dir. Yani püskürtme ile yüzey alanı yaklaşık 700 kez artırılmış olmaktadır.

Nozzle (meme) başlıklardan pülverize edilen konsantrat zerrelerinin çıkış hızı 150 m/s 'dir. Santrifügal atomizörlerden çıkış hızı ise daha düşüktür. Kuleye giren sıcak havanın hızı ise 20–30 m/s 'dir. 10–100 µm arasında çapa sahip olan bu zerrelerin giriş hızları kurutma havasının karşı hızı ile yavaşlamaktadır. Atomizör veya nozzle 'in 0,1–1 m yakınında gerçekleşen bu bölgede zerrelerin ısı geçişi ve evaporasyon söz konusu olmaktadır. Artık toz denilebilecek taneciklerin nem oranı atomizör etrafında % 10-12 olmakta ve kurutma havasının sıcaklığı yaklaşık 180 °C'den 100 °C'ye düşmektedir. Bu bölgede zerrelerin dış yüzeyleri kurumakta, fakat merkezde hala bir miktar su bulunmaktadır. Kalan bu su, kuleinin diğer kısımlarında veya kurutmanın takip eden kademelerinde kapiller borulardan difüze olarak yüzeye ulaşmakta ve kuruma tamamlanmaktadır.

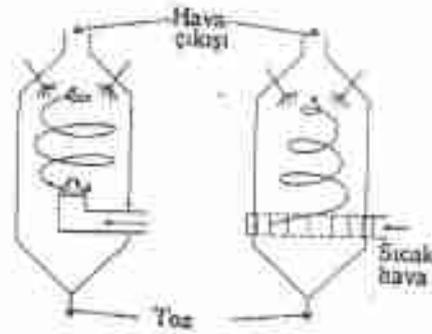
Kuruma boyunca zerrelerdeki/taneciklerdeki su, buhar olarak ayrıldığından tanecik yüzeyi sürekli olarak soğuk ve sıcaklığı da kuruma sıcaklığından düşük olmaktadır. Yani toz taneciklerinin sıcaklığı 75 °C'nin üzerine çıkmamaktadır. Taneciklerin kurutma kulesinde kalış süreleri yaklaşık 25 saniyedir.

Kurutma kulesi içine süt ya dönme hızı 10.000–20.000 dev./dak. olan santrifüj atomizör ile ya da basıncı 175–250 atm. olan nozzle ile disperse edilir. Böylece büyük yüzey alanına sahip partiküller oluşur. Sütün dispersiyonu ile spesifik yüzey alanı arttığı için havadan ısı ile hızı ve yoğun ısı transferi ve sütenin havaya kütle transferi sağlanır. Örneğin 50 µm çapındaki atomizör deliklerinden

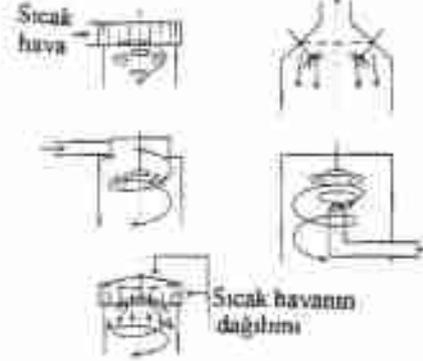
1 l sütün dispersiyonu ile 120 m^2 toplam yüzey alanına ulaşılmaktadır. Artan yüzey alanı ve su evaporasyonunun yüksek latent ısısı ($2,26 \text{ MJ/kg}$) nedeniyle nem hızlı bir şekilde kaybedilmekte ve giren havanın sıcaklığı aniden azalmaktadır. Giren hava sıcaklığı 215°C 'ye ulaştığında odadaki sıcaklık derhal düşmektedir. Bu düşüş tek aşamalı kurutmada yaklaşık 95°C 'ye kadar olmaktadır.

Kuruma olayında ters akım (karşı akım), doğru akım (aynı yönde akım) veya karışık akım (açısal akım) şeklinde atomizör tipleri bulunmaktadır. Şekil 5.5'de ikili görülen bu sistemlerin seçimi, ürünün parçacık büyüklüğü, yapısı, eriyebilirliği, dayanımı ve kitle ağırlığı gibi özelliklerine bağlıdır. Sül endüstrisinde ürün kalitesini geliştiren doğru akım yöntemi tercih edilmektedir.

a. Karşı akım şekilleri



b. Aynı yönde akım şekilleri



Şekil 5.5. Atomizör sistemleri

Karşı akım sistemi (nozzle atomizör) genellikle daha küçük kapasiteli işletmelerde kullanılır. Bu sistemde damlacıkların büyüklüğü basınçla bağlıdır. Eğer yüksek yoğunluğa sahip mükemmel bir toz elde edilmek isteniyorsa 300 bar'a kadar yüksek basınç uygulanır. 50-200 bar'lık basınçlarda ise daha büyük partiküller oluşur ve uçan tozların oranı daha az olur.

Atomizör Teknikleri

Sprey kurutmada atomizörün temel fonksiyonu, yüzey/kütle oranını sağlayarak hızlı ısı transferi ile yüksek oranda evaporasyon oluşturmaktır. Sütün spreylonmesi yukarıda kurutma tekniklerinde de ifade edildiği gibi nozzle (basıncılı meme sistemi) veya santrifügal (türbindi sistem) atomizasyon ile gerçekleştirilir.

1. Nozzle (meme) Sistem: Koyulaştırılmış materyal bir veya birkaç borunun bulunduğu sisteme 200 atm.lik (175-250 atm.) bir basınçla gönderilerek, 2 yataklı meme çıkışlarından pülverize edilir. Konsantrat, memelerden daha küçük damlacıklara parçalanarak konik ince bir film şeklinde kurutma odasına yayılır. Bu yöntem pek kullanılmamakla birlikte, kurumadde oranı düşük konsantre sülterin kurutulmasında ve düşük kapasiteli çalışmalarda

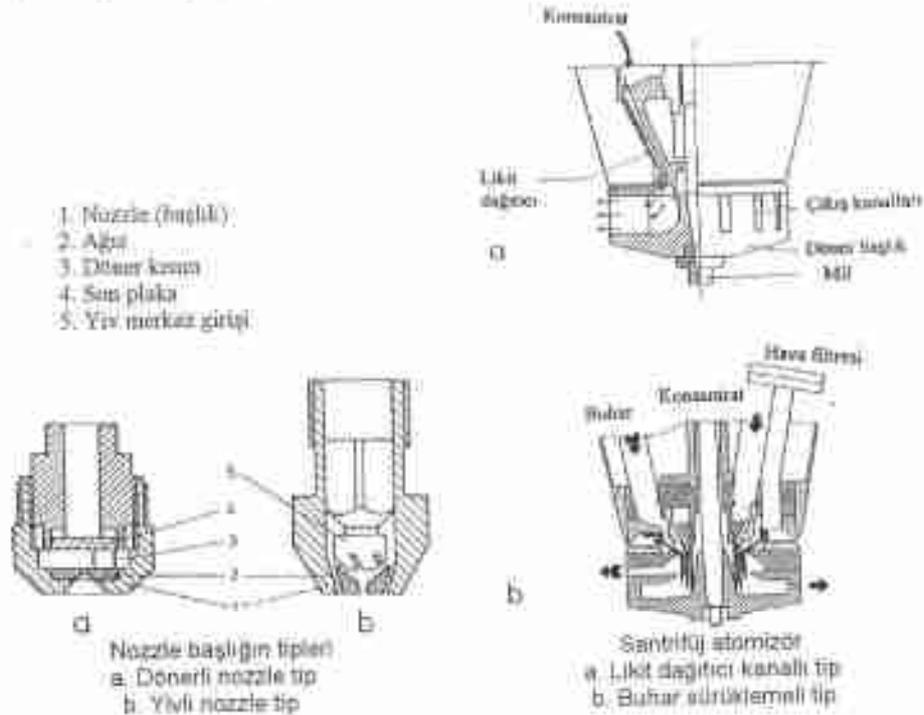
tercih edilir. Nozzle sistemle kurutulan toz taneceklerinde hava nemli düşüktür.

2. Santrifügal (Türbinli) Sistem: Bu sistemde dairesel dış yüzeyinde modernine göre düşük basınçlı konsantrat çıkışının olduğu delik veya yarıklar olan, yaklaşık 250 mm çaplı ve 6.000-25.000 dev./dak.lı (ortalama 10.000-12.000) dönen atomizör disklerden santrifüj kuvvet etkisi altında ürün konsantratu, bir sis bulutu şeklinde tanecekere parçalanarak kurutucu kule içine savrulur. Bu sistem daha çok yüksek kurumadde içeriğine sahip viskoz konsantratlar ve süspansiyonlar için kullanılır.

Santrifügal sistemin diğerine göre daha çok tercih edilmesinin nedenlerinden biri de % 55-60 nem içeriğine sahip konsantrat zercelerinin kuleye girer girmez önce sıcak hava ile karşılaşması ve dolayısıyla hızlı bir kurumanın gerçekleşmesidir.

Gerek basınçlı, gerekse türbinli teknikler son yıllarda geliştirilmiş olmasına karşın, bugün daha çok klasik santrifügal (türbinli) yöntemi tercih edilmektedir. Santrifüj atomizasyonda ürünün gönderildiği yüksek basınçlı besleme pompası basınçsız olarak kullanılabilir.

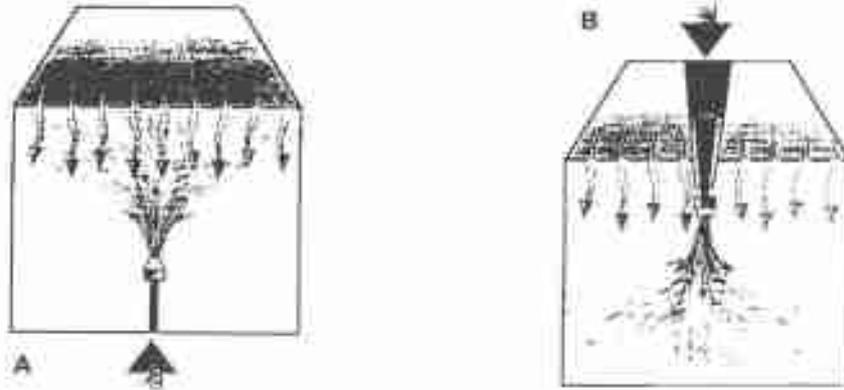
Neticede püskürtme (spreylenme) işlemi santrifügal diskler veya nozzle (merme) başlıklar yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Santrifüj ve nozzle atomizörlerin başlık şeması

Fakat üretimde çok yönlülüğü sağlamak, yani her iki atomizasyon olasılığı için birçok kurutucu ikisi ile de tesis edilmektedir.

Aşağıda Şekil 5.7'de sabit nozzle'lı kurutucular gösterilmiştir. A'daki düzen alçak spray kulüblerde kullanılmaktadır. Bu düzende nozzle, sütü kurutucu hava akımına karşı yönde püskürtecek şekilde yerleştirilmiştir. Burada süttozu tanecikleri nispeten daha geniş olmaktadır. B'deki düzende ise nozzle, sütü kurutucu hava akımı ile aynı yönde püskürtecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu sistemde süt besleme basıncı partikül büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Yüksek besleme basıncında (300 MPa veya 300 bar üzeri) toz normal büyüklükte yüksek yoğunlukta olmakta, düşük basınçta ise (20-5 MPa veya 200-50 bar) partikül büyüklüğü artmaktadır.



Şekil 5.7. Sabit memeli (nozzle) spray kurutma odası
A: Karşı akım, B: Paralel akım

Şekil 5.8'de yine çok kullanılan değişik tip bir atomizör görülmektedir. Bu atomizör, sütün yüksek hızda püskürtüldüğü geçişli bir döner diskten ibarettir. Ürün özellikleri bu diskin dönüş hızı ile kontrol edilebilmektedir. Diskin dönüş hızı 5.000-25.000 dev./dak. arasında değişmektedir.



Şekil 5.8. Spray kurutucuda döner bir disk atomizör

Atomizörler, tozda partikül büyüklüğü, tane yapısı, tekstür, yoğunluk, eriyebilirlik ve ıslanabilirlik gibi özellikler dikkate alınarak dizayn edilirler.

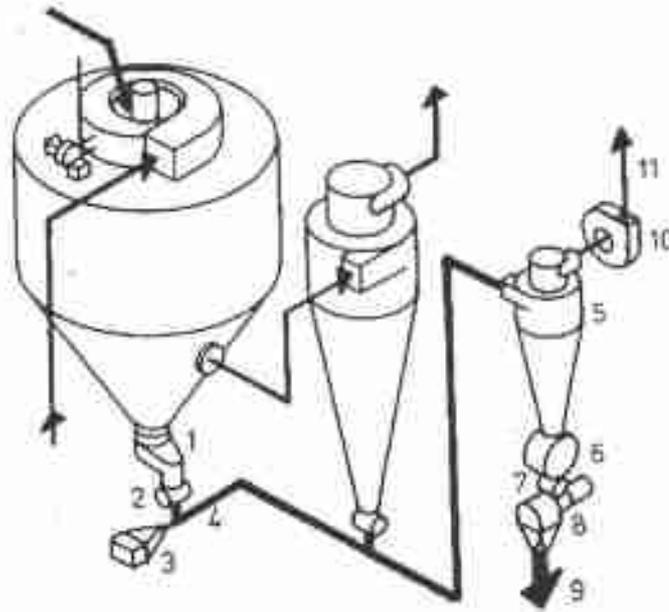
Sprey (Püskürtme) Kurutma Teknikleri

Sprey kurutma 3 şekilde yapılabilmektedir.

- Tek aşamalı kurutma
- İki aşamalı kurutma
- Üç aşamalı kurutma

Tek aşamalı kurutma: Sprey metodu ile kurutma genellikle tek kademeli kurutma olarak bilinir.

Azıyağılmış toz üretiminde en basit sistem pnömatrik konveyör (taşıyıcı) sprej kurutuculardır (Şekil 5.9.). Şekildeki sistem tek aşamalı kurutma prensibi ile çalışır. Burada konsantrattaki nemin uzaklaştırılması ve istenen son nem içeriğine ulaşılması sprej kurutma odasında gerçekleşmektedir. Bunu izleyen taşıyıcı sistem, sadece konik odadan ayrılan ve ana siklondan atılan hava ile birlikte bulunan tozu toplamaya yaramaktadır. Tozun soğutulması ise son siklonda gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.9: Pnömatrik taşıyıcı sistemli tek aşamalı kurutucu

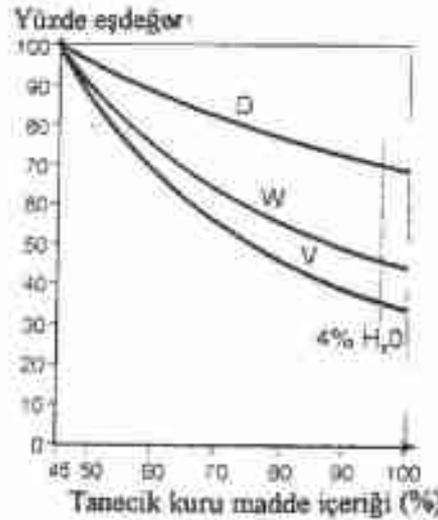
- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. Toz sürgüsü | 7. Döner valf |
| 2. Döner valf | 8. Toz eleği |
| 3. Hava filtresi | 9. Paketlenmeye gidiş |
| 4. Toz nakli kanalı | 10. Taşıyıcı hava fanı |
| 5. Taşıyıcı siklon | 11. Hava çıkış kanalı |
| 6. Toz aktarıcı | |

Şekildeki düzende öncelikle konsantre edilmiş süt, yüksek basınç pompası ile kurutma odası üzerine ve oradan da oda içine gönderilmektedir. Atomizörden çok küçük zerreçikler halinde püskürtülen süt, kurutma odasında sıcak hava ile

karşılaşmaktadır. Hava bir fan tarafından emilmekte, filtre edilmekte ve ısıtıcıda 150-250 °C'ye ısıtılmaktadır. Başka bir değişle, kurutucu hava giriş sıcaklığı 150-250 °C arasındadır.

Kurutma odası içerisinde atomize edilen süt sıcak hava ile tamamen karışmakta ve sütteki su evapore olmaktadır. Kurutmanın büyük bir bölümü, yüksek hızda atomizörü terk eden zerreçiklerin kurutucu havanın etkisiyle yavaşladıkları anda meydana gelmektedir. Isıtıcı havanın sürekli olarak suyun uzaklaştırılmasında kullanılması nedeniyle toz partiküllerinin sıcaklığı 70-80 °C'yi geçmemektedir. Kurutucu kule içerisinde uçurulan toz partikülleri ise bir veya daha fazla siklon yardımı ile ayrılmaktadır. Aynıian bu toz tanecikleri de diğer toz tanecikleri ile birleşerek paketlenmeye gitmektedirler. Kurutucu hava bir fan yardımı ile iletilmektedir.

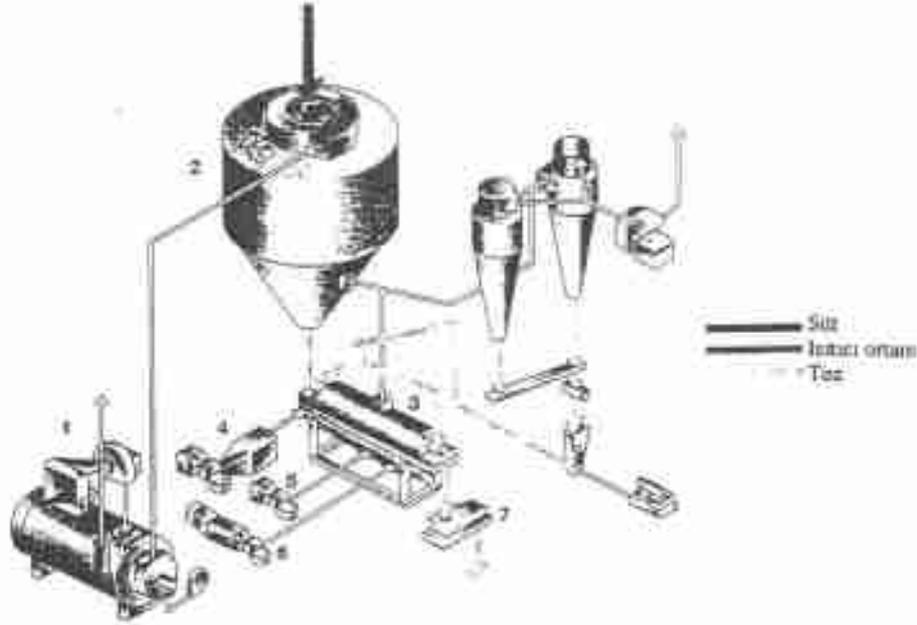
Zerreçiklerden suyun uzaklaşması ağırlık, hacim ve yoğunlukta hatırı sayılır bir azalmaya neden olmaktadır. İdeal kurutma şartları altında, atomizörden ayrılan tanecik ağırlığında yaklaşık % 50, hacminde % 40 ve yoğunluğunda % 75'lik bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. % 4 su içeriğine kadar ideal kurutma koşullarında taneciklerin ağırlık, hacim ve çap azalışı. D: çap W: ağırlık V: hacim

İki aşamalı kurutma: Tek aşamalı kurutucunun ardından serbest akış özellikleri daha iyi olan iki aşamalı (kademeli) kurutma sistemi geliştirilmiştir (Şekil 5.11.).

Yüksek çıkış sıcaklığı kullanılmadıkça en son nem zerreçiklerinin uzaklaştırılması oldukça güç olmaktadır. Çıkış kurutma sıcaklığının yükseltilmesi ise toz kalitesi üzerine zararlı etkiye bulunabilmektedir (Tüm süt ürünlerinde düşük sıcaklıkta işlem esastır). Eğer elde edilen tozdaki nem içeriği çok yüksek olarak tespit edilirse, sprey kurutucudan sonra sisteme bir kurutma aşaması daha eklenir ve bu şekilde gerçekleştirilen kurutma işlemine de iki aşamalı kurutma adı verilir. Bu sistemin 1. aşamasını sprey kurutma, 2. aşamasını ise akışkan yataкта kurutma oluşturmaktadır.

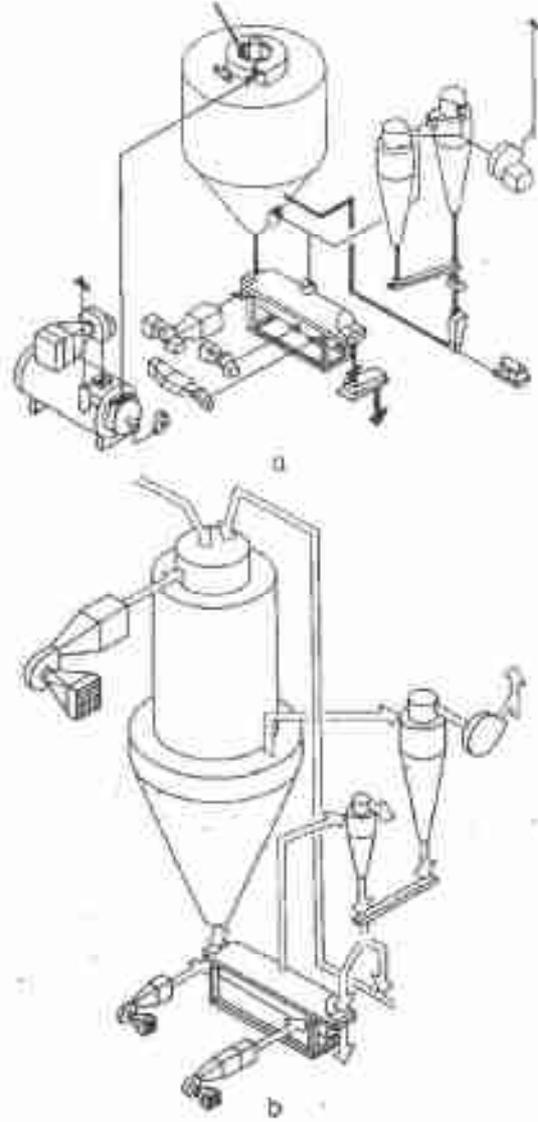


Şekil 5.11. Akışkan yatak liveli sprey kurutucu (iki aşamalı kurutma)

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1. İndirekt ısıtıcı | 5. Akışkan yatakta soğutucu hava |
| 2. Kurutma kulesi | 6. Akışkan yatakta nemsiz soğuk hava |
| 3. Titreşimli akışkan yatak | 7. Filtre |
| 4. Akışkan yatak hava ısıtıcı | |

Kurutma odasından ayrılan tozun nem içeriği son üründen % 2-3 daha yüksektir. Akışkan yatağın fonksiyonu, fazla nemin uzaklaştırılması ve tozun soğutulmasıdır. Önceden sütün iki aşamada kurutulmasında aglomerasyon işlemi uygulanmaktaydı, ancak son yıllarda toz kalitesi ve ekonomik bakımdan daha avantajlı olmadığı için aglomerasyondan vazgeçilmiştir.

Bu yöntemde toz üretimi bir aşamalı kurutucuya benzemektedir. Ancak pnömatik taşıyıcı yerine, akışkan yataklı kurutucu kullanılmaktadır. Adı geçen bu sistemin çalışma prensibi yukarıda tek aşamalı yöntemde açıklanmıştır. Sistemde sütte su far olarak kurumadan, örneğin % 5-8 rutubetli iken, kurutma odasından alınarak bir akışkan yataklı kurutucu ve soğutucuya verilir. Bu kurutucu önce düşük ısıdaki kurutma havasının, sonra soğutma havasının üflediği titreşimli, delikli, paslanmaz çelik bir plakadan ibarettir. Sütte su akışkan yataktan ayrılırken far manasıyla kurumuş ve soğumuş olur.



Şekil 5.12. İki kademeli süttezu tesisatı
a- Rotari atomizörli basit sprey kurutucu
b- Nozzle atomizörli kule tipi sprey kurutucu

Süttezu önceki kurutma odasından yüksek bir rutubet oranı ile çıktığından havanın çıkış sıcaklığı da düşük olur. Bu durum kurutucunun yüksek bir termal verimlilik ile çalıştığını gösterir.

Gerek tek ve gerekse iki aşamada elde edilen tozlar tozlu bir görünüm verdiğinden rekonstitüsyon da zordur. Bununla birlikte aralarında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Söz gelimi iki aşamada kurutulmuş toz, partiküllerin

büyük olması ve bazı aglomerafların bulunması nedeniyle daha kolay şekilde rekonstitüe olmaktadır. İki grup toz arasındaki en önemli fark ise, onların kurutma işlemi sırasında açığa çıkan ısı tarafından etkilenen özelliğidir. Bu özellikler eriyebilme indeksi, tutulan hava içeriği (her ikisinde de düşüktür) ve kütle yoğunluğudur.

Atomizasyondan hemen sonra zerreçiklerin ısısı düşüktür, ancak tozdaki suyun ilerleyen evaporasyonu nedeniyle partikül sıcaklığı, hava çıkış sıcaklığının altında bir sıcaklığa ulaşır (sıcaklığın derecesi partiküllerin nem içeriğine bağlıdır).

İki aşamalı kurutma sisteminin avantajları:

1. Artan ısı kullanımı (spesifik ısı kullanımı tek aşamalı kurutmanınkinden % 15-20 daha azdır).
2. İyileşen ürün kalitesi (çözünürlük, hacim yoğunluğu vb.).
3. Yüksek kapasite.

Tek ve iki aşamalı kurutma sistemlerinin karşılaştırılması Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tek ve iki aşamalı kurutma sistemlerinin karşılaştırılması

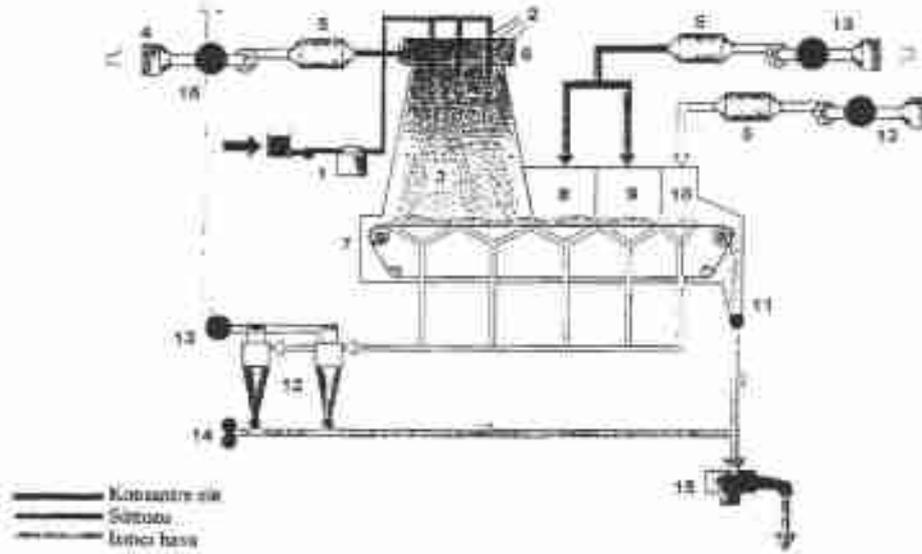
Kurutma sistemi	Tek Aşamalı Giriş sıcaklığı 200°C	İki Aşamalı Giriş sıcaklığı 200°C	İki Aşamalı Giriş sıcaklığı 230°C
Kurutucu kuledeki (1.Aşama) evaporasyon, kg/h	1150	1400	1720
Kuleden alınan toz, - % 8 nem, kg/h - % 3,5 nem, kg/h	- 1140	1460 -	1790 -
Enerji tüketimi, Toplam, Mcal Enj/kg-toz, kcal	1818 1595	1823 1250	2120 1184
Akışkan yatak (2. Aşama)			
Kurutucu hava, kg/h	-	3430	4200
Hava giriş sıcaklığı, °C	-	100	100
Akışkan yatakta evaporasyon, kg/h	-	40	45
Akış.y.dan alınan toz, - % 3,5 nem, kg/h	-	1420	1745
Enerji tüketimi, kW Top.enj.tüketimi, Mcal	- -	20 95	22 115
Sistem enerji tüketimi Toplam, Mcal Enj/kg-toz, toplamkcal Enerji ilişkisi	1818 1595 100	1918 1350 85	2235 1280 80

Üç aşamalı kurutma: En son geliştirilen kurutucu modelleri üç kademlidir. Bu sistem iki aşamalı sistemin daha geliştirilmiş şekli olup, diğerlerine göre üretimi aşamalarında belirli oranda tasarruf sağlamaktadır. Bunların kurutma odasının konik kısmında fazladan birer tane daha akışkan yatağı vardır.

Üç aşamalı kurutucular iki tiptir.

1. Akışkan yatak ile tamamlanmış sprej kurutucular.
2. Kayışla (palet) tamamlanmış sprej kurutucular.

Aşağıda akışkan yataklı, paletle tamamlanmış 2. tip kurutucunun çalışma prensibi ve özelliklerine değinilmiştir (Şekil 5.13.).



Şekil 5.13. Konveyör entegreli sprej kurutucu (3 etekli kurutma)

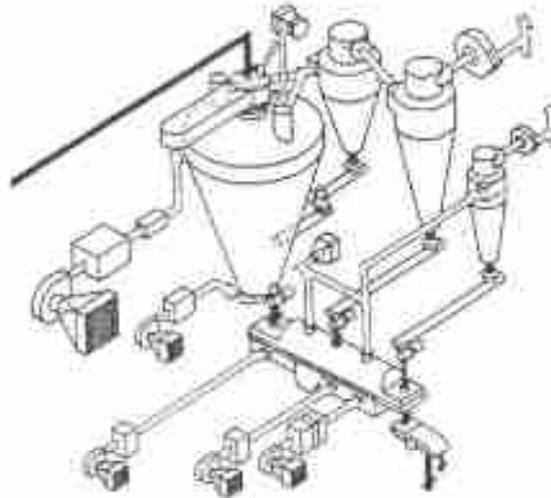
- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Yüksek basınç besleme pompası | 9. Final kurutma bölümü |
| 2. Nozle başlıklar | 10. Soğutma bölümü |
| 3. Primer kurutma kulesi | 11. Tuz beşaltme |
| 4. Hava filtreleri | 12. Siklon takımı |
| 5. Isıtıcı / soğutucu | 13. Fanlar |
| 6. Hava dağıtıcısı | 14. Toplama sistemi |
| 7. Konveyör | 15. Eleğ sistemi |
| 8. Tutma bölümü | 16. Hava ısıtma sistemi |

Bu kurutucu, ana kurutma odası (3) ve kristalizasyon için (Eğer gereklyse, örneğin peyniraltı suyu üretiminde) 3 küçük odadan, son kurutucu ve soğutucudan ibarettir (8, 9, 10). Süt kurutucunun üzerinde bulunan nozle'lar tarafından püskürtülmektedir (Yüksek basınç pompası yardımı ile). Atomizasyon basıncı 200 bar'ın üzerindedir ve nozle'lara gönderilen kurutucu havanın büyük bir bölümü 280 °C'nin üzerinde bulunmaktadır.

İlk kurutma aşaması, zercokların nozzle'dan (2) ayrılıp kurutma odasının altında bulunan hareketli banda (7) düşmesi ile oluşur. Band üzerinde biriken toz aglomerasyon işlemine tabi tutulmaktadır. İkinci kurutma aşaması ise kurutucu havanın toz tarafından emilmesi ile meydana gelmektedir. Kayış üzerine düşen (7) tozun nem içeriği, kullanılan hammaddeye bağlı olarak % 12-20 arasında değişmektedir. Kayış üzerindeki 2. kurutma aşaması nem içeriğini % 8-10 düzeyine düşürmektedir. Açı geçiren nem içeriği ürünün aglomerasyon derecesinin kesin olarak belirlenmesi ve toz tabakasının gözenekliliği üzerinde çok önemli bir rol sahiptir. Üçüncü ve daha sonraki kurutma aşaması ise (yağsız ve yağlı süt konsantrifları için) iki odada meydana gelir (8, 9). Bu odalarda 130 °C'nin üzerinde giriş sıcaklığındaki sıcak hava toz tabakasından geçerek emilmektedir. Daha sonra toz son odada (10) soğutulmaktadır. (5) numaralı oda ise laktoz kristalizasyonunun gerektiği durumlarda (peyniraltı suyu tozu) kullanılmaktadır. Bu durumda hava odaya taşınmakta, dolayısıyla nem içeriği daha yüksek bir düzeyde (> % 10) kalmaktadır. Üçüncü kurutma aşaması (9) numaralı odada cereyan eder ve (10) numaralı odada soğutma işlemi gerçekleşir.

Kurutma işlemi sırasında kurutucu ve soğutucu hava ile birlikte çok az miktarda toz ayrılabilmektedir. Bu tozlar silkonlar yardımı ile tutulmaktadır (12). Havadan ayrılan tozlar yeniden sirküle ettirilmekte veya ana kuleye ya da üretim tipi veya gereken aglomerasyon için uygun bir işlem noktasına gönderilmektedir. Son olarak, toz aglomeratlar kurutucudan ayrıldıktan sonra üretim tipine bağlı olarak ihtiyaç duyulan ölçülerde parçalanmak üzere öğütücüye (15) gönderilmektedir.

Üç aşamalı kurutma prosesinin gelişimiyle de, iki aşamalı kurutucudan daha fazla enerji tasarrufu sağlanmıştır (Şekil 5.14.).



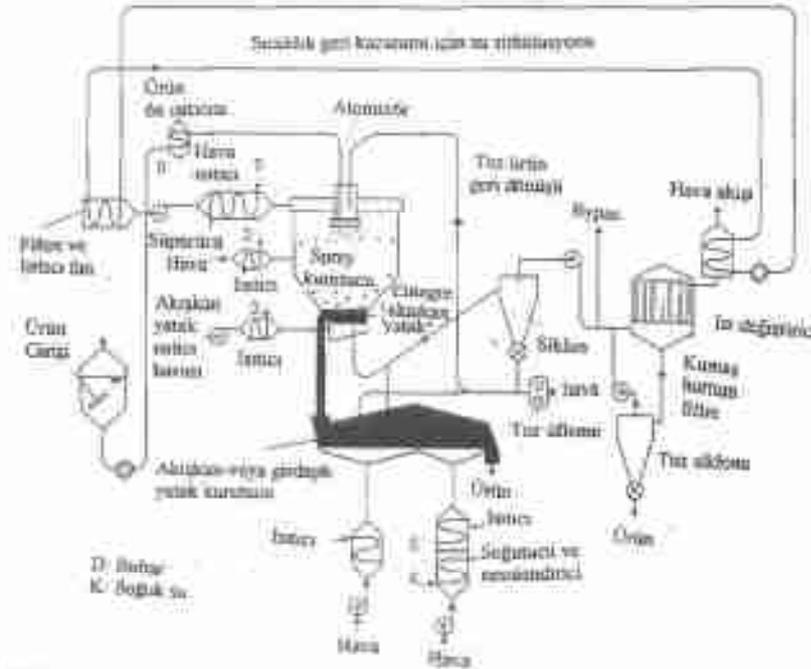
Şekil 5.14. Üç aşamalı kurutucu

Üç aşamalı kurutma, ilk aşamada sprey kurutucuyu, ikinci aşamada kurutma odasının tabanında yer alan akışkan yatağı, üçüncü aşamada ise titreşimli taneli akışkan yatağı kapsamaktadır. Kurutma odasındaki ikinci kurutma aşaması çalıştırılarak birinci kurutmanın sonunda en fazla nemin ayrılmasını sağlamak mümkündür. İyi bir termal etki ve toz kalitesi için düşük sıcaklıklar uygulanmaktadır (Çizelge 5.3.).

Çizelge 5.3. İki aşamalı kurutmaya karşı üç aşamalı kurutmaya ilişkin karşılaştırılabilir performans verileri

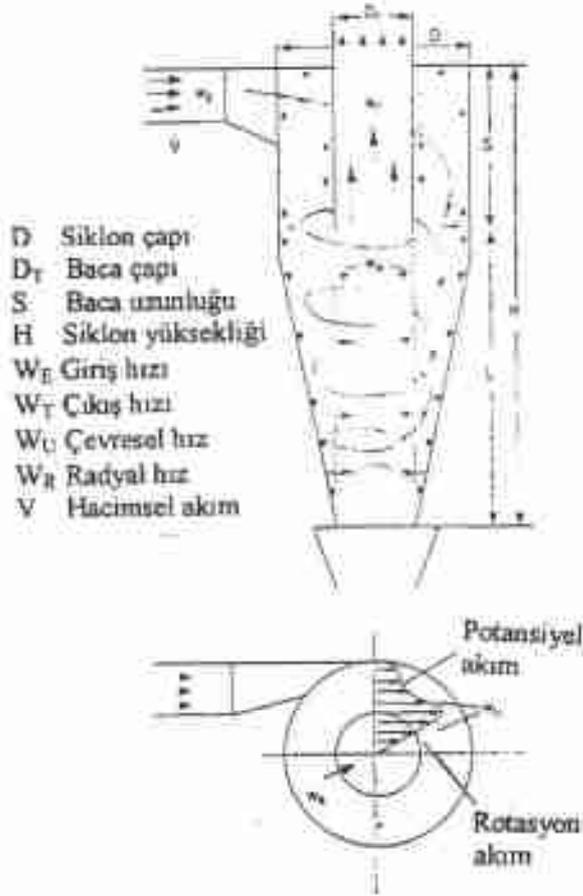
Performans verileri	Akışkan yatak ile entegre edilmiş üç aşamalı sprey kurutucu		İki aşamalı
	Nozzle atom. ile	Santrifüj atom. ile	
Konsantrat kurumaddesi, %	48	50	50
Ürün hızı, kg/saat	2140	1720	-
Son üründeki nem, %	3,5	3,5	3,5
Ortalama kurutucu hava sıcaklığı, °C	280	215	220
Spesifik ısı tüketimi, kcal/kg- evaporé su	850	866	972

Kulüde kurutma amacıyla kullanılan hava, kulenin alt kısmından beraberinde toz ve evaporé buhar ile birlikte çıkar ve tozları ayrıldığı bir veya daha fazla sayıda siklonla geçer. Aşağıda Şekil 5.15, 'de iki siklon ve bir toz filtresinin olduğu böyle bir sprey kurutma tesisi görülmektedir.



Şekil 5.15. Bir sprey kurutma tesisi şeması

Konik alt bölümlü kurutucu kulelerde tozun yaklaşık % 30'u uçurken kurutma havasıyla sistemden ayrılmakta ve geri kalanı odanın tabanında toplanmaktadır. Kurutma havası, buhar ve toz karışımı siklonun teğet olarak girer. Karışım siklonun silindirik ve konik iç yüzeyini yalayarak aşağıya doğru spiral (radyal) bir yörünge izleyerek inerken, toz siklonun altına düşer ve diğer taraftan hava siklonun yukarısındaki ekzodan ayrılır. Aşağıda bir siklon şeması görülmektedir (Şekil 5.16.).



Şekil 5.16. Bir siklonda akım kuvvetleri yönü

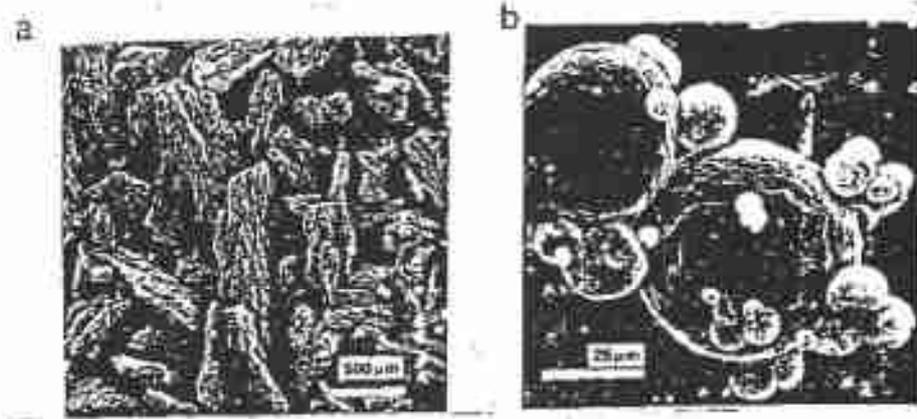
Siklondan ayrılan hava içinde bile hata % 0,5 oranında toz bulunmaktadır. Bu nedenle saflaştırma için hava ısıak bir fırça veya filtreden (Şekil 5.11'deki gibi) geçirilmelidir.

Kurutmanın Toz Niteliklerine Etkisi

Tek aşamalı sprey kurutmada, 200 °C hava giriş ve 95 °C hava çıkış sıcaklığında tozlarda düşük hacim yoğunluğu elde edilir. Her bir partikül küresel

formdadır ve 10-250 µm çapa sahiptir. Bu partiküller absorbe edilen havanın oluşturduğu boşlukları içerir. Boşlukların çoğu ortalama boyutta olsa da bazılarının küçüktür (Şekil 5.17.).

Sprey yöntemiyle kurutulmuş partiküllerin yüzeyi yumuşaktır ve buruşuk olabilir. Buruşuk forma olan eğilim, havanın yüksek giriş sıcaklığı ve sıcak hava ile toz partikülleri arasında yüksek sıcaklık farkı sağlanarak artırılmaktadır. Aynı örnekte farklı morfolojideki partiküllerin bulunması her bir partikülün maruz kaldığı değişik kurutma yöntemlerinden kaynaklanır.



Şekil 5.17. Silüsilazunun mikrostrüktürü
a: Silindir tekniği ile b: Sprey tekniği ile

Atomizasyon metotları (sentrifüj veya nozle) partikül yapısına özel bir etkide bulunmaz. Sprey yöntemi ile kurutulmuş tozların hacim yoğunluğu 0,50-0,70 g/cm³ arasında değişir. Hacim yoğunluğu atomizör içine buhar verilererek (buhar yalamlı dişli sprej kurutma yöntemi), özel atomizör tipleri kullanılarak ve/veya kurutma parametreleri ayarlanarak düzellebilir. Hacim yoğunluğu, partikül boyutu, hava içeriği ve nem içeriği gibi atomizasyon parametreleri, son ürünün bazı önemli özelliklerini etkilemektedir.

Kurumadan sonra sıcak hava ve toz arasındaki teması önlemek için ürün, kurutmanın ardından derhal uzaklaştırılır. Yağlı sütozlarında sıcak hava ile uzun süre temas, yağın partikül yüzeyine nüfuz etmesine, bu da tozun ısınmasına ve yapışkan bir hal almasına neden olur. Yapışkanlığı özellik toz zerrelerinin bir araya gelmesini, partikülleşmeyi (topaklaşmayı) ve partikül çapı artışını sağlar.

Oluşan partiküllerin kuleden derhal uzaklaştırılması gerekir. Belli çaptaki partiküllerin taşınmasında Stokes eşitliği ile hesaplanabilen yeterli hız sağlanmalıdır. Partikül çapının artması ile taşıma hızı artar. Tozun geri alınmasında siklon seperatörler kullanılır. Bu sistemle 10-20 µm arasındaki partiküllerin % 90'ı, 20-30 µm arasında olanların % 98'i ve 30 µm'den büyüklükte olanların % 99'u geri kazanılmaktadır. Siklonların randımanı, çıkıştaki tozun toplam kurumaddesinin proses girişindeki hammaddenin toplam kurumaddesine oranı

olan; aşağıda formülü verilmiş "Materyal Dengesi" temelına göre hesaplanmaktadır.

$$E_r = \frac{SM_i}{SM_o} \times 100 (\%)$$

- E_r : Materyal dengesi
 SM_i : Proses girişindeki kurumadde (kg)
 SM_o : Proses çıkışındaki kurumadde (kg)

Bugünün teknolojisinde uzun eş zamanlı soğutulmasını sağlayan küçük çaplı siklonla kombine edilmiş daha büyük çaplı birkaç siklondan oluşan bir sistem vardır.

Sprey kurutma diğer kurutma teknikleri ile karşılaştırıldığında çok sayıda önemli avantaja sahiptir;

- Tüm prosesler daha hızlıdır ve kurutma işlemi ürüne üstün özellikler kazandıran düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir.
- Dikkatli çeken oksidasyon, vitamin kayıpları, protein denatürasyonu, laktoz transformasyonu veya ısıdan kaynaklanan diğer zararlı etkiler yoktur.

Sprey kurutma ayrıca eczacılık alanında biyolojik veya termolabil materyallerin kurutulmasında da sıklıkla kullanılmaktadır. Sprey yöntemiyle elde edilen ürünler, dondurarak kurutma yöntemi sonucu elde edilen ürüne benzer kalitededir.

Sprey tesisi en az emek gerektiren produktivite ile yüksek kapasiteli işletilse bile tamamen otomatiktir. Bu tesiste ürün toz formda iken kapalı odanın duvarı ile ilişki halindedir. Ne ekipmanın bakımında ve korozyonunda, ne de son ürünün mikrobiyolojik kalitesinde problem olmaz. Bu yöntem ile yapışkan ve viskoz olsa da, eğer pompalanabiliyorsa kazein, kazeinat, krema vb. ürünler de kurutulabilmektedir.

5.2.3. Instant Kurutma ve Instant Süttozu

Instant süttozu diğer süttozlarından daha iyi rekonstitüsyon özelliklerine sahiptir. 1985 yılında Peebles tarafından patent alan instantizasyon prosesi kurutma teknolojisinin ekonomik yönlerini ve kalitesini önceki instant uygulamalara göre önemli biçimde geliştirmiştir. İstabilite, nüfuz edebilirlik (absorpsiyon), batabilirlik, dağılılırılık ve çözünürlüğü içeren instantizasyon prosesi ile kurutulmuş ürünlerin özellikleri geliştirilmiştir. Proses bu değişiklikler arasında en uygun dengeyi sağlamaktadır.

Süttozunun suda hızlı bir şekilde eriyebilmesi için instantize edilmesi zorunlu bir işlemdir. Toz partiküllerinde doğru bir gözeneklilik (Porozite) elde edebilmek için konsantrat zerreleri öncelikle kurutulmalıdır. Ardından partikül yüzeyinin hızlı bir şekilde genişlemesi ve kanalların kapanması nedeniyle partiküller nemlendirilmelidir. Bu aşamadan sonra partikül yüzeylen yapışkan ve nemli bir hal almakta ve birbirleri ile birleşerek aglomerat formuna dönüşmektedirler. Yani

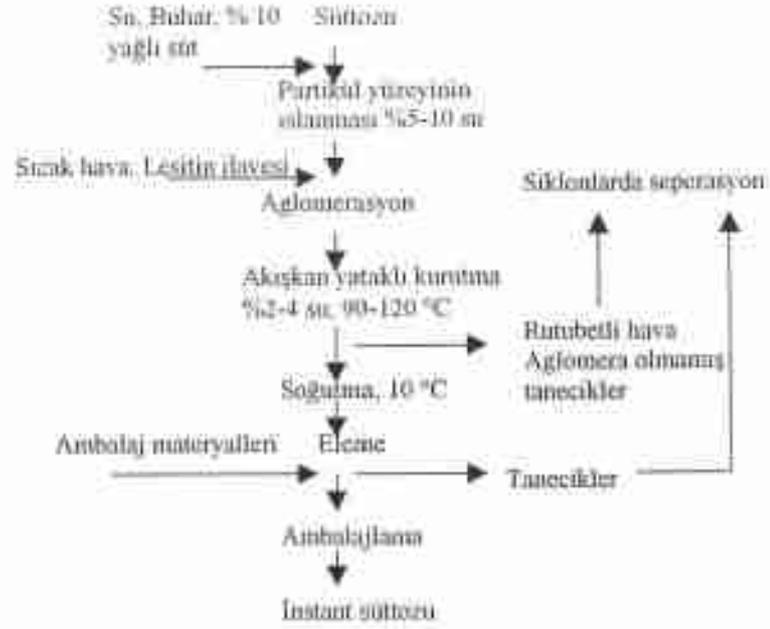
instant karakteristlikler, toz partikülleri arasında hava miktarının azmasına neden olan aglomerasyon ile sağlanmaktadır.

Rekonstitüsyon sırasında hava su ile yer değiştirmektedir. Hava, rekonstitüsyon sırasında toz partiküllerinin fazla miktardaki suyla temas etmesine neden olmaktadır.

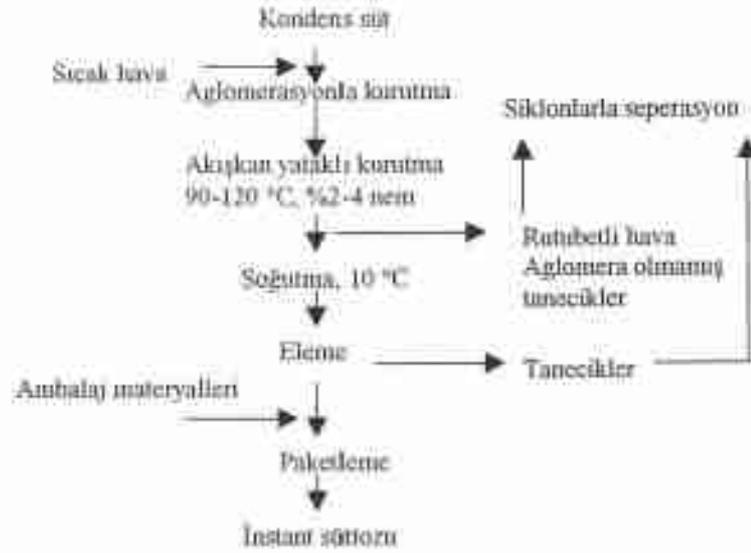
Instantize olmayan üründe, küme halindeki toz partikülleri etrafında viskoz bir tabaka oluşabilmekte ve bu da daha sonra suyu adsorbe etmektedir. Bu durum çözünme işlemini yavaşlatmaktadır.

Instantizasyonun başlıca iki tipi vardır (Şekil 5.18, Şekil 5.19.). Bunlar: kuru formda toz sağlandıktan sonra instantizasyonun gerçekleştirildiği yeniden ıslatmalı proses ve kurutma sırasında gerçekleşen instantizasyondur. Yeniden ıslatmalı prosedür için materyal süttozu ıslatma odasında disperse edilmekte ve toz partiküllerinin aglomera olmasına neden olan % 5-10 su içeriği kazanmaktadır. Aglomera olan ürün, titreşimli akışkan yatakla (90-120 °C sıcaklıktaki sıcak hava buharı ile ürünün kurutulduğu) kurutucuya ve yaklaşık 10 °C'ye soğutmanın yapıldığı soğutucuya taşınmaktadır (Şekil 5.18. ve 5.19.).

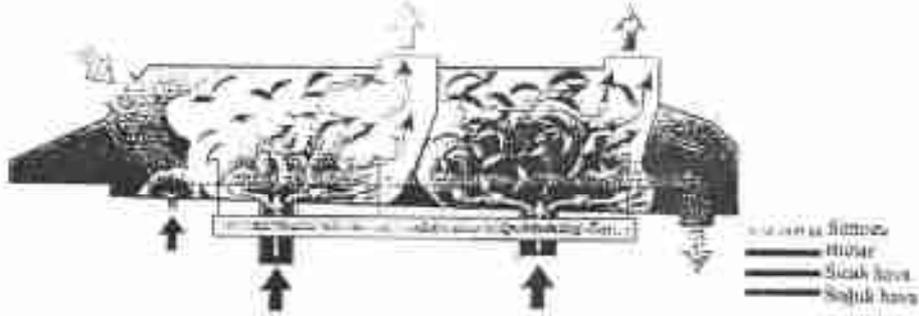
Şekil 5.20'de gösterilen akışkan yatak ile oldukça yeterli düzeyde instantizasyon sağlanabilmektedir. Akışkan yatak kurutucu odanın tabanına bağlı bulunmaktadır ve altında açıklıklar bulunan bir paletten ibarettir. Adı geçen bu palet bir motor yardımıyla hareketlendirilmektedir. Altaki açıklıktan ayrılan toza, akışkan yataktaki hareketli palette uygun bir hızla hareket kazandırılmaktadır. Akışkan yataklı kunducuda toz tabakasının yığın yüksekliği yaklaşık 10 cm'dir, burada kalış süresi 10-12 dakikadır. Çünkü son kurutma aşamasında iki aşamalı kurutma, tek aşamalı kurutma işleminden daha düşük sıcaklıkta kurutulan toza neden olmaktadır.



Şekil 5.18. Yeniden ıslatılabilir instant süttozu üretiminin akım şeması



Şekil 5.19. Direkt prosedürü instant süttozu üretiminin akım şeması



Şekil 5.20. Instant süttezu için akışkan yatak

Şekilde akışkan yatağın bağlı olduğu kurutma odasından ayrılan toz, 1. bölümde buhar tarafından nemlendirilmektedir. Daha sonra hareketli palet yardımı ile kurutma bölümüne taşınan toz burada yavaş şekilde artan sıcaklık ile tamamen kurutulmaktadır. Kurutmanın 1. aşamasında partiküller birbirleriyle birleştiklerinde aglomerasyon meydana gelmektedir. Su, kurutma aşamasından geçiş esnasında aglomerattan uzaklaşmakta ve aglomerat akışkan yataktan geçerken istenilen kuruluk düzeyine ulaşmaktadır.

Büyük boyutlu partiküller, kurutucu yatağın çıkışında ayrılmakta ve giriş bölümüne geri gönderilmektedir (Resirkülasyon). Yataktan çıkan instant partiküller soğutucu hava tarafından siklonlara taşınmakta, burada havadan ayrılmakta ve paketlenmektedir. Yine akışkan yataktaki hava, sprey kuledeki hava ile birlikte süt partiküllerinin yeniden kazanılması için siklonlara gönderilmektedir.

Akışkan yataklı kurutucudan elde edilen son ürün % 4'den daha az su içeriğine sahiptir (% 2-4). Sıcak hava, akışkan yataklı kurutucunun delikli konveyörü boyunca üflenmekte ve küçük toz partiküllerini veya zerrelerini seperasyon işleminin gerçekleştiği siklona taşımaktadır. Sıcak hava ve katı maddeler birbirinden ayrıldıktan ve toz zerreleri proses başlangıcına geri döndükten sonra hava atmosfere tahliye edilmektedir.

Direkt instantizasyon sırasında (Şekil 5.19.) aglomerasyon prosesi toz partikülleri oluşumundan hemen sonra nemli tozlarda gerçekleştirilmektedir. Bu kuru tozun procese girdiği iki aşamalı processten farklılık göstermektedir.

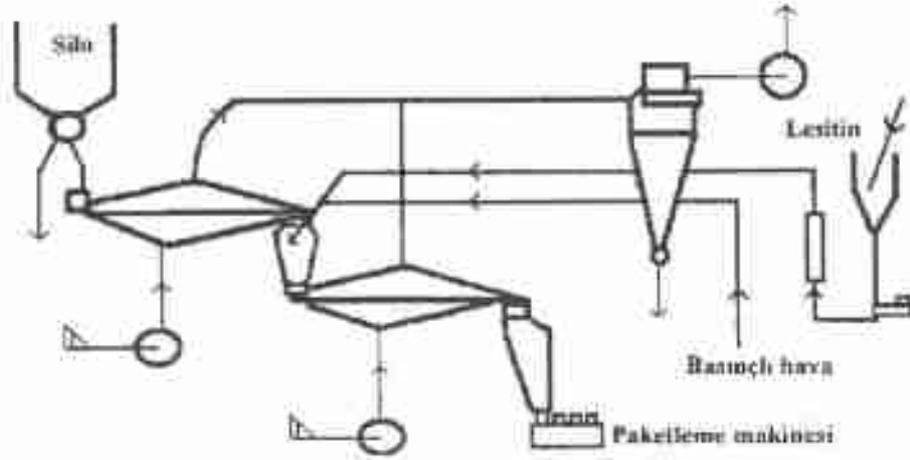
Hava çıkış sıcaklığının düşük olması ve diğer farklı kurutma parametreleri nedeniyle tahliye edilen tozlar nem çekmektedir. Toz, sıcak hava akımının zerreleri siklon sistemine taşıdığı ve aşırı suyun uzaklaştırıldığı, iki vibrasyonlu kurutucular sayesinde taşınmaktadır. Seperasyondan sonra zerreler, nemli tozlarda aglomera edilerek kurutucu kulede atomizasyon bölgesine geri verilmektedir.

Üç aşamalı kurutmada kulenin en yeni tipi, kurutma odası, kristalizasyon, son kurutma ve kaplama için üç tane ilave odaya sahip olan Filtermat kurutucu

İçeri. Bu püskürtme dizaynı, yüksek verimliliğe, üretim değişkenliğine sahiptir. Ayrıca ürünün instant özellikleri oldukça iyidir. En son sistem Storck firması tarafından geliştirilen çok aşamalı sprey kurutucudur. Kurutma odası karıştırma bölümü boyunca harici akışkan yatağa direkt olarak bağlanmaktadır. Bu, nemli toz için taşıma süresini kısaltmaktadır.

Lesitinyasyon

İyi bir eriyebilirliğe sahip instant yağlı süttezinin rekonstitüsyonunda suyun sıcaklığı 40 °C'nin altında olmamalıdır. Çünkü yağlı tozların partikül yüzeyi soğuk suda eriyebilirliği engelleyen serbest ince süt yağı tabakası (%1-2) ile çevrilidir. Ancak hem soğuk suda eriyebilir instant yağlı tozlara olan talep, hem de instantizing işlemindeki aglomerasyon için lesitinyasyon gerekli olmaktadır. Tozlarıdaki serbest yağın oranı % 1'in altında olmalıdır, yoksa tozların ıslanabilirlik niteliği güçleşmektedir. Diğer bir değişle instant yağlı süttezin üretiminde kurutulacak ürün yağlı ise (örneğin tam yağlı süt veya kremaj) instantizasyon prosesi oldukça karmaşık olmaktadır. Serbest yağ, partikül yüzeylerinde partiküllerin doymuş hale gelmesini sağlayan ve onların su bağlama yeteneğini azaltan hidrofobik tabaka oluşturmaktadır. Bunu önlemek ve rekombinasyon özelliklerini geliştirmek için toz partikülleri instantizasyon işlemi sırasında mono- ve digliseritler gibi yüzey aktif maddelerle, örneğin % 0,2 (0,1-1) oranında lesitin ile kaplanmaktadır. Lesitinyasyon denilen bu işlemde yağ emülgatörü olan eritilmiş lesitin toz tanelerinin yüzeyine spreylenmektedir. Lesitinyasyon iki akışkan yatak arasında yapılabildiği gibi, paketlemeden önce de uygulanabilmektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Lesitinyasyon ünitesi

Lesifasyon öncesi süttezinin yapısı ve aglomerasyon oranı büyük öneme sahiptir. Çünkü zayıf aglomera olmuş tozlar, iyi aglomera olmuş tozlardan daha fazla miktarda yüzey aktif madde gerektirmektedirler.

5.3. Süttozlarının Ambalajlanması ve Depolanması

Süttozu, ürünü nem, hava, ışık vb. etkilere koruyan ambalaj malzemesi içinde paketlenmelidir. Genellikle kağıt, çok katmanlı kutular, içi polietilen kaplı torbalar, içinde polietilen bulunan metal fiçiler, ürüne temas eden yüzeyi alüminyum folye kaplı tenekeler ambalaj materyali olarak kullanılmaktadır. Ancak ağırdır olarak lamine edilmiş polietilen tabakalı kağıtlarda paketlenmektedirler. Paketleme materyalleri tüketici isteklerine bağlı olmakla birlikte, çok farklı boyutlarda üretilmekte ve en yaygın olarak 25 ve 15 kg'lık kağıt torbalar kullanılmaktadır. Evde kullanım amacıyla üretilen süttozları daha küçük boyutlarda olmak üzere; ince teneke kutularda, lamine edilmiş veya dönüşümü plastik ambalajlarda ve kartonlarda ambalajlanmaktadır.

Ambalajlamada önemli bir özellik olan süttozlarının hacim yoğunluğu üretim parametreleri ve yöntemlerinden etkilenmektedir. Ürün uzun süre depolanacaksa ezot gibi inert bir gaz ile veya yağ ve diğer bileşenlerin oksidatif değişimlerinden kaçınmak için kısmi vakum (0,4-0,55 atm.) altında paketlenmelidir.

Gereği gibi üretilmiş ve ambalajlanmış süttozları (düşük oksijen içeriği) rutubet oranı düşük, tozsuz, kararsız ve çevre sıcaklığındaki depolarda muhafaza edilmelidir. Kurutulmuş bazı süt ürünlerinin depolanmasındaki depo nispi nemini Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Bazı toz ürünlere ilişkin depolama nispi nemli düzeyi

Ürün	Nispi depo nemli, %
Yağlı süttozu	20-30
Yağsız süttozu	10-30
Quark tozu	15-25
Erime peyniri tozu	10-20
Peynirli suyu tozu	5-15

Yağlı süttozunun depolanması sırasında yağ oksidasyonu meydana gelebilmektedir. Ancak endüstriyel üretimde sütün özel ön işleme tabii bulunması ile, örneğin antioksidanların ilavesi, tozun dayanım ömrü artırılabilmektedir.

6. Süttozlarının Nitelikleri ve Kalitesi

Süttozlarında kalite denilince, genel olarak eriyebilirlik, tutulan hava, yoğunluk, tozluuk, nem içeriği ve rekonstitüe otabilirlik gibi nitelikler akla gelir. İyi bir toz kalitesi için; eriyebilirliğin tam, hava miktarının az, yoğunluğun yüksek, tozluğun en az, % 2-4 nem ve hızlı bir rekonstitüsyon niteliğinin olması gerekir.

6.1. Süttozlarının Rekonstitüsyon Özellikleri

Süttozlarının rekonstitüsyon özellikleri şunlardır:

1. Wettability (Islanabilirlik),
2. Sinkability (Batabilirlik),
3. Dispersibility (Dağılabilirlik) ve
4. Solubility (Eriyebilirlik).

Bu özelliklerin her biri süttozlarının rekonstitüsyonunda birbirini takip eden aşamalıdır. Yani bir süttozu taneciği suyun içine atıldığında önce ıslanır ve ardından batarken bir taraftan da dağılarak erir.

Fakat bazen eriyebilirlik ve dağılabilirlik kavramları ürünlere göre farklı kullanılabilir. Örneğin instant tozlar için eriyebilirlik yerine yoğunlukta dağılabilirlik ifadesi kullanılabilir.

Rekonstitüsyon olayında "Islanabilirlik" ve "Eriyebilirlik" toz niteliğinde öne çıkan iki kavramdır.

Islanabilirlik: Sprey yöntemiyle elde edilen süttozlarında ıslanabilme niteliği fazla sorunlu olmamaktadır. Süttozu yığınında ortalama partikül çapı 50 µ'dan daha küçük olduğunda ıslanabilmede toz tanecikleri engelleyici gibi görünmektedir. Çünkü böyle taneciklerin bünyelerine su alıp şişmelerinde taneciğe suyun girme aralığının dar ve su miktarının fazla olması gibi bir sorun oluşmaktadır. Tanecik boyutlarının büyük olması ıslanabilirlik için daha uygundur, örneğin 100-150 µ'luk boyut ideal olan çaptır. Yine partikül boyutları üniform olmalıdır, bu da daha çok sprey yöntemiyle sağlanmaktadır.

Tozların nem ve yağ oranları ıslanabilirliği etkilemektedir. Yağların dağılım miktarı nem içeriğine, nem de ıslanabilirliğe tesir eder. Yağ oranının % 18-32 arasında olması nem oranında önemli bir değişiklik yapmaz. Süttozundaki yağın düşük erime noktasına sahip olması, eriyebilirlik için bir avantajdır. Çünkü düşük erime noktasına sahip olan yağ asitleri fazla olan süt yağını içeren süttozlarında su desorbsiyonundan dolayı eriyebilirlik daha iyi olabilmektedir.

Eriyebilirlik: Tozların bu niteliği önemli bir ticari özelliktir. Eriyebilirlik yüksek veya dengesiz kurutma sıcaklığından özellikle etkilenir. Buna bağlı olarak silindirik tozlarda eriyebilirlik daha düşüktür, örneğin % 80-85 gibi. Sprey tozlarda ise aynı değer % 98-99,9'dur. Yine yağlı süttozlarında yağın açığa çıkması olumsuz bir etkidir. İyi bir eriyebilirlik için ısı uygulamasının 74° - 88° C arasında olması, kurutmanın ise çok yüksek bava giriş sıcaklıklarında yapılmaması

gerekir. Yine üretimin diğer aşamalarında da, örneğin depolama sıcaklığı gibi, eriyebilirlik özelliği etkilenmektedir.

Bunun dışında rekonstitüsyon işleminde kullanılan suyun nitelikleri çok önemlidir. Suyun mutlaka arıtılmış, hijyenik ve sertliği gidirilmiş içme suyu niteliğinde olması gerekir. Yağlı sütteozlarının rekonstitüsyonunda suyun optimum sıcaklığı 27-38 °C, yağsız sütteozlarında ise 20-22 °C'dir.

İyi bir rekonstitüsyon için bu aşamaların hiçbir topaklaşma olmadan en kısa sürede gerçekleşmesi gerekir. Bir çok üretim aşamaları ve bunların seviyesindeki tozun rekonstitüsyon niteliklerini etkilemektedir. Bunlar;

- Konsantratin kurumadde içeriği,
- Atomizör devir sayısı,
- Püskürtme giriş açısı,
- Hava akımı,
- Uygulanan kurutma yöntemi,
- Kurutma sıcaklığı.

Konsantratin kurumadde oranı: Bu oranın özellikle peyniraltı suyu ve yağsız süt konsantratında % 45'in altına inmemesi gerekir. Kurumadde seviyesi arttıkça kuleye gönderilen kurutma havasının çıkış sıcaklığı yükseltilmelidir, yoksa tozun nem içeriği artabilmektedir. Kurumaddedeki % 1'lik artış tozun nem içeriğini % 0.2 artırmaktadır. Bu durum konsantrat zerrecelerinin yüzeyinin daha yoğun ve hızlı kurumasından dolayı zerrecelerdeki nemin daha zor uzaklaşmasından ileri gelmekte ve eriyebilirliği düşürmektedir.

Düşük kurumadde içeriği konsantratin çalkalanabilirliğini artırmakta ve partikül içine daha çok havanın girmesine neden olmaktadır. Doğal olarak tozun yoğunluğu azalmakta ve hava akımı ile uçan toz kayıpları artmaktadır. Yağlı sütteozu üretiminde ise yağlı konsantratin çalkalanabilirliği daha azdır.

Atomizör devir sayısı: Devir sayısı ile konsantrat zerrecelerinin boyutları arasında ters bir ilişki vardır. Atomizör diskünün devri arttıkça zerrecelerin boyutu küçülür. Bu şekilde suyun evaporasyonu fazlalır ve tozun yoğunluğu artarak eriyebilirlik daha da iyileşir.

Püskürtme giriş açısı: Spreylenen konsantratin yukarıda da açıklandığı gibi kurutma havası ile ya aynı, ya da ters yönde kule içine girdiği bilinmektedir. Hangi yöntem olursa olsun hava ile konsantratin birbirine karşılıklı geçecek şekilde kuleye girmeleri gerekmektedir.

Hava akımı: Bütün sprey kurutma tekniklerinde kurutma havası kulenin üst kısmından genelde konik şekilli alt kısma doğru yönlendirilir.

Uygulanan kurutma yöntemi: Öncede açıklandığı gibi süt sanayinde çoğunlukla sprey veya silindir yöntemi ile kurutma yapılmaktadır. Sprey yöntemi ile elde edilen tozlar da kalitenin daha iyi ve üretim kapasitesinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Ancak bu demek değildir ki, silindir yöntemi artık kullanılmamaktadır. Özellikle bisküvi ve çikolata sanayinin ihtiyacı olan tozları

üretiminde kapasiteye-bağıli olarak veya küçük kapasiteli üretimlerde hala silindir yöntemi tercih edilmektedir.

Sprey yöntemi ile kurutmada her bir partikül küresel şekildedir ve 10-250 µm çapa sahiptir. Bu partiküller absorbe edilen havanın oluştuğu boşlukları içerir. Boşlukların çoğu ortalama boyutta olsa da bazıları küçüktür. Bu yöntemle kurutulmuş partiküllerin yüzeyi yumuşak, fakat buruşuk olabilir. Değişik kurutma yöntemleri her bir partikülde farklı morfolojilerin oluşmasına neden olmaktadır.

Kımi kaynaklara göre kurutucu tipinin tozun birçok özelliğine etki ettiği belirtilse de, gerçekte sadece nem içeriği kurutucudan etkilenmektedir. Üretim prosesinin fonksiyonları olarak tozlarda görülebilecek bazı olumsuzluklar kurutmayla, evaporasyona veya imalatdaki bazı üretim aşamaları ile kontrol altına alınabilir. Ancak peyniraltı suyunun kurutulmasında laktozun kristalizasyonu gibi bazı aşamalar kurutucu dışındaki sistemlerde sağlanır. Tozun non-higroskopik yapısı evaporatör ile kurutucu arasında laktozun kristalizasyonundan çok fazla etkilenir.

Ayrıca yağlı süttezlarda serbest yağ içeriği, kitle yoğunluğu ve ısı sınıflandırması genellikle kurutucu dışındaki proses aşamalarından etkilenmektedir.

Kurutma sıcaklığı: Ürünün çeşidine, yağlılık-yağsızlığa bağıli olarak kurutma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları değişebilmektedir. Örneğin yağsız süttezi ve peyniraltı suyu tozu üretiminde hava giriş sıcaklığı 180-220 °C, hava çıkış sıcaklığı ise 80-100 °C arasında değişmektedir. Ayrıca konsantratin kurumadde seviyesi de kurutma sıcaklığının belirlenmesinde önemli bir faktördür, örneğin kurumadde oranı biraz düşükse giriş sıcaklığını yüksek tutmak gerekir. Hava giriş sıcaklığı rezistans ile veya hava ısıtma düzeninde ayarlanabilirken, hava çıkış sıcaklığı konsantrat debisi ve atomizör devir sayısı ile ayarlanmaktadır.

Süttezi üretiminde kurutma sırasında uygun olan bir ısı işleminden geçen toz tanecikler yeterince kuruduktan sonra kurutucu kule içinde uzunca bir süre bırakılmamalıdır. Ürünün kuleye girmeden önce süte uygulanan ısıtma (pastörizasyon) normları, sütün yoğunluğu ve evaporasyon ile kurutma arasında konsantratin bekletme süresi ve kurutmadan sonra tozların depolama süresi gibi teknolojik işlemler de süttezi niteliklerini etkilemektedir.

Sprey süttezleri, üretim sırasında kurutmadan önce süte uygulanan sıcaklık seviyesine göre 3 ayrı sınıfta tasnif edilir:

1. Düşük sıcaklık uygulamalı süttezi,
2. Orta sıcaklık uygulamalı süttezi ve
3. Yüksek sıcaklık uygulamalı süttezi

1. Düşük sıcaklık süttezi: Bu tip süttezleri, bileşenlerinin doğal özelliklerinde çok önemli değişikliklerin olmadığı tozlardır. Genellikle LTST pastörizasyon seviyesinin uygulandığı sütün kurutulmasıyla elde edilmektedir. Ancak böyle bir ısı uygulaması yüksek kaliteli, bakteri içeriği düşük sütteer için uygulanır.

2. **Orta sıcaklık süttezu:** Bu grup süttezlerinin üretiminde ise süte 85-125 °C'de birkaç dakikalık bir ısı uygulanır. Evaporasyon ve kurutucuya verilmeyen önceki sıcaklık ise aynı ve 70 °C'dir. Böyle bir işlem viskozitenin azalmasına ve daha küçük zerreler halinde pülverize olmasına, dolayısıyla kurutma kapasitesinin artmasına neden olmaktadır.
3. **Yüksek sıcaklık süttezleri:** Bu sınıfta yer alan süttezler ise çok şiddetli ısı uygulamasına maruz bırakılmış süttelerden elde edilir. Süte uygulanan ısı işlemi genellikle 80 °C'de 30 dak., ve 140 °C'de birkaç dak. gibi yüksek nominaldır.

Ancak bu ısı sınıflandırması daha çok yağsız süttezu için kullanılır. Süttezu üretiminde süte uygulanan ısı işlemi süten içindeki serum proteinlerinin denatürasyon oranını etkilemektedir. Bu da toz kalitesini ve özellikle eriyebilirlik niteliğini değiştirmektedir. Süttezu üretiminde pastörizasyonun hangi seviyede uygulandığı WPNi-testi (Denatüre olmamış serum proteinleri azotu miktarının belirlenmesi) ile saptanır. Her üç sıcaklık grubu toz için WPNi (Whey protein nitrogen index) sınır değerleri şöyledir:

Düşük sıcaklık süttezlerinde:	≥ 6,0 mg WPN/g-toz
Orta sıcaklık süttezlerinde:	1,51 – 5,99 mg WPN/g-toz
Yüksek sıcaklık süttezlerinde:	≤ 1,5 mg WPN/g-toz

Yukarıda da ifade edildiği gibi süttezlerinde zayıf çözünürlüğün nedeni yüksek seviyede protein denatürasyonudur. Bu ifade doğru olmakla birlikte her zaman yeterli değildir. Eğer amaç sadece kazeini denatüre etmek ise protein denatürasyonunun tozun eriyebilirliği üzerine aşırı bir etkiye bulunmadığı bilinmektedir. Şayet bu durum geçerli olsaydı eriyebilirliği iyi olan yüksek ısı uygulamalı süttezu üretmek mümkün olmazdı. Aynı şey düşük ısıli tozun her zaman iyi eriyebilirliğe sahip olamayacağına dair de söylenebilir. Bu nedenle eriyebilirlik indeksi ile WPN-indeksi arasında kesin bir ilişkinin olduğunu söylemek pek mümkün değildir.

Süttezlerinde serum proteinlerinin denatürasyonu üzerine etki eden faktörler pastörizasyon, evaporasyon öncesi ön ısıtma, evaporasyon, konsantratin ısıtılması ve kurutma sıcaklığıdır. Özellikle kurutma öncesi süte uygulanan bu ısıli işlemler rekonstitüe süten duysal özelliklerini etkilemektedir. Yüksek ısıli uygulandığı tozlarında sülfidril gruplarının açığa çıkması dolayısıyla pişmiş bir tat oluşmaktadır. Bu duysal kriter rekombinasyon fabrikaları için önemlidir.

Düşük ısıli toz rekonstitüe edilerek taze süt ile % 30-40 oranında karıştırılabilir, aynı zamanda peynir imalatında da kullanılmaktadır. Yüksek ısıli tozdan ise daha çok fırıncılık alanında yararlanır. Süttezu rekombine şekerli ve şekerli koyulaştırılmış süt imalatında kullanılacağı zaman sterilizasyona dayanıklı olması için ısıli işleminin titizlikle uygulanması gerekir.

Yağlı süttezu üretiminde yağın oksidasyonunu geciktiren sülfidril grupları gibi antioksidan maddelerin oluşumunu ve oksidasyona neden olan enzimlerde tam bir redüksiyon sağlamak için yağlı süte evaporasyondan önce yüksek bir ısıli işlemi uygulanır.

6.2. Süttozu Nitelikleri Üzerine Bazı Üretim Koşullarının Etkisi

Sprey kurutmada hava giriş sıcaklığı artırılsa bile, örneğin 170 °C'den 225 °C'ye, atomizöre giren ürün miktarı veya atomizör devir sayısı kademeli artırılarak hava çıkış sıcaklığını sabit tutmak, örneğin 90 °C'de, mümkündür. Böyle bir durumda süttozlarının erteyebilirliği çok az etkilenmekte, fakat nem içeriği yükselmektedir. Giriş havası sıcaklığı sabit tutularak ürün besleme miktarının azaltılmasıyla çıkış havası sıcaklığı artırılabilmektedir, örneğin 75 °C'den 105 °C'ye yükselmektedir. Giriş sıcaklığı artırılırken nem içeriği sabit tutulmak isteniyorsa çıkış hava sıcaklığı da artırılmalıdır. Kural olarak giriş havasında her 5 °C'lik artışa karşılık çıkış hava sıcaklığının 1 °C artması gerekir.

Yağlı süttozlarında giriş hava sıcaklığı artırıldığında serbest yağ içeriği de azalmaktadır, çünkü yüksek kurutma sıcaklığında sert partikül yüzeyi oluşur.

Toz partikülleri içinde tutulan hava miktarı arttığından dolayı nem içeriğinin artmasına karşın, toz yoğunluğu hava giriş sıcaklığı yükseldikçe azalır. Atomizasyon derecesi arttığında konsantrasyon süt zerreceleri daha geniş yüzey alanına sahip olmakta, bu da suyun daha kolay evaporasyonunu sağlamakta ve bu yüzden aynı çıkış sıcaklığında daha düşük nem oranına sahip ürün elde edilmektedir.

Yağlı süttozu elde etmesinde atomizör devir sayısı yükseldikçe yüzey alanı artışına bağlı olarak serbest yağ miktarının da artacağı düşünülebilir. Ancak atomizör devir sayısının artışıyla disk içinde kesin bir homojenizasyon etkisi sağlanır ve bu suretle serbest yağ içeriği de azalır. Yoğunluktaki çok az bir düşüş de nem içeriğinin azalmasından dolayıdır.

Süt daha küçük zerreciklere atomize edildiğinde çıkış sıcaklığı düşürülebilir ve erteyebilirlik artar. Küçük partiküller atomizörün devir hızının veya nozle atomizasyonda basıncın artırılmasıyla elde edilir. Daha küçük partiküller aynı zamanda konsantrasyonu artırılarak veya konsantrasyonun viskozitesini azaltarak veya konsantrasyonun kurumadde oranını azaltarak da elde edilir. Konsantrasyonun artırılması yüksek konsantrasyonlarda önemli etkiye sahiptir.

Yağlı süttozlarında serbest yağ içeriğinin artışı yüzey alanının artışıyla ilişkilidir. Bu durum konsantrasyonun homojenizasyonu veya atomizör devir hızının artırılması ile önlenemez. Fakat homojenizasyon viskoziteyi artırdığı için bu iki zıt parametre yağlı süt kurutulmasında optimize edilmelidir.

6.3. Süttozlarının Nitelikleri

Elde edilen süttozlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri onların kullanılabilirliği bakımından önem taşımaktadır.

Fiziksel yapı: Süttozlarının nem ve vakuoller içinde çözünmüş süt kurumadde oranından oluşan bir fiziksel yapısı vardır. Tozdaki laktoz, partiküllerin fiziksel yapısına etki etmektedir. Hava ile çevrilmiş instant nitelikler ise öncül yapıyı oluşturmaktadır. Her bir tanecik büyüklük ve biçimi ile bu özelliklerin üniformite derecesi öncül yapıyı etkilemektedir.

Silindir yöntemiyle kurutulan tozlar hava içeren, zayıf-düzensiz bir kütleye sahiptirler. Yağlı ürünlerin silindir yöntemiyle kurutulmasında yağ globüllerindeki yapı, silindir yüzeyindeki ani ısı yüklemeleri ve kazıyıcı bıçakların oluşturduğu basınç etkisi ile bozulabilmektedir. Sprey yöntemiyle elde edilen sütteozlarında daha az hava içeren düzenli - korik tanecikler oluşur. Tanecikteki hava hacmi % 15-25 kadardır. Değişik model atomizörler çeşitli boyda partiküller verir.

Sütteozlarının fiziksel yapısı içinde yer alan gazları O_2 , N ve CO_2 hakkında ise şunlar söylenebilir: Partiküller arasında genellikle hava bulunmaktadır. Gazlar bazen su içinde, bazen de partiküller tarafından emilmiş olarak bulunur. Yüksek hava içeren tozlar katı bir kabuk tarafından sarılmıştır, bu nedenle tozlar kabarık gözükmemektedir. Koyulaştırılmış sütteki kurumadde seviyesi arttıkça tozdaki hava hacmi azalır. Süt yeni kurutulduğunda da daha az hava bulunur, ancak zamanla bu artar. Sütteozundaki hava normal havadan daha çok O_2 içerir, % 33-39 civarındadır. Koşullara bağlı olarak CO_2 'de (48 ml/100 g yağlı sütteozu) sütteozundaki hava içinde bulunabilmektedir.

Bir sprey sütteozu partikülü amorf laktöz külesinden ve diğer düşük molekül ağırlıklı bileşenlerden (örneğin yağ globüller, kazein miselleri ve serum protein molekülleri) ibarettir. Eğer ön kristalizasyon yapılmışsa amorf halindeki laktöz kristalleri (10 μm boyutunda) bulunabilir. Su absorpsiyonundan sonra laktözün kristalle olmasına izin verilirse kristaller genellikle küçük olur (~ 1 μm).

Yağlı tozlarda yağ globüller 2 μm 'den daha küçüktür. Yağın % 2'si kadar bir kısmı partikül yüzeyinde ince bir tabaka halinde bulunur.

Sütteozunun partikül boyut dağılımı (d_w) 20 ve 60 μm arasındadır. Aglomere olmuş tozlarda partiküller düzensiz ve genişliği de 1 mm'dir. Aglomere olmamış tozlarda ise daha geniş partiküller daha fazla boşluk (vakuoller) hacmine sahiptir.

Tozların yoğunluğu çeşitli yollarla belirlenebilir. Partikül yoğunluğu boşluk hariç "doğru yoğunluk" P_1 olarak tanımlanır. Bu değer yağlı sütteozunda 1300 kg.m^{-3} , yağsız sütteozunda 1480 kg.m^{-3} ve pas-tozun da 1560 kg.m^{-3} dir. Partikül yoğunluğu P_1 boşluklar dahil şu şekilde verilmektedir ($m^3 \text{kg}^{-1}$ içinde V)

$$P_1 = P_2 / (1 + VP_2)$$

Yağsız sütteozunda P_2 genellikle $900\text{--}1400 \text{ kg.m}^{-3}$ 'dür. Tam yağlı tozun paketlenme yoğunluğu veya bulk yoğunluğu P_2 aşağıdaki şekilde verilir.

$$P_2 = P_1 (1 - c) = P_1 (1 - c) / (1 + VP_1)$$

c boşluk hacim fraksiyonu veya porozite'dir. Genellikle $c = 0,4\text{--}0,75$ 'dir. Fakat bu tozun elde edilmiş yoluna bağlıdır. Yağsız sütteozu için 0,55'den 0,40'a , tam yağlı sütteozu için 0,70'den 0,45'e azalmaktadır.

Eğer toz serbest akış (α) halinde değilse yapışkanlımsıdır. α , bir humidan akan yağın toz külesinin yatayla yaptığı açıdır. Açı ne kadar küçükse akıcılık o kadar iyidir. Yapışkanlımsı tozlarda partiküller birbirleriyle kolayca yuvarlanamazlar,

yani porozite () yüksek olmaktadır. Serbest akıcılık düşük sıcaklıklarda daha iyidir. Özellikle kahve makinelerinde kullanılacak ineri sütozlarının serbest akıcılığı Si_2O_2 , Na-Al-silikat veya $Ca_3(PO_4)_2$ ilavesi ile düzeltilebilir.

Görünüm: İyi kaliteli bir sütozunun aynı büyüktteki taneciklerden oluşması ve beyaz renge sahip olması gerekir. Üretimi veya depolama sırasındaki bazı hatalar özellikle silindir sütozlarındaki rengin yavaşça koyulaşmasına neden olur. Rengin koyulaşması sütozlarındaki Maillard reaksiyonlarından ileri gelmektedir. Yine silindirler üzerinde ısının yüksek oluşu, fazla bekletme gibi yanlış işlemler de taneciklerde yanık bir renk ve tate neden olur. Kahverengileşme ve yanık tat ise sprey sütozlarında daha az görülmektedir. Uygun olmayan rengin bir diğer nedeni de yüksek orandaki nem içeriğidir.

Aroma: Üretimde düşük kaliteli çiğ süt kullanılması, özellikle asitliği ilerlemiş olan sütler, tadını uygun olmadığı bir toz eldeasına neden olur. İyi kaliteli bir toz üretimi için sütün asitliği % 0.15 laktik asit'i geçmemelidir. Zaten normal olarak hammaddede asitliği en çok % 0.17 olmalıdır. Sprey tozların aroması süte uygulanan ısının şiddetine bağlıdır. Yüksek ısı uygulamasında pişmiş bir tat görülebilir. Sütozlarında uygun bir aroma, rekonstrüe edildiğinde pastörize sütekinde benzermelidir. niteliğinde olmalıdır.

Nem: Silindir yöntemiyle kurutulmuş tozlarda nem % 1,5-2,5 sprey sütozlarında ise % 2-3,5 oranındadır. Ancak üretimdeki olumsuzluklar veya depolamadaki kusurlar fazla neme neden olmaktadır. Yağlı sütozlarında yağın oksidasyonundan dolayı nem oranının yükseldiği görülmektedir. Nem oranında kritik nokta % 5'dir, dolayısıyla mümkün olduğunca % 4'ün altında tutulmalıdır. Sütozundaki nem düzeyinin kontrolü fabrikasyon aşamasından itibaren önemlidir. Ancak sütozunda olması gereken minimum nem oranı da unutulmamalıdır. Yağlı ve yağsız sütozlarında nem oranları American Dried Milk Institute' e (A.D.M.I.) göre şu şekildedir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Değişik sütozlarının nem içerikleri, %

Toz çeşitleri	Sprey yöntemiyle	Silindir yöntemiyle
Yağlı sütozu, yüksek kalite	2,25	-
extra kalite	2,50	3,0
orta kalite	3,0	4,0
Yağsız sütozu, extra kalite	4,0	4,0
orta kalite	5,0	5,0

6.4. Sütozlarında Kalite

Kurutulmuş süt ürünlerine ilişkin standartlar çok önceden A.D.M.I. (American Dry Milk Institute) tarafından belirlenmiştir. Tüm dünyada da kabul edilen bu standartlar, sütozunun sahip olması gereken temel özellikleri içermekle birlikte, ürünün herhangi bir özel kullanım için uygunluğu hakkında fikir vermez. Bu nedenle tamamlayıcı testler gerekir. Aşağıda (Çizelge 6.2.) ekstra kalitedeki sütozları için A.D.M.I.'nin sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yağlı ve yağsız sütteki nitelikleri

Nitelikler	Yağsız sütte	Yağlı sütte
Süt yağı, %	en çok 1,25	en az 26,0
Nem, %	4,0	2,5
Titrasyon asitliği, % L.p.	0,15	0,15
Bakteri sayısı, adet/g	30.000	30.000
Eriyebilirlik indeksi, ml	en çok 0,5	en çok 0,5
Yanmış partiküller, sınıf	A	A

Çizelgedeki nitelikler, rekonstitüe süt veya rekombine ürünler için kullanılacak sütteki temel gereklilikler olarak kabul edilir.

Sütte kalitesini etkileyen faktörlerin başında asidik ve bakteriyolojik özellikler gibi çığ süt nitelikleri gelmektedir. Sütün kurutulması sırasında uygulanan prosese rağmen canlı kalabilen özellikle termofilik ve termodurik mikroorganizmalar tozda da bulunabilecektir.

Sütün titrasyon asitliği öncelikle tozun eriyebilirliğini olumsuz şekilde etkiler. Yüksek laktik asit içeriği hidrojen iyon konsantrasyonunu artırır ve bu da proses sırasında protein stabilitesinde sorunlara neden olur. Sütün konsantrasyonu ile titrasyon asitliğinin de artışı umutlanmamalıdır.

Bu durum sütte artan titrasyon asitliğine bağlı olarak protein stabilitesinin bozulmasına neden olur ve neticede sütte eriyebilirlik zayıflar. Asitlik derecesi sütün ısı stabilitesini kontrol eden pH değeri ile belirlenmesine karşın, yaygın uygulama titrasyon asitliği cinsinden saptamadır. Birinci sınıf toz üretmek için sütün asitliği 7 °SH olmalıdır, eğer 8 °SH'yi geçiyorsa elde edilen tozun kalitesi 1. sınıf kabul edilemez.

Eriyebilirlik: Kurulmanın neden olabileceği problemler arasında en zoru eriyebilirliktir. Eğer kabul edilebilir sınırlar içindeki sütün asitliği bir tarafa bırakılacak olursa, bu problem konsantratın kurumadde oranı ve hava çıkış sıcaklığı ile doğrudan ilgilidir. Konsantrat kurumadde oranı arttıkça proteinlerin ısı stabilitesi azalır ve viskozite yükselir. Viskozite artışı yüksek protein oranı ve aşırı ısı uygulaması ile ortaya çıkar. Konsantrat kurutucuda atomize edilirken yüksek viskozite, daha büyük damlalara neden olur. Fakat bu durumda istenen nem oranını sağlamak için hava çıkış sıcaklığını artırmak gerekir. O zamanda yüksek sıcaklık süt kurumadde oranının azalmasına ve çözünürlüğün azalmasına neden olabilir. Çözüm olarak atomizörün dönüş hızını veya basıncını düşürmek, konsantrasyon oranını azaltmak veya konsantratı ısıtmak gerekir. Eğer yapılacak kontrolde konsantrat ve tozun eriyebilirliği (rekonstitüsyon sırasındaki) aynı ise kurutmada sorun yok demektir.

Eriyebilirlik yüksek hava çıkış sıcaklığından önemli ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık 100 °C ve daha yukarı olduğu zaman eriyebilirlik çok azalır. Çünkü aşırı ısıtmadan dolayı partikül yüzeylerinde oluşan yanık-çatlak serbest yağ içeriği artışına neden olur. Bu da eriyebilirliği güçleştirir. İki veya üç safhalı kurutma yöntemlerinde hava çıkış sıcaklıkları 75, 80 veya 85 °C gibi düşük derecelerde olur.

Süttozu yüksek çıkış sıcaklığında kurutulduğunda atomizör hızı artırırsa eriyebilirlik önemli oranda yükselmektedir. Bunun nedeni kuruma süresinin kısılmasıdır.

Yanmış partiküller: Bu durum üretim sırasında süt kurumaddesinin aşırı ısıtılmasından ve yanmasından kaynaklanır. Bunun en önemli nedeni kurutma odasındaki, atomizör veya hava dağıtıcısındaki kalıntılardır. Bu kalıntılar yanarak kömür haline gelecek, ardından ürünle karışıp toz kitlesi içinde koyu benekler şeklinde görülecektir. Yanma olayı seyrek olmakla beraber evaporatörlerde de olabilir, o zaman da konsantratta karamelizasyon ortaya çıkar. Yanmış partiküllerin diğer bir nedeni kurutma havasının yetersiz filtrasyonu ve filtrelerin gereği gibi temizlenmemesidir. Böylelikle kirlilik unsurları hava ile birlikte ısınıp yanarak ürüne dahil olur.

Toz yoğunluğu: Elde edilen tozların kütle yoğunluğu en çok atomizöre giren konsantratin kurumadde düzeyinden etkilenir, toplam kurumaddenin artışı ile artar. Yoğunluğun hassas olduğu konsantrasyon artışını kontrol altında tutabilmek için evaporatörde kurumadde kontrolü için otomatik kontrol sistemleri bulunmalıdır.

Kurutma havasının sıcaklığı ise yoğunluğu önemsiz derecede etkiler ve hava sıcaklığının artması ile yoğunluk azalır. Partikül büyüklüğünün de yoğunluk üzerine olan etkisi önemsiz denecek düzeydedir.

Fakat doğal olarak instantizing işleminin önemli bir parçası olan aglomerasyon (topaklaşma) yoğunluğu etkileyen önemli bir faktördür. Aşırı topaklaşma tozun yoğunluğunu hayli düşürmektedir. Öyle ki, önceleri instant tozların yoğunluğu aglomerasyon derecesini belirtmede kullanılırdı.

Nozzle (meme basınçlı) tozlar, disk (santrifüj) atomizör tozlarından daha az hava bulundurlur. Bu bir avantaj gibi görünse de beraber, disk atomizörlere de daha yüksek kurumadde konsantrasyonu verme imkanı bulunmaktadır. Santrifüj atomizörlerde tozdaki hava miktarını azaltmak için "Steam swept atomizer" (=buhar süpürmeli atomizör) kullanılabilir. Burada disk içindeki ürüne buhar verilir ve partikül içine hava yerine buharın girmesi sağlanır. Hemen ardından buharın yoğunlaşması çok ani olur ve partiküller kuruyarak daha çok kurumadde oluşturur. Örneğin yağsız süttozunda sıkıştırılmış yoğunluk genellikle 0,58-0,60 g/cm³ tür, buhar atomizasyonunda ise % 20 artarak 0,70-0,72 g/cm³ olur.

6.5. Süttozlarının Bakteriyolojik Kalitesi

Süttozlarında bakteri popülasyonunun en alt düzeyde olması gerekir. Bakteriyolojik kalitesi iyi olmayan bir süttozunun mama ve dondurma üretiminde kullanılması sakıncalıdır. Böyle süttozu rekonstitüe edilecek olursa süttozu içindeki mikroorganizmalar çok çabuk çoğalabileceklerdir. Eğer kaliteli bir hammadde kuvvetli ve doğru bir temizleme işleme tabii tutulacak olursa tozun 1 g'ında 1.000'den az bakteri olacaktır, ki bunlar da büyük ölçüde sporlu bakteridir.

A.D.M.I.'nin ekstra kalitedeki yağlı ve yağsız süttozları için önerdiği maksimum toplam bakteri sayısı 30.000 adet/g'dır. Bakteri içeriği (standart plate count) her bir gram toz içinde toplam mikroorganizmaların sayısını belirlemek amacıyla yapılır ve A.D.M.I.'nin belirlediği yöntem kullanılır. Patojenlerin kesinlikle olmadığına dair kontrolün titizlikle yapılması gerekir. Süttozlarının rekonstitüsyonu düşünülerek aerobik ve anaerobik spor oluşturan bakterilerin sayılarının sınırı tutulması önemlidir.

Sprey yöntemiyle üretilen süttozlarında mikroflorayı ısıya dayanıklı mikroorganizmalar oluşturmaktadır. Bu mikroorganizmaların önemli grupları aşağıdadır:

- Isıya dayanıklı mikrokoklar,
- Isıya dayanıklı streptokoklar (Örn. *Str.thermophilus*, *Str.bovis*, *Str.faecalis* ve *Str.liquefaciens*),
- *Corynebacterie*'ler,
- Bazı spor yapan bakteriler (*B.subtilis* ve *B.licheniformis* gibi aerob spor yapan türler),
- Çeşitli kontaminantlar; bunlar kurutmadan sonraki yetersiz hijyenik durumlarda ortaya çıkabilen ve ısıya dayanıksız *Escherichia-Aerobacter* gruplarıdır, hijyenik çalışmada tam olarak yok edilebilirler.

Çiğ sütün bakteri popülasyonu (özellikle ısıya dayanıklı mikroorganizma sayısı) ile süttozunun mikrobiyolojik kalitesi arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Sütteki termofilik ve termodurik mikroorganizma sayısının yüksekliği tozun kalitesini de olumsuz yönde etkilemektedir. Süttozları mama üretiminde yoğun olarak kullanıldığından tozun, patojen bakterilerden tamamen arınmış olması gerekir. Bu nedenle kurutma öncesi süte uygulanacak olan ısı işleminin seviyesi özenle belirlenmelidir.

7. Süttozlarının Besin Değeri ve Kullanımı

Uygulanan ısı işlemler nedeniyle B₁₂ vitaminindeki bazı kayıplar dışında, süttozunun besleyici değeri pastörize süte eşittir. Bunun yanında konserve edilen sültere (şekerli ve şekerli koyulaştırılmış süt ve sterilize süt gb.) göre ise daha fazladır. Sprey yöntemiyle kurutulan süttozu, silindir tozlara göre daha besleyicidir. Bu fark silindir kurutmada termik yüklemenin fazla olmasıyla daha da artar. Üretim sırasında termik işlemin uzaması ve fazla ısıda vitamin kaybına ve aminoasit denatürasyonu ile proteinlerin besleyici değerinin azalmasına neden olur.

Süt yağ, laktoz, A- ve D vitaminleri işleme sırasında etkilenmezler. Ancak suda eriyen vitaminler kayba uğrayabilir. Askorbik asit (vitamin C) kaybı pastörize sülteki gibi sprey tozlarda % 20 iken, silindir yönteminde % 30'a çıkmaktadır. Işığın vitamin C kaybı üzerine olan etkisi ise diğer ürünlerdeki kadardır. Vitamin B kompleksleri, Riboflavin (Vitamin B₂), Pantotenik asit, Nikotinik asit (Niasin), Biotin (Vitamin H) ışıktan etkilenmemektedirler. Buna karşın askorbik asitle riboflavin birlikte ışıktan bozulur. Özellikle şekerli koyulaştırılmış sülte vitamin B₁₂ kayıpları yüksektir. Tiamin (Vitamin B₁) kayıpları sprey tozlarda, pastörize sülteki gibi % 10'dur, ancak silindir tozlarda % 20-30'dur. B grubu vitaminlerden vitamin B₁₂ kayıpları kuşkusuz beslenme bakımından önemlidir, fakat kurutmadaki bu kayıplar pastörize sülten çok fazla değildir.

Yağlı süttozlarında yağın oksidasyonu ile ortaya çıkabilecek kötü aroma, süttozlarının besin değerini olumsuz etkilemektedir. Yüksek sıcaklıkta dn ısıtma ve antioksidan madde ilavesi süttozu stabilitesini artırmakta ve özellikle sıcak iklimlerde süttozları vitamin A, vitamin C ve proteinlerin biyolojik değerinde kayıp olmadan 12 ay korunabilmektedir. Bu konuda birçok ülkede yağlı süttozlarını azot gazı altında ambalajlanması zorunludur.

Yüksek nem içeriğinde tozlarda protein-laktoz reaksiyonları kaçınılmazdır. Bu nedenle laktoz ve lipin kayıpları görülmektedir.

Koyulaştırılmış ürünlerde, yağsız süttozlarında protein, riboflavin ve mineral maddeler gibi bazı besin maddeleri daha konsantre hale geldiğinden besleyici değeri normal süte göre yüksektir. Bunun yanında bu ürünler uzun süre muhafaza edilebildiğinden uluslararası beslenme ticaretinde ve yardımlarında yer almaktadır. Bazı ülkelerde anne sütü ile beslenemeyen süt çocuklarının beslenmesinde süttozu ideal bir gıdadır. Süttozu süt haline dönüştürüldüğünde (rekonstitüe sül) bakteriyolojik kalitesi, normal içme sülünden daha iyidir. Süt çocukları için bir çok besinler normal bileşimli sülten yararlanarak hazırlanır. Eksikliği tamamlamak için rekonstitüe sülte Fe ve vitamin D ilavesi yapılabilir.

Süttozlarının rekonstitüsyon ve/veya rekombinasyonu ile tüm süt ürünlerini ikinci dereceden tekrar üretmek mümkündür. Süt hayvancılığı ve sanayisi gelişmemiş veya değişik tür süt hayvancılığının öne çıktığı ülkelerde rekombinasyon önemlidir. Örneğin manda sülünün fazlaca üretildiği Hindistan'da yağsız manda süttozları elde edilmekte ve beslenme açığı çeken kesimler için tüketilmektedir.

Bir rekombine süt çeşidi olan zenginleştirilmiş süt, yağsız süttozu ve bitkisel bir yağ çeşidi ile hazırlanmaktadır. Bu içme sütü Doğu Asya lkelerinde fazlaca tüketilmektedir.

Süttozunun en çok kullanıldığı alanlardan biri de dondurma teknolojisidir. Ancak bu üründe kullanılan sttozlarınn yüksek bakteriyolojik kaliteye ve bozulmamış bir aromaya sahip olması gerekir.

Yine peynir üretiminde de süttozlarından yararlanılmaktadır. Bu alanda tozlar ya peynir sütüne kısmen ilave edilerek veya rekombine peynir üretiminde substrat madde olarak kullanılır. Ancak bu tozların düşük ısı uygulamalı toz olması gerekir.

Süttozları bunların dışında gıda sanayinin çeşitli dallarında, örneğin çorbalarda, margarinerde, soslerde, pastacılık ve çikolata sanayinde, katkı maddesi olarak kullanılır. Pastacılık alanında silindir süttozları tercih edilmektedir. Malt, kakao veya yumurta ilavesi ile üretilen süt kkonl içecek üretimlerinde de süttozlarından yararlanır.

Ekmekçilikte una % 6 oranında süttozu ilavesi, ekmeğin hem besleyici değerini artırır, hem de bayatlamayı geciktirir. Örneğin ekmekteki proteinin biyolojik değerliliği artarken, Ca oranı da dört kat yükselir. Ekmek retiminde kullanılan tozun yüksek ısı uygulamalı toz niteliğine sahip olması gerekir.

Yine hayvan beslemede, rasyon hazırlamada yağsız süttozlarından yararlanılmaktadır.

3. Diğer Kurutulmuş Süt Ürünleri

3.1. Peyniraltı Suyu Tozu

Peynir ve kazein üretiminin yan ürünü olan peyniraltı suyu (pas), hayvan yemi ya da gübre olarak geleneksel biçimde çiftçilere geri dönmüştür. Günümüzde büyük peynir işletmeleri oldukça yaygındır ve dünya peynir üretimi hızla yükselmektedir. Pas'ın geleneksel tarzda kullanımı ekonomik değildir. Endüstriyel olarak ise pas, daha karlı olması için konsantre edilmekte ve kurutulmaktadır. Kurutulmuş geleneksel pas ürünlerine ilaveten Şekil 3.1'de görüldüğü gibi pas'dan üretilen diğer toz ürünler de vardır.

Pas'ın toz haline dönüştürülmesinin en önemli avantajı çevre kirliliği oluşturan atık şeklinde kalmamasıdır. Bunun yanısıra pahalı ekipmana ihtiyaç duyması ve çok fazla enerji tüketimi gibi dezavantajları da vardır. Pas'ın toz haline getirilmesi geniş işleme kapasitesi gerektirmektedir, fakat son ürünün fiyatı diğer kurutulmuş ya da konsantre edilmiş ürünlerle (örneğin serum protein konsantratlari gibi) karşılaştırıldığında daha düşüktür.

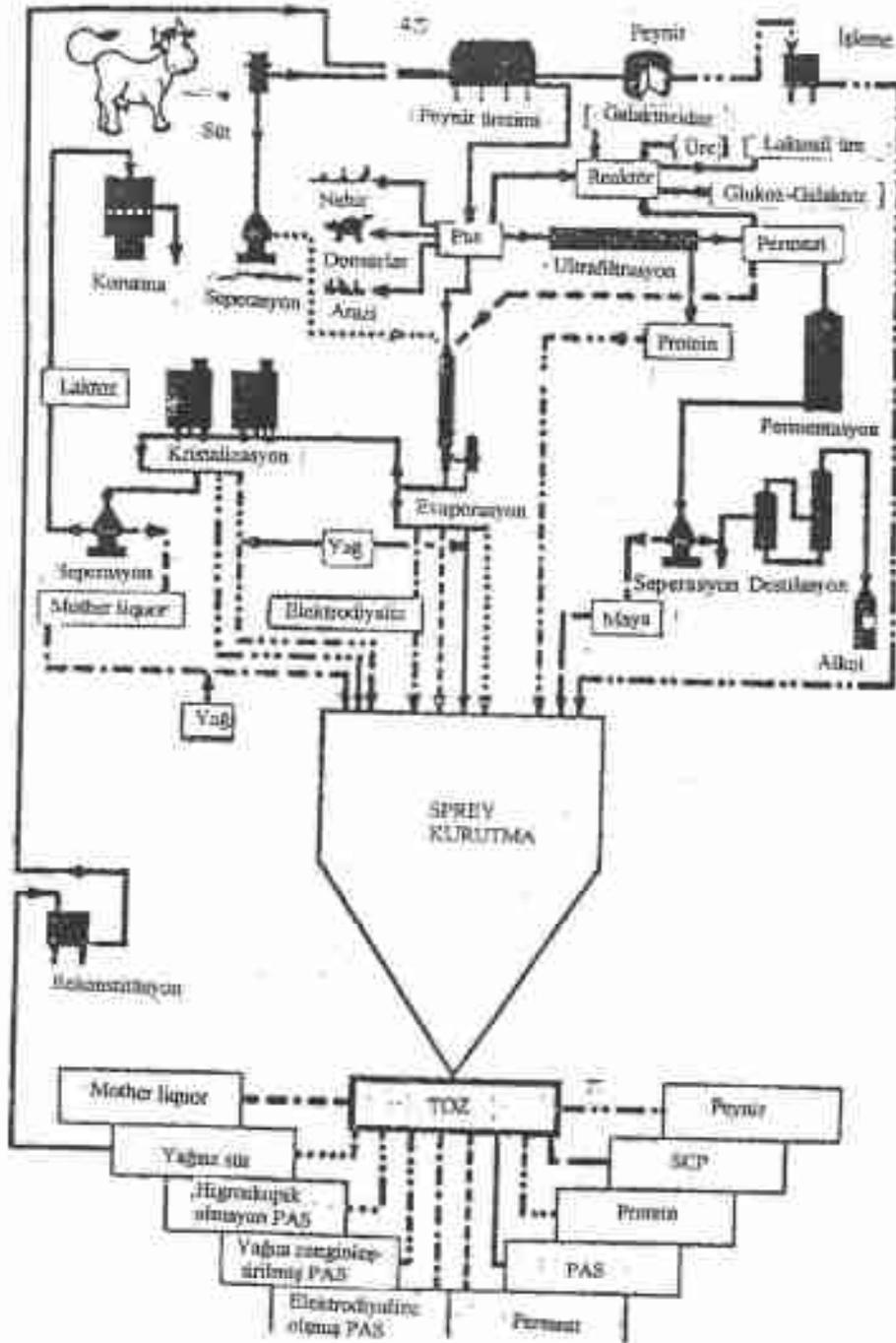
Pas değişik tekniklerle toz haline dönüştürülebilmekte ve uygulanan teknoloji ile ürün kalitesi değişebilmektedir (Şekil 3.2). Örneğin aşağıda değişik işleme prosedürleri kekdeğme özelliklerini (% 0-100), laktoz kristalizasyon oranını (% 0-95), serbest su içeriğini (% 1-4) vb. etkilemektedir. Kristallerin sayısı ve boyut dağılımı kadar laktoz kristalizasyonunun derecesi de yığın özelliklerini belirler.

İşlem a'da (Şekil 3.2.) higroskopik ürün elde edilmesine ek olarak, pas'ın % 45 kurumadde seviyesine kadar evaporasyonu sadece evaporatörlerde gerçekleştirildiğinden enerji kullanımı fazladır.

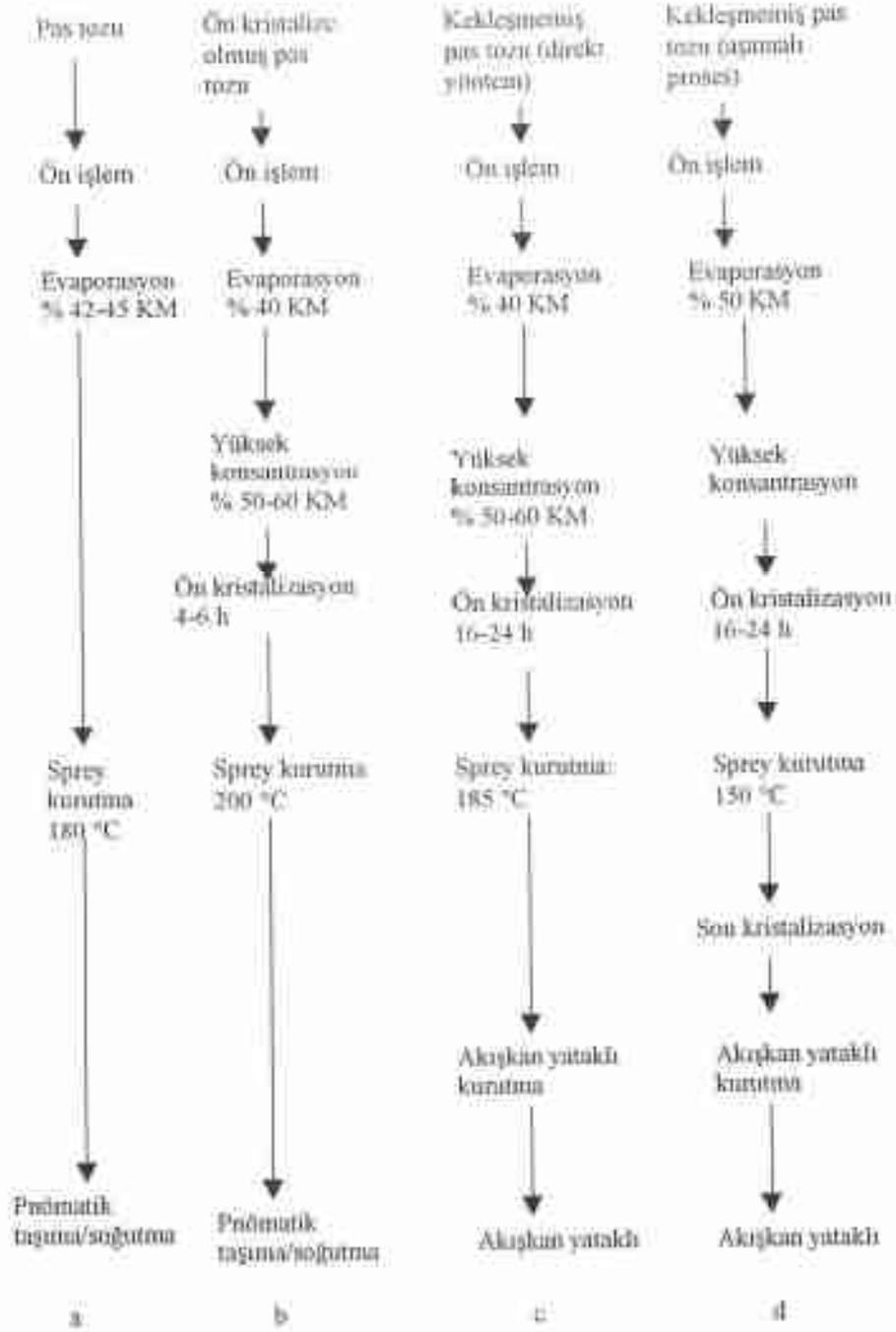
Evaporasyon ve kurutma işlemi arasında laktoz kristalizasyonu uygulanarak (işlem b) toz kalitesi ve proses ekonomisi düzeltilmektedir. Kristalizasyon flash soğutucularda ya da özellikle vakum soğutucularda başlamakta ve kristalizasyon tankında tankın dolumu ve boşaltılması sırasında sabit çalkalama ile 4-24 saat sürmektedir. Kristalizasyon çekirdeklerinin oluşması için % 0,1 oranında sprey α -laktozmonohidrat veya % 8,2 oranında kristalize pas tozu ilave edilir. Flash soğutucuda çabuk soğutma 30°C'lik bir sıcaklıkta β -laktozun α forma dönüşmesi için gerçekleştirilir. Kristalizasyon tankında yapılan soğutma ise 3°C/h'lik bir hızla 10°C'ye kadar yapılır. b, c ve d işlemleri sırasında (Şekil 3.2.) laktoz sırasıyla % 50-75, % 75-85 ve % 85-95 arasında kristalize olur.

İşlem c (100-500 μ m) ve d (3000 μ m'ye kadar)'de aglomera olmuş büyük partiküllerden oluşmaktadır. Bunlar çok fazla serbest akış karakteristiklerine sahiptir ve higroskopik değildir. Bu yöntemle üretilmiş pas tozu gıda işlemede oldukça fazla kullanılmaktadır.

Dört prosesin hepsinde de evaporasyondan önce enerjiden tasarruf amacıyla pas'ın kısmen konsantre edilmesinde (% 25 kurumadde içeriğine kadar) hiperfiltrasyon uygulanabilmektedir.



Şekil 8.1: Pas'dan elde edilen tuz ürünler (A/S Niro Atomerör), SCP: Tek hücre protein)



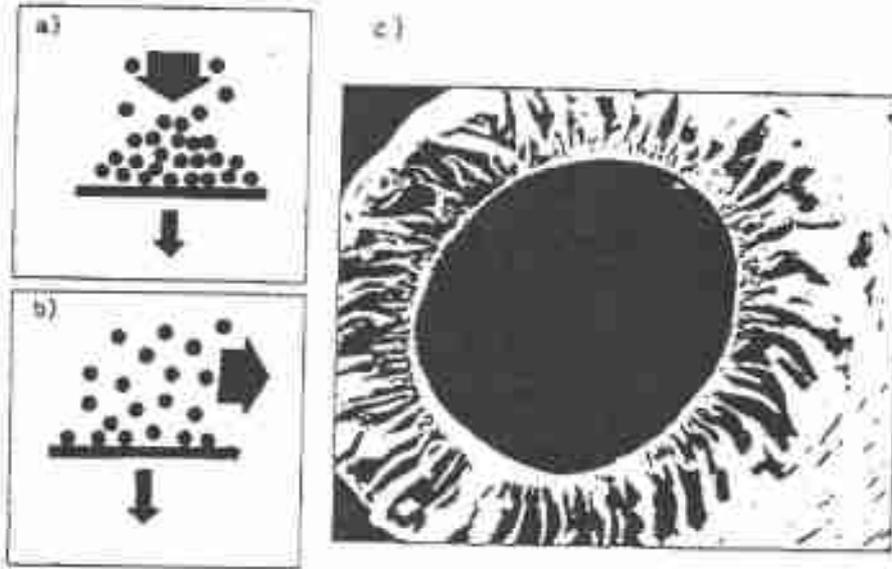
Şekil B.2. PAK'ın spray yöntemi ile kurutulmasında dört farklı proses.

3.2. Serum Proteinleri Konsantraları

Pas proteinlerine olan ilgi iki nedenden ötürü önemlidir. Burdardan birincisi dünya çapında yüksek kaliteli hayvansal proteinlerin eksikliğidir. Diğer ise pas'ın kullanımındaki problemdir. Peynir üretiminin yan ürünü olan pas, yüksek Biyolojik Oksijen Değeri (BOD) nedeniyle çevre kirliliğine neden olan bir faktör olarak görülmekte, dolayısıyla kanala dökülmeleri yerine işlenmeleri tercih edilmektedir.

Evaporasyon ve kurutma gibi geleneksel metotların yanısıra, serum proteinleri konsantralarının (WPC) üretimine uygun olan birçok endüstriyel metot vardır. Bunlara örnek olarak ultrafiltrasyon (UF), mikrofiltrasyon, hiperfiltrasyon ve demineralizasyon (elektrodializ, iyon değiştirmeler gibi) verilebilir. Süt endüstrisinde en yaygın kullanıma sahip membran metodu UF'dir. UF'nin endüstriyel düzeyde uygulanması asimetrik membranların bulunuşu ile artmıştır (Şekil 8.3).

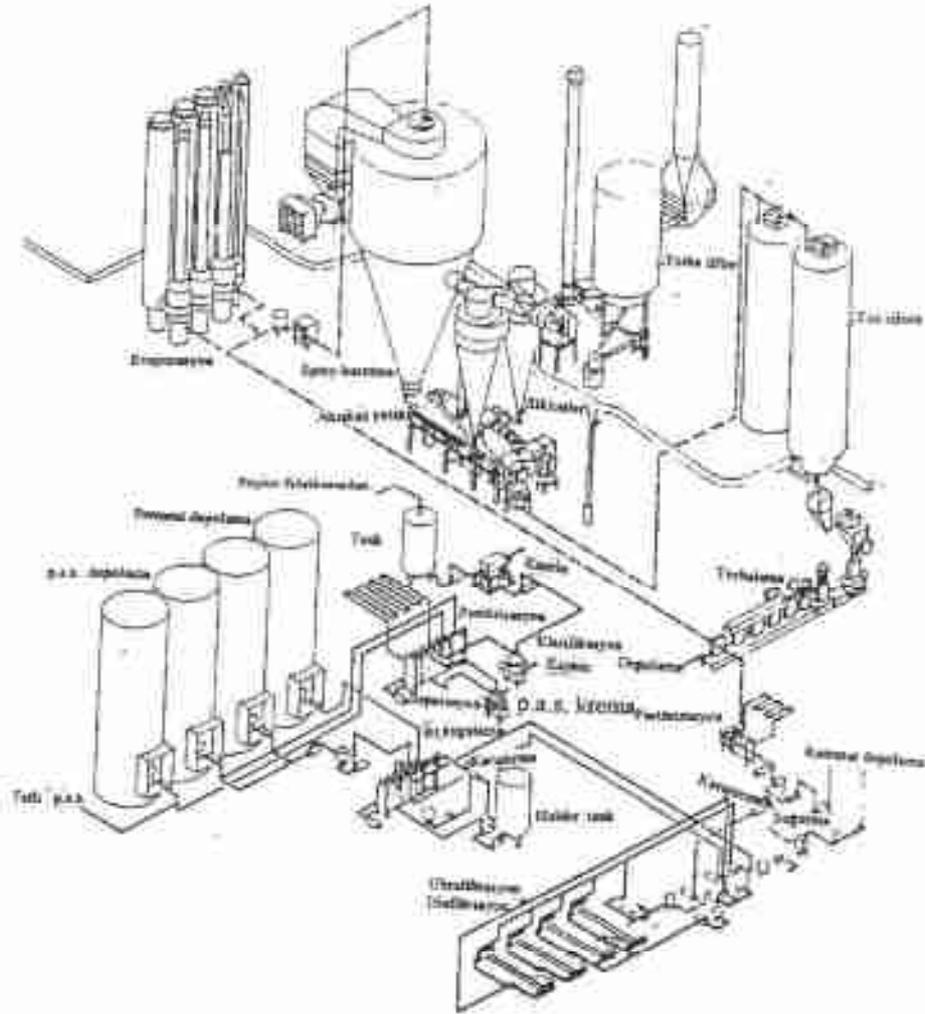
Pas'ın UF'si sırasında laktoz, mineraller, protein olmayan azot ve vitaminler gibi düşük moleköl ağırlıklı bileşimler, permeat olarak ayrılmakta, proteinler ise retentatta konsantre halde tutulmaktadır. Elde edilen WPC konsantratının toplam kurumaddesi içinde % 20-60 protein, çok az miktarda da laktoz ve mineral madde bulunmaktadır. Bu işlemde yan ürün olan permeat ise, laktoz, alkol, tek hücre proteini, maya, galaktoz, glukoz, hayvan besitli ve çeşitli eczacılık ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 8.3. Dikay akışlı (a) ve yatay akışlı (b) ultrafiltrasyon. c: Fiberden asimetrik membranın kesit görünüşü

UF teknolojisi diafiltrasyon işlemi ile kombine edildiğinde WPC ürününde % 98'e kadar protein içeriği sağlanabilmektedir. Prosesle diafiltrasyona geçiş için en uygun zaman, yüzde toplam kurumaddenin yüksek düzeye ulaştığı andır. Toplam kurumaddenin bu seviyesi, ilave edilecek su miktarını en az düzeyde tutmak için diafiltrasyon sırasında sabit tutulmalıdır. Toplam kurumadde içinde % 80 protein içeriği sağlamak için ulaşılmaması gereken en son seviye yaklaşık % 20-25'tir. WPC üretim şeması Şekil 8.4. de gösterilmiştir.

Tatlı pas önce klarifiye edilir (kazein partiküllerinin ayrılması, yağ seperasyonu ve pastörizasyon). Pastörizasyondan sonra pas, UF sıcaklığı olan 50 °C'ye soğutulmadan önce 60-65 °C'de 30-60 dak. bekletilir. Bu ısıtma ve bekletme işlemi kalsiyum fosfat kompleksinin stabilizasyonunu sağlamak ve böylece UF sırasında membranların kirlenmesini önlemek amacıyla yapılmaktadır. Serum protein konsantrasyonundaki (WPC) mineral içeriğinin, iherki redüksiyonu pas'ın asitliği HCl ile 5,7-6,0 pH'ya ayarlanarak başlatılmaktadır. UF'den sonra da renatant pastörize ve evapore edilmekte daha sonra da kurutulmaktadır. Şekil 8.4'de evaporasyon prosese dahil olsa da en iyi çözüm ürünü direkt olarak kurutmaktır. Protein içeriğine bağlı olarak UF sırasında toplam kurumadde % 22-25'den % 44'e çıkarılabilmekte ve WPC, UF düzeninden sonra kurutucuya alınmaktadır. Bu işlem, yüksek protein içerikli ürünün iyi kalitede olmasını sağlamaktadır. Protein denatürasyonundan kaçınmak için süttezu üretiminde kullanılan sıcaklık seviyesinden daha düşük olanlar tercih edilmelidir. Hava giriş sıcaklığı 160-180°C ve çıkış sıcaklığı 80°C'den az olmalıdır.



Şekil 8.4. Tatlı sığır'dan WPC üretimi için proses planı

8.3. Kazein Ürünleri

8.3.1. Kazein

Kazein en temel süt proteinidir. Küçük protein yapısında olmalarına karşın misel yapılarında fosfor, kalsiyum ve sitrat içermektedirler.

Sütün ilk pH değeri 6,6'dan aşağılara indikçe kazein koloidal dispersibilitesini ve stabilitesini kaybetmeye ve 5,3 pH'da presipite olmaya başlamaktadır. Maksimum presipitasyon kazeinin izoelektrik noktası 4,8 pH'da görülür. Kazein ayrıca proteolitik enzimlerle de presipite hale getirilir. Ticari değeri olan kazein çeşitleri aşağıdaki gibidir;

1. Hidroklorik, sülfürik ya da laktik asit gibi asitlerle sütün presipitasyonu sonucu elde edilen asit kazein,
2. Rennin ile pıhtılaşma sonucu elde edilen taze kazein,
3. Sütün aynı anda proteolitik enzimler ve asitle muamele edilmesi ile üretilen düşük viskoziteli kazein.

Ticari kazein ve kazeinat ürünlerinin üretim akım şeması aşağıda Şekil 8.5'de görülmektedir.

Yağsız sütle kazeinin presipitasyonu, sütün pH değerinin hidroklorik, sülfürik ya da laktik asitle düşürülmesi ile başlamaktadır. Yağsız sütün direkt presipitasyonu ile sağlanan koagulumun (pıhtı) yapısı presipitasyon sıcaklığına, karışımın yoğunluğuna ve pıhtının son pH değerine bağlıdır. En iyi sonuçlar 30-35 °C'deki sütün akışına karşı yönde döne edilmiş asit solüsyonunun (1,3-1,4 N'lik HCl gibi) atomizasyonu ile sağlanmaktadır.

Daha sonraki aşamada karışımın sıcaklığını koagülasyonun oluşacağı sıcaklığa (40-45 °C) hızla çıkarmak için karışımın buhar enjekte edilir. Karışım, koagülasyonun olduğu eğimli boru içine yönlendirilir.

Yağsız süt ayrıca iki bölümden oluşan plakalı ısı değiştiricide de pıhtılaştırılabilir. İlk bölümde 50 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra içerisine asit enjekte edilir. Asitlendirilmiş yağsız süt daha sonra plakalı ısı değiştiricinin diğer bölümünde sıcak su ile 45 °C'ye ısıtılmaktadır. Randıman % 99 gibi yüksek bir değere ulaşabilir.

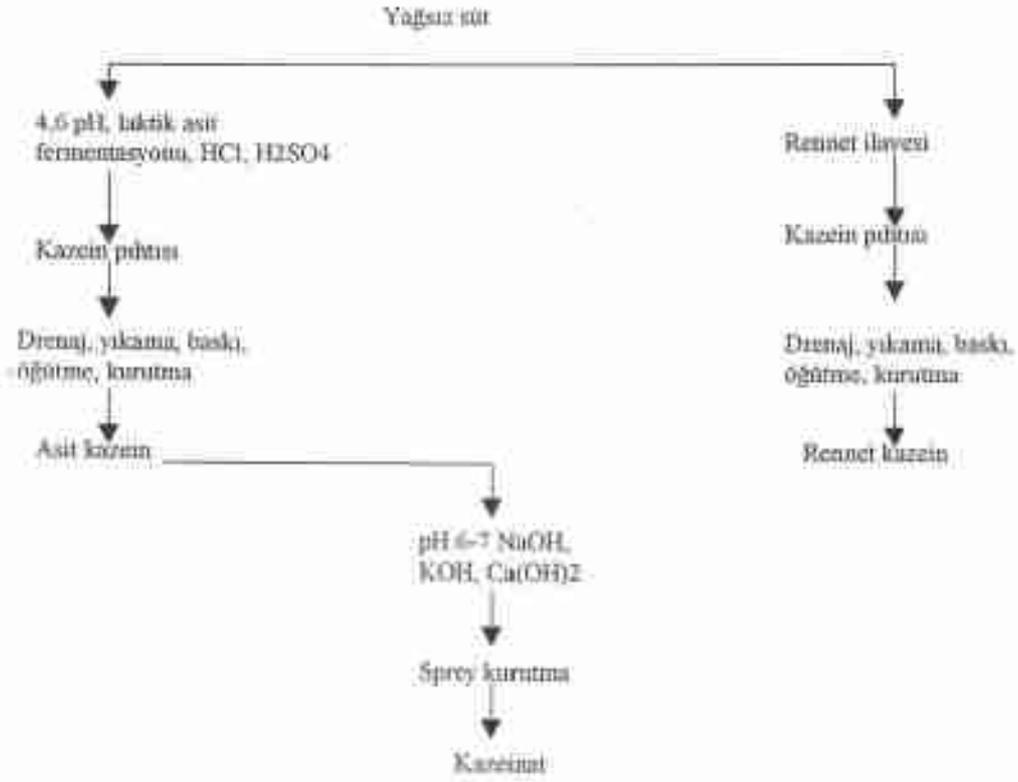
Kullanılan asidin tipi ne olursa olsun uygulanan prosedür aynıdır. En çok kullanılan asitler HCl ve H₂SO₄ 'dir. Kullanılacak asidin seçimi ekonomik faktörlere bağlıdır. Hidroklorik asit daha ucuz ve kolay bulunabilir olması nedeniyle tercih edilmektedir. Kazeinin ekonomik ve yüksek kalitede üretimi ise pıhtılaştırma da laktik asidin kullanımına bağlıdır. Laktik asit laktozun fermentasyonu ile ekonomik biçimde üretilmektedir. Örneğin Yeni Zelanda'da bütün asit kazeinler bu metotta Str. lactis ve/veya Str. cremoris kültürü kullanılarak üretilmektedir.

Başlangıçta üretim prosesi peynir teknelerinde gerçekleştirilmekteydi. Bu yöntemde göre süt, laktik asit bakterilerini içeren kaseik starter kültürle 25-27 °C sıcaklıkta % 1,5 oranında inoküle edilir, yağsız sütün pıhtılaşması 16-18 h içinde tamamlanır, koagulumun sıcaklığı daha sonra buhar enjeksiyonu ile 50-60 °C'ye çıkarılır ve peynir bıçakları ile kesilerek pıhtı, sinerezi kolaylaştırmak amacıyla son sıcaklığa ulaşmaya kadar karıştırılır. Daha sonra da serum uzaklaştırılarak pıhtı suyla yıkanır.

1963 yılında Muller ve Hayes kağıt endüstrisinde kullanılan düşük viskoziteli kazein üretimi için değişik bir proses geliştirmişlerdir. Kazein üretiminde olduğu gibi bu ürün de, sütün enzimatik koagülasyonu ile üretilir.

Asit kazein solüsyonunun viskozitesi 2 Pa.s 'dir. Halbuki enzimatik olarak üretilen kazeinin % 15'lik solüsyonu 0,3 - 0,4 Pa.s viskoziteye sahiptir. Sürekli üretim prosedüründe, yağsız süt hacminin % 40'ı pepsin ile işlem görmektedir ve

đaha sonra kalan yağsız sđtle kağırlanmaktadır. Kağırma asit enjeksiyonundan sonra pıhtı olmaktadır.



Şekil 8.5. Ticari kazein ve kazeinat ürünlerinin üretim akım şeması

Pıhtılaşma tamamlandıktan sonra serumun mümkün olduğunca kısa sürede pıhtıdan ayrılması önemlidir. Bu işlem serumun holder tanktan dekantöre boşaltılması ile gerçekleştirilmektedir.

Serumu ayrılmış olan presipite kazeinden, pıhtıda kalan asitleri, tuzları, serum proteinlerini ve laktozu ayırmak için yıkama yapılır. Pıhtı en azından 3 kez yıkanmalıdır. Her bir yıkama son üründeki laktoz içeriğinin en aza indirilmesini sağlamak için 15-20 dak. sürmelidir. Karşı yöndeki akış düzeninde yıkama suyunun hacmi, paralel akışta kullanılan yıkama suyu hacminin yaklaşık 1,5 katıdır. Yıkanan pıhtının kurumadde içeriği yaklaşık % 45'dir.

Sürekli yıkama prosesinde pıhtı birçok tanktan oluşan sete doğru hareket etmektedir. Pıhtıyı yıkama suyundan ayırmak için her bir tankın üstü düşeyle 60° eğim yapmış olan ve birbirine geçmiş 90 elekle donatılmıştır.

Yıkama sırasında arzulanan pıhtı karakteristiklerini korumak için, yıkama suyunun pH değerini kazeinin izoelektrik noktası olan 4,6 pH'ya getirmek önemlidir. Eğer suyun pH'ı 4,5'den düşükse pıhtı partikül yüzeyinde jel tabakası oluşabilmekte ve bu tabaka yıkamayı engelleyebilmektedir. Kazeinin otomatize şekilde serumundan ayrılması ise santrifüj yardımıyla gerçekleştirilir.

Pıhtının kurutulmasından önce üniform boyutlu partikül elde etmek için pıhtı öğütülür. Öğütülen partiküller tamamen kurutulurken kavranılmaları gerekir. Diğer toz ürünlerin kurutulmasında kullanılan titreşimli akışkan yatak kazeinin kurutulmasında da sıklıkla kullanılır.

Son zamanlarda "aşındırma" (attrition) olarak adlandırılan kurutma sistemi geliştirilmiştir. Kurutucu, rotor (döner) ve stator içermektedir. Bu proses sırasında pıhtı, kurutucu içinde sıcak hava sirkülasyonuna maruz kaldığı için kurutma çok hızlı gerçekleşecek ve öğütme işlemi tamamlanacaktır. Elde edilen düzensiz şekildedeki toz partikülleri suda kolayca disperse olmaktadır.

Yumuşatma işleminin amacı kazeini soğutmak ve nemi kazein içine dağıtmaktır. Düzenli olmayan nem dağılımına sahip olan sıcak kazein plastik haldedir ve öğütülmesi güç olmaktadır.

Öğütme işlemi kazein partiküllerinin üniform dağılımını sağlamaktadır. Partiküller 300-600 µm çapındadır. Aşındırma (attrition) kurutma ile sağlanan partiküller oldukça küçüktür (150 µm çapında).

Öğütülen kazein partikülleri, farklı delik çaplarına sahip eleklerde boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Kazein tozu sültözünün ambalajlanmasında kullanılan torbalarda ambalajlanır.

Ticari kazein ve kazein ürünlerinin yaklaşık bileşimi Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Ticari kazein ve kazeinat ürünlerinin ortalama bileşimi, %

Bileşenler %	Co-precipitate	Sodyum kazeinat	Kalsiyum kazeinat	Asit kazein	Rennet kazein
Protein	> 94,0	> 93,5	> 95,0	> 89,0	> 89-94
Kül	< 4,0	< 4,5	< 2,0	< 7,5	< 4,5
Sodyum	1,3	0,65	0,1	0,02	-
Kalsiyum	0,1	1,5	0,08	3,0	-
Fosfor	0,8	0,8	0,9	1,5	-
Laktoz	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-	< 1,5
Yağ	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Nem	< 4,0	< 4,0	< 10,0	< 12,0	< 5,0
pH-değeri	6,6	6,8	-	7,0	6,8

Kazein kağıt endüstrisi, suya dayanıklı boya üretimi, yapışkan üretimi, gıda endüstrisi, plastik üretimi, kazein lifinin üretilmesi, deri endüstrisi, hayvan yemi üretimi gibi birçok endüstrilerde kullanılmaktadır.

Kazein elektriksel olarak yüklü proteinler içerir. Yüklü polipeptit zincirinin polar kısımlarında oluşmaktadır. Bu durum, kazeinlerin ortamın pH-değerine bağlı olarak asitlerle, ya da hidroksitlerle reaksiyona girme yeteneğini oluşturur. Kazeinin çeşitli metal iyonlarla reaksiyona girmesiyle sodyum kazeinat, kalsiyum kazeinat gibi kazeinatlar elde edilir.

Sodyum kazeinat, yıkanmış asit kazeinin başlangıç materyali olarak kullanıldığı sürekli prosesle üretilmektedir. Sodyum kazeinatın üretiminde, çiğ kazeine ek olarak toz haldeki asit kazein de ham materyal olarak uygundur. Kullanılan materyal ne olursa olsun sodyum kazeinat üretimi kazein süspansiyonunun oluşması, sodyum hidroksit kullanılarak kazeinin çözündürülmesi ve üretilen sodyum kazeinatın kurutulması işlemlerini içermektedir (Şekil 8.5.). Çiğ asit kazein sürekli çalışan miller yardımıyla öğütülmekte ve sonradan sıcak su tankında bekletilmektedir.

Sodyum hidroksit çözeltisi karıştırma altında enjekte edilirken, kazein süspansiyonu holder tanktan diğer bir tanka pompalanmaktadır. Kazeinat solüsyonunun kurumadde oranını % 20-22 altında tutabilmek için su ilave edilmektedir. Sprey kurutma yönteminde kullanılacak solüsyonun toplam kurumadde içeriği % 25-31'dir ve bu oran sütte göre düşüktür (sütte % 45-55 arasındadır). Sodyum kazeinat solüsyonunun düşük viskoziteli olmasını sağlamak için kabul edilen düşük kurumadde içeriği üretim maliyetini artırmaktadır. Sodyum kazeinat solüsyonlarının viskozitesi toplam kurumadde konsantrasyonunun logaritmik fonksiyonudur. Kurumadde konsantrasyonunu maksimuma çıkarmak için nispeten yüksek solubilizasyon (eriyebilirlik) sıcaklığı (90-95°C) uygulanmaktadır. Viskozite 6,8-7,0 pH sınırları arasında en düşüktür. Çiğ asit kazein tamamen laktozdan arındırılmış olmalıdır. Aksi halde üründe renk değişimine neden olan Maillard reaksiyonunun olması mümkündür.

Homojenize sodyum kazeinat solüsyonu genellikle sprey kurutucuda sıcak hava akımı içine püskürtülerek kurutulur. Seyrek olmakla beraber sodyum kazeinatın silindirik kurutma yöntemiyle de kurutulduğu görülmektedir. Sprey kurutma için ayrılan solüsyonun toplam kurumadde içeriği % 20'den % 22'ye kadar değişmekte ve maksimum % 25 olması istenmektedir. İzin verilen en yüksek kazeinat konsantrasyonu her bir sprey kurutucu için deneysel olarak belirlenmiştir.

Ticari olarak üretilen sodyum kazeinat gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Sodyum kazeinat içeren gıdalara örnek olarak, çeşitli soslar türleri, hemen hazırlanabilen ete ve süte dayalı kahvaltılı amaçlı ürünler, modifiye süt, köpüklendirilmiş krema, kahve beyazlatıcıları, dondurma, tatlılar, soslar, çorbalar, kazeinli ekmekek, hamurlar, krakerler, bisküviler, diyetik ürünler ve proteince zenginleştirilmiş ürünler verilebilir. Sodyum kazeinatın gıdalarda ingredient olarak kullanımı onun fonksiyonel özellikleri ve besleyici değerine dayanır.

8.3.2. Coprecipitate

Coprecipitate üretiminde yağsız süte yüksek derecelerde sıcaklık uygulanarak serum proteinlerinden β -lactoglobulin ile α -kazein arasındaki interakisyona neden olunmaktadır. Isı ile oluşturulan α -kazein x β -lactoglobulin kompleksi daha sonra asit, CaCl_2 gibi diğer kimyasal maddeler veya her ikisinin birlikte kullanımı ile copresipite (birlikte çöktürme) edilmektedir. Böylece diğer süt proteinleri de kazein/lactoglobulin kompleksi ile birlikte çökmektedir. Coprecipitate'ler 1950'lerde patent almış ve 1970'li yıllarda popüler olmuştur. Coprecipitate'ler süttür içeren aminoasitlerle zengin olan serum proteinlerini içerdikleri için kazein ve kazein bileşiklerinden daha avantajlıdır. Bu özellik coprecipitate'lerin biyolojik değerine katkıda bulunur. Ayrıca bu ürünün prosesi süt proteinlerinin geri kazanımını artırır.

Coprecipitate'leri üretmek için yağsız süt ön ısıtmaya tabi tutulmakta ve ikinci aşamada 80 °C'ye gelme süt içine buhar enjeksiyonu ile sağlanır. Tatlı karışım sağlamak için CaCl_2 veya asit süt akışı yönünün tersine püskürtülür. Karışım holder tüp (20-25 cm) içindeki pıhtıya transfer edilir. Pıhtı serumdan ayrılır, coprecipitate yıkanır, preslenir ve kurutulur. Optimum proses koşullarında süt proteinlerinin % 95-97'sini geri kazanmak mümkündür. Her biri farklı miktarda Ca içeren üç çeşil coprecipitate vardır:

- Düşük kalsiyum içerikli coprecipitate (LCC) % 0,1-0,5 Ca içerir,
- Orta kalsiyum içerikli coprecipitate (MCC) % 1-1,5 Ca içerir ve
- Yüksek kalsiyum içerikli coprecipitate (HCC) % 2,5-3 Ca içerir.

Coprecipitate'deki kalsiyum konsantrasyonu üretim prosesindeki temel parametrelerin değişimi ile farklılık gösterir. Presipitasyondaki yüksek pH değeri üründeki Ca konsantrasyonunun yükselmesine neden olurken yüksek sıcaklıkla uzun süre bekletme kalsiyum konsantrasyonunun azalmasına neden olur.

Farklı kalsiyum ve fosfat konsantrasyonlarına, farklı serum proteini ve kazein oranlarına sahip coprecipitate'ler gıda endüstrisinde çeşitli kullanım alanları bulmuştur. Kazeinler gibi görev yapmaktadırlar. Coprecipitate'lerin üretim prosesi sadece süttaki toplam proteinin % 80'ini oluşturan kazeini değil diğer proteinleri de geri kazanmak için geliştirilmektedir. Bu, geri kazanılan protein oranını yaklaşık % 96'ya çıkarmaktadır.

3.4. Laktoz

Laktoz, D-glukoz ve D-galaktoz içeren bir disakkarittir. Kimyasal terminolojide laktoz 4-O-β-D-galactopyranosyl-D-glucopyranose olarak adlandırılır. Toplam süt kurumaddesinin en temel bileşeni olan laktoz, pas ve deproteinize pas'dan ticari olarak üretilmektedir. Son zamanlarda süt endüstrisinde sütün konsantrasyonu ve fraksiyonlara ayrılması için membran teknikleri (ultrafiltrasyon, hiperfiltrasyon gibi) tercih edilmektedir. Pas'ın UF'si ile elde edilen permeat laktoz üretiminde substrat materyal olarak kullanılır.

Laktoz üretimi için kullanılan teknolojik proses iki temel gruba ayrılabilir:

1. Serum proteinleri varlığında pas'dan laktozun kristalizasyonu,
2. Serum proteinleri geri alındıktan sonra deproteinize pas'dan laktozun kristalizasyonu.

Ham ve rafine laktoz bu proseslerden biri ile üretilmektedir. Laktoz üretimi Şekil 8.6'da olduğu gibidir.

Üretimde ham materyal öncelikle çok kademeli vakum evaporatöründe evapore edilir veya HF ile ön konsantrasyona tabi tutulur. Laktozun son konsantrasyonu laktoz şurubunda proteinlerin bulunup bulunmamasına göre değişmektedir. Laktoz, protein içeren pas'dan üretiliyorsa, şurup kurumadde içeriği % 60-65 olana kadar evapore edilir. Deproteinize pas'dan laktoz üretiminde ise şurubun kurumadde içeriği % 70'e çıkarılabilir.

Laktoz kristalizasyonu aşırı doygun ve sıcak haldeki şurupta başlatılır. Kristalizasyon aşırı doymuş şuruplarda kendiliğinden (stabil olmayan kristalizasyon hali) veya şurup içersine kristal taneciklerinin ilavesi ile (metastabil kristalizasyon hali) başlatılmaktadır. Kristalizasyonun amacı serumundan kolayca ayrılabilen üniform boyutta (ortalama 0,2 mm çapında) çok sayıda kristal üretmektir.

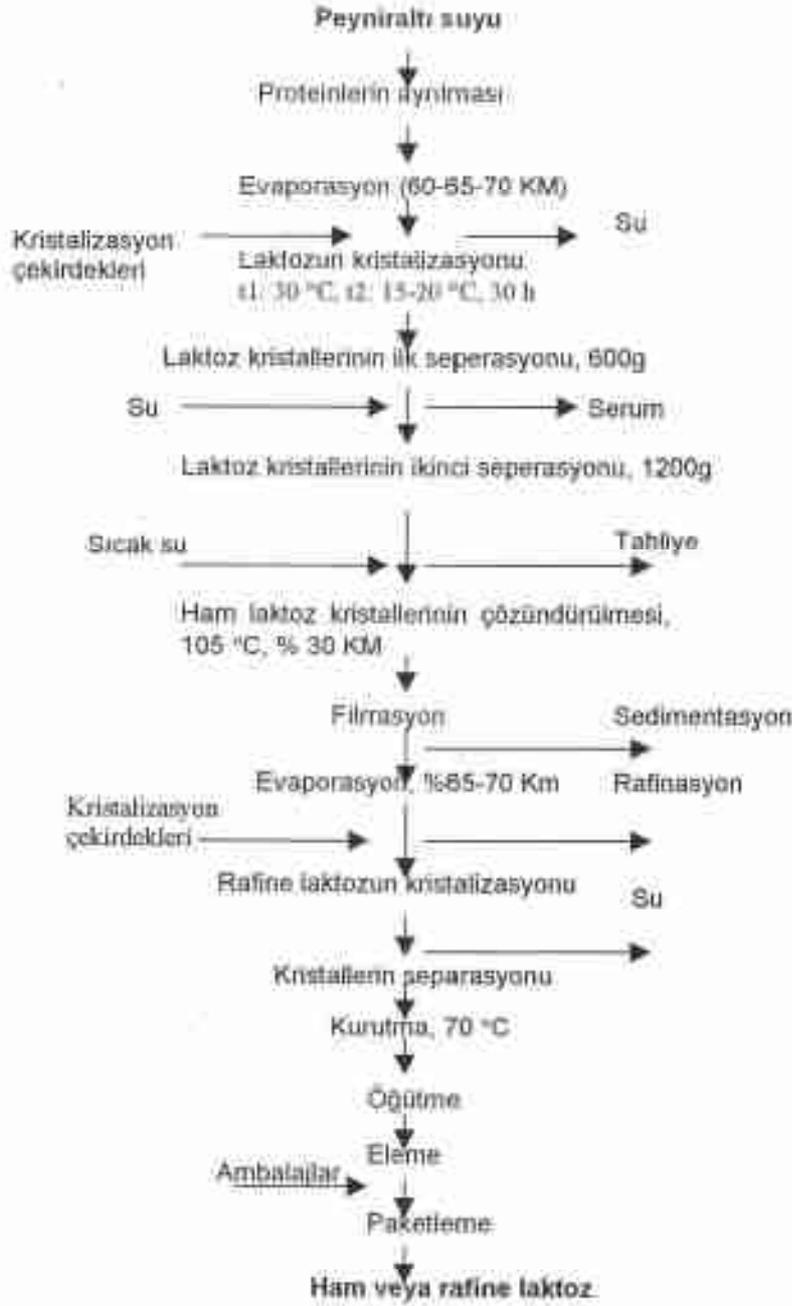
Kristalleştirme tankı konik tabanlı, çift cidarlı, kapalı bir tanktır. Bu tank yavaş hareket eden karıştırıcılar ve kazıyıcılara donatılmıştır.

α-monohidrat formundaki ham kristal laktoz, sürekli santrifüjlerde ya da dekantörlerde solüsyonundan (serumundan) ayrılır. İki tane santrifüj kullanılmaktadır. Birinci santrifüjde kristaller serumundan ayrılır, diğerinde ise kristaller suyla yıkanır. % 38-48 oranında toplam kurumadde içeren şurup (bunun % 30'u laktoz, geri kalan kısmı protein ve tuz) sisteme yeniden verilebilir. Serum taze pas veya yıkama suyu ile yaklaşık % 15 kurumadde içeriğine kadar seyreltilir. Ham laktoz % 10-14 nem içeriğine sahiptir ve kurumadde yaklaşık % 99 laktoz içerir.

Rafinasyon için ayrılmayan ham laktoz, nem içeriğinin % 0,1-0,5'e düşürüldüğü çeşitli tipteki kurutucularda yaklaşık 70 °C'de kurutulur. Son olarak yapılan işlemler öğütme, eeme ve paketlenme aşamalarını içerir ve bunlar yağsız süttozu üretiminde olduğu gibidir.

Deproteinize pas'dan laktozun üretimi, deproteinize olmayan pas'dan laktoz üretimine benzememektedir. Temel farklılık işlemin başlangıcında proteinin ayrılmasıdır. Proteinlerin ayrılması için kullanılan en yaygın metot, pas'ın UF'si veya pas'ın 6,2 pH'ya asitlendirilmesinden sonra buhar enjeksiyonu altında ısıya teşvik edilen koagülasyonudur (Centri whey metodu).

Laktozun rafine edilmesinin amacı karışımında kalabilen protein, tuz ve renk maddeleri gibi kontaminantların uzaklaştırılmasıdır. Rafine laktoz kimyasal olarak safır. En az % 99,6 oranında laktoz içerir, fakat protein içermez. Üretim prosesi, laktoz kristallerinin ayrılması ve yıkanması dışında ham laktoz üretimi ile aynıdır. Rafinasyon, ham kristal laktozun yüksek sıcaklıktaki su içinde erimesini, kimyasal maddelerini ilavesini (örneğin kömür ve/veya filtrasyon yardımcıları), filtrasyon, evaporasyon, laktozun kristalizasyonu, kristallerin seperasyonu işlemlerini içermektedir. Kurutma, öğütme, eleme ve paketlenme gibi üretim aşamaları ham laktoz üretimindeki işlemlere benzemektedir.



Şekil 8.6. Ham veya rafine laktoz üretiminin akım şeması

Aglomera olmuş toz haldeki laktoz instant sütte üretilmektedir. Laktozun bu formu eczacılıkta kullanılır.

Laktozun ticari formlarının ortalama bileşimi Çizelge 8.2'de görülmektedir.

Çizelge 8.2. Ticari laktoz ürünlerinin bileşimi

Bileşenler, %	Laktoz			
	Teknik	Saf	Yenilebilir formda	Eczacılıkta kullanılan
Laktoz	98,0	94,0	99,0	99,4-99,85
Nem	0,35	0,3	0,5	0,1-0,5
Protein (N x 6,38)	1,0	0,8	0,1	0,01-0,05
Kül	0,45	0,4	0,2	0,03-0,09
Yağ	0,2	0,1	0,1	0,001-0,01
Asit (laktik asit)	0,4	0,4	0,06	0,04-0,03

8.5. Bebek Maması ve Formülleri

Bazı anneler, çocuklarını anne sütü ile beslemeyi istememektedirler. Mama formülleri, mümkün olduğunca anne sütüne benzer şekilde değiştirilmiş inek sütünden yapılmaktadır. Mama formüllerinin kullanımı 20. yüzyıl başlarında olmuş ve anne sütüne yakın ürün elde edilmiştir. Bilim ve teknolojideki ilerlemeler formülasyonları daha da geliştirmiştir.

Modern mama formülleri, modifiye olmuş inek sütünün kullanımı yerine temel ingredientlerin (bileşenler) diğer formlarını da içerebilir; örneğin süt ve peyniraltı suyu ürünleri (proteinler, laktoz), soya proteinleri (soya proteini izolat), protein hidrolizatları, inek sütü içermeyen formüller süt intoleransı, süt alerjisi ya da özel gereksinimleri olan bebekler için üretilmektedir.

Çizelge 8.3. Anne sütü ve inek sütünün bileşimi

Bileşenler, %	Anne Sütü	Inek Sütü
Su	87,43	86,61
Yağ	3,75	14,0
Protein	1,63	3,58
Laktoz	6,98	4,96
Kül	0,21	0,71
Yağsız Kurumadde	8,62	9,35
Toplam Kurumadde	12,57	13,39

Çizelge 8.3'de görüldüğü gibi insan ve inek sütü makro besin elementleri (laktoz, protein, mineraller ve yağ) kimyasal bileşim ve nispi oranlar bakımından farklıdır. İnek sütünün protein miktarı anne sütünün protein içeriğinin 3,5 katıdır ve % 80 kazein, % 20 serum proteini içermektedir. Anne sütü proteini ise % 20 kazein ve % 80 serum proteininden oluşmaktadır. İnek sütü serum proteininde

daha fazla bulunan β -laktoglobulin anne sütünde bulunmaz. Bu nedenle inek sütünü anne sütüne benzetmek için yapılacak modifikasyonda:

1. Protein ve mineral madde (özellikle sodyum) içeriği azaltılır.
2. Serum proteinleri lehine süt protein oranı değiştirilir.
3. Ca/P oranı % 1,2'den % 2'ye çıkarılır.
4. Karbonhidrat içeriği azaltılır ve vitamin ilave edilir.
5. Süt yağı değiştirilebilir (ancak bu durum stabilite nedeniyle özel problemlere yol açabilir).

Mama formülüne ilişkin bir örnek Çizelge 8.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.4. Mama bileşiminde yer alan başlıca besin elementlerinin sınır değerleri (100 ml'de)

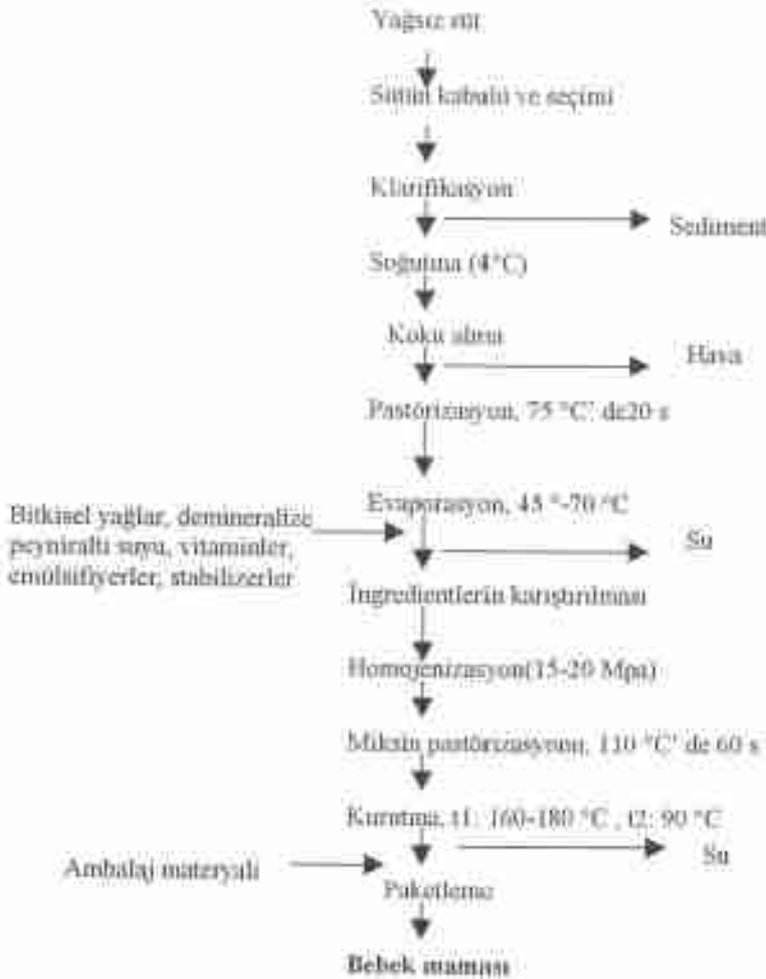
Besin öğeleri	En az	En çok
Protein, g	1,8	4,5
Yağ, g	3,3	6,0
Vitaminler		
A vitamini, IU	250	750
D vitamini, IU	40	100
E vitamini, IU	0,7	-
K vitamini, μ g	4	-
Tiamin (B_1 vitamini), μ g	40	-
Riboflavin (B_2 vitamini), μ g	60	-
B_6 vitamini, μ g	35	-
B_{12} vitamini, μ g	0,15	-
Niasin ^a , μ g	250	-
Folik asit, μ g	4	-
Pantotenik asit, μ g	300	-
Biotin ^b , μ g	1,5	-
C vitamini (Askorbik asit), mg	8	-
Kolin ^b , mg	7	-
Inositol ^b , mg	4	-
Mineraller		
Kalsiyum, mg	80	-
Fosfor, mg	30	-
Magnezyum, mg	6	-
Demir, mg	0,15	3,0
Çinko, mg	0,5	-
Manganez, μ g	5	-
Bakır, μ g	60	-
İyot, μ g	5	75
Sodyum, mg	20	60
Potasyum, mg	80	200
Klorid, mg	55	150

^a Niasin terimi nikotirik asit ve nikotinamidi kapsamaktadır.

^b Sadece-süt temelli olmayan mama formülleri için geçerlidir.

En zor modifikasyon inek sütüne immüno faktörlerinin ilavesidir (bu maddeler anne sütünde bulunmakta, ancak inek sütünde bulunmamaktadır). Yine de herşeyden önce bebek beslenmesinde mümkün olduğunca anne sütünün kullanılması önerilmelidir.

Mama formülünün üretimi değişik prosesi gerektirir. Bunlardan birisi, tüm ingredientlerin kuru formda ve oldukça homojen şekilde karıştırıldığı "kuru proses", diğeri ise kuruttuktan önceki nemli durumda karışımın yapıldığı "nemli proses" dir. Şekil 8.7'de görüldüğü gibi, mama formüllerinin üretiminde kullanılan spray kurutma metotları mama formüllerindeki laktoz ve yağın yüksek içeriği nedeniyle sütozu üretiminden farklıdır. Buna ilaveten giren hava sıcaklığını düşürmek için mama miksini toplam kurumadde içeriği sütozundan daha düşük olmalı ve kurutma odası özellikle soğutma da sağlayabilmelidir.



Şekil 8.7. Bebek maması üretim akış şeması

Mama mikslennin kurutulması genellikle iki ya da üç aşamalı gerçekleşir. İki prosesin beraber kullanılması durumunda, suda eriyen bileşenler süte kurutma işleminden önce, az çözünenler ise kurutmadan sonra kuru formdaki katkıya ilave edilmektedir. Nemli procesde en iyi karıştırma sağlanır. Buna karşın kuru işleme masraflar ve üretim bakımından daha ucuzdur. Böylece her iki yöntemin avantajlarından yararlanılabilir.

8.6. Rekonstitüsyon Amaçlı Sütozu

Sütozunun süte dönüştürülmesi için işlenebilir nitelikteki suya rekonstitüe edilmesi gereklidir. Rekonstitüe süt pastörize süt, sterilize süt, fermente süt, ürünleri, peynir gibi diğer süt ürünlerine işlenebilmektedir. Rekonstitüsyon için hammaddede kullanımda yağsız sütozu, tam yağlı sütozuna karşı bazı avantajlara sahiptir;

1. Daha uzun raf ömrü,
2. Yağlı/yağsız kurumadde oranının kolayca ayarlanabilmesi,
3. Bitkisel yağlarla kolayca yer değiştirebilme ve
4. Kolay rekombinasyondur.

8.7. Modifiye Sütozu

Dünya nüfusunun artmasıyla yeterli gıdanın sağlanamaması önemli bir problemdir. Bu problem gelişmekte olan ülkelerde daha yaygın olduğu için, yeni gıda kaynakları bulunduğunda üretim masraflarının göz önünde bulundurulması gerekir. Modifiye süt, sütin orijinal bileşenlerinin bir veya daha fazlasının yerine farklı kaynaklardan elde edilen bileşenlerin yer almasıyla elde edilir. Süt ürünlerine göre daha ucuz üretilebilmektedir. Düşük yağlı ve/veya proteinli veya vitamince zenginleştirilmiş olarak diyetetik süt ürünleri grubundan da sayılabilir. İnsan sütüne benzetmek için yağ, protein, iyonlar ve laktozun bileşiminin ve içeriğinin modifiye edildiği bebek formülasyonları modifiye süt ürününün bir çeşididir.

Sütün üç temel bileşenlerinin her biri farklı kaynaklı bileşenlerle (ingredient) yer değiştirilebilir. Laktoz sukroz ile, proteinler soya, yer fıstığı veya pamuk tohumu proteinleri ile, süt yağı hindistan cevizi, marze, palmye yağı veya margarin ile yer değiştirilir. Laktoz yerine sukrozun kullanımı süte ekonomik yapmaz, fakat laktoz intoleransı olan insanlar için kullanımı uygundur.

Proteinler yerine soya proteini, süt yağı yerine bitkisel yağlar kullanılabilir. Soya proteini hayvansal kaynaklı proteinlere çok benzemektedir, örneğin kazein yerine benzer protein özellikleri ve ucuz olması nedeniyle tercih edilir. Süt yağı, yağda çözünen vitaminleri ve esansiyel yağ asitlerini bulundurması nedeniyle oldukça değerli bir gıda bileşenidir. Bununla beraber bazı süt ürünlerinin fiyatlarındaki payı, diğer süt bileşenleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir.

Diğer yağlarda süt yağının başarılı şekilde kullanımı, depolama sırasında ürünün stabilitesini sağlamak amacıyla, ilave edilen yağ globüllerinin çevresinde koruyucu membranların oluşumuna bağlıdır. Süt yağı globül membranları homojenizasyondan sonra, sıvı fazdan (yağsız süt) protein adsorpsiyonu ile

rejenere edilir. Modifiye sütte mono ve diğlisentler gibi emülsifiyerlerin kullanımı yağsız süt proteinlerine bağlıdır.

Modifiye süt üretiminin süreci spesifik modifikasyonlara bağlıdır. Örneğin süt yağı yerine ikame yağlar kullanıldığında işlem rekombine süt üretiminin teknolojisine benzemektedir. Bu sütün kurutulmasıyla modifiye sütün elde edilir.

8.8. İmitasyon Süttozu

İmitasyon sütün sütte benzemektedir, fakat modifiye sütlerden farklıdır.

Kazeinden üretilen sodyum kazeinat, bazı durumlarda imitasyon sütte protein kaynağı olarak kullanılmaktadır. Üründeki diğer ingredientler çoğunlukla modifiye süt üretiminde kullanılanlar ile aynıdır. İmitasyon sütünün üretimi, modifiye sütünün üretimine benzerdir ve birçok avantaja sahiptir.

1. Üretim masrafları düşüktür (bitkisel yağ ve bitkisel proteinlerin fiyatı benzer sütün komponentlerinin fiyatlarından daha ucuz olduğu için).
2. Dünyada sığır ve sütün üretiminin olmadığı yerlerde ihtiyacı karşılar.
3. Raf ömrü sütünün göre daha uzundur.
4. Ingredientlerin varlığına bağlı olarak geniş bir kompozisyon varyasyonu gösterir.

8.9. Diğer Kurutulmuş Süt Ürünleri

Susuz sütün yağı, kurutulmuş sütün içecekleri, kurutulmuş diyetik ürünler, kahve beyazlatıcılar, kurutulmuş fermente sütün ürünleri, kurutulmuş krema, kurutulmuş peynir ürünleri, kurutulmuş dondurma miksi, kurutulmuş tereyağı ve tek hücre proteinini gibi ürünler bu gruba girer.

KAYNAKLAR

- ADAM, R.C., 1962. Koyulaştırılmış Süt. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 53., 92 s.
- ADAM, R.C., 1971. Süttozu. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:50: 33 s.
- BERG, J.C.T., 1990. (Çeviren:BAŞARAN, A.) Tropikal ve Subtropikal İklim Bölgelerinde Süt Teknolojisi. T.S.E.K. Yayını: 290 s.
- CARIC, M., 1994. Concentrated and Dried Dairy Products. VCH Publishers Inc. NY. 249 p.
- DE VILDER, J., MARTENS, R. and NAUDTS, M., 1979. The influence of the Dry Matter Contents, the Homogenization and the Heating of Concentrate on Physical Characteristics of Whole Milk Powder. *Milchwissenschaft* 34 (2) 1-18.
- HALL, C.W. and HEDRICK, T.I., 1971. Drying of Milk and Milk Products. The AVI Publishing Comp. Inc. London. 338 p.
- HANSEN, R. 1985. Evaporation, Membrane Filtration and Spray Drying. *North European Dairy Journal*. 420 p.
- HERRMANN, M., BYLUND, G. and DAMEROW, G., Tarihsiz. Handbuch Der Milch-und Molkereitechnik. ISBN 3-7882-0071-8. 329 s.
- HUI, Y.H., 1993. Dairy Science and Technology Handbook. Volume 2. Chapter 4, VCH Publishers, Inc. ISBN 1-56081-078-5. p. 257-300.
- IMO / INTERLAB, 1989. Milchpulver – Molkenderivate – Milchproteine. Molkereitechnik, Band 82. Verlag Th. Mann. Gelsenkirchen – Buer. 143 s.
- J.C.T. VAN DER BERG and E.L. CROSSLEY., 1962. Milk Hygiene. World Health Organization. P. 321-404.
- KAPTAN, N., 1974. Koyulaştırılmış Süt ve Süttozu Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 554. 60 s.
- KESSLER, H.G., 1996. Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik. Verlag A. Kessler. D-80687 München., 705 s.
- KING, N., 1968. Dispersibility and Reconstitutability of Dried Milk. *Dairy Science Abstracts* 28 (3) 105-118.
- LOVELL, H.R., 1981. The Microbiology of Dried Milk Powders. In: Dairy Microbiology 1. Robinson, R.K. (Editor), Applied Science. P: 209 – 231.

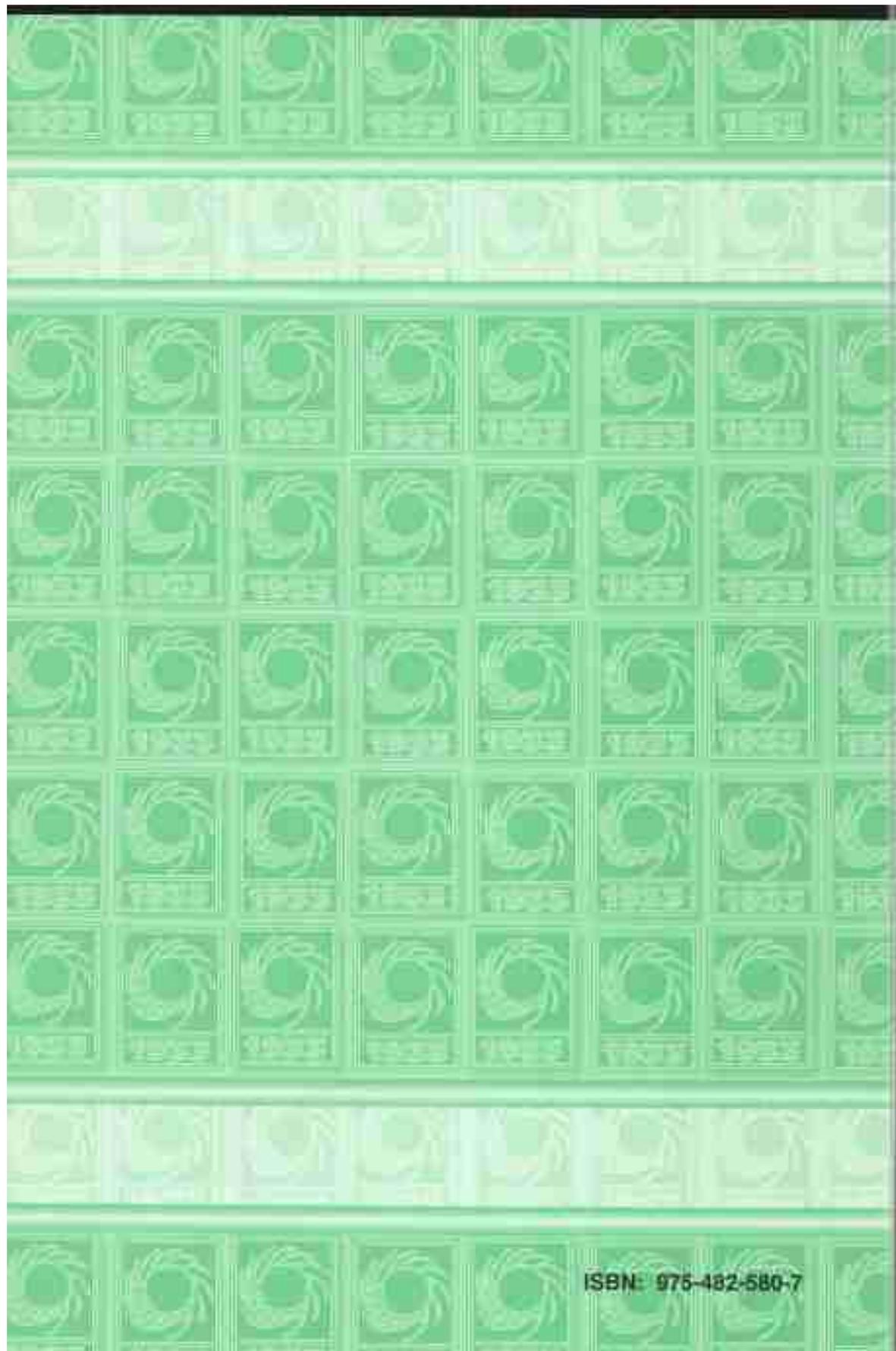
- LOWE, N., et al., 1975. Winter School on Spray Drying, Australian Society of Dairy Tech, 104 p.
- MASTERS, K., 1985, Spray Drying Handbook, George Goldwin Ltd, London, 693 p.
- METİN, M., 1998, Süt Teknolojisi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:33, 793 s.
- NELSON, F.E., 1981, The Microbiology of Concentrated Milks, in: Dairy Microbiology 1, Robinson, R.K. (Editor), Applied Science, London, P. 233-250.
- NIELSEN, E.W. and ULLUM, J.A., 1989, Dairy Technology 2, Danish Turkey Dairies Ltd, ISBN 87-983208-4-5, p. 255-286.
- OYSUN, G. ve GÖNÇ, S., 1995, Süt İşleme Mühendisliği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 522, 215 s.
- PRAHL, L., TAEUFEL, R., 1967, Über Eiweiß-Veränderungen bei hocherhitzten Milchpulvern, Die Nahrung 11 (3) 257-265.
- RENNER, E., Tarhsiz Molkereimaschinen und -verfahren, Brendow Druck Grafischer Grossbetrieb, 4130 Moers, 276 s.
- RENNER, E., 1991, Dictionary of Milk and Dairying, VV-GmbH Volkswirtschaftlicher Verlag, Regensburg., 384 p.
- ROBINSON, R.K., 1986, Modern Dairy Technology, Volume 1, Chapter 4, Elsevier Applied Science Publishers Ltd, NY, ISBN 0-85334-391-8, P. 209-250.
- SPREER, E., 1989, Technologie der Milchverarbeitung, B.Behr's Verlag, GmbH, Hamburg, P. 439-484.
- THOMSEN, W., Tarhsiz, Grundlagen für den Molkereifachmann, Molkereitechnik Band 54/55, Verlag Th.Mann, Gelsenkirchen-Buer, 226 s.
- ÜÇÜNCÜ, M., 1990, Süt Teknolojisi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çoğaltma Yayın, No:88, 226 s.
- WEBB, B.H., 1970, Byproducts from Milk, The Avi Publishing Company, Inc, 83-182.
- WEBER, H., 1998, Mikrobiologie der Lebensmittel Milch und Milchprodukte, Behr's Verlag GmbH, Hamburg, p. 353-374.
- YETİŞMEYEN, A., 1983, Instant Sütozunun Elde Edilme Tekniği ve Özellikleri, Gıda 8 (4) 177-180.

- YETİŞMEYEN, A., 1989. Süttozlarında Kalite Kontrolü. Gıda 14 (4) 203-204.
- YETİŞMEYEN, A., GURSOY, A., ÇİMER, A., 1998. Koyulađtırılmıő ve Kurutulmuş Süt Ürünleri Teknolojisi. Uygulama Klavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1497., 81 s.
- YETİŞMEYEN, A., 2000. Süt Sanayinde Çok Etkili Evaporatörler ve Maliyet Hesapları. Gıda 25(1) 41-48.
- YÖNEY, Z., 1965. Süt Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No:249. Ankara Üniversitesi Basımevi. 290 s.

İNDEKS

Absorbsiyon	74
Aglomerasyon	2- 75 - 88
Akışkan yatak	4 - 88 - 69 -100
Antioksidan	79 - 83 - 90
Attrition	100
Baktöfugasyon	35
Biyolojik oksijen değeri	95
Blok süt	5- 48
Blok krema	5
Browning reaksiyonu	38
Buharlaştırma gizli ısı	9
Calandra	18
Centri Whey Metodu	104
Dayanıklı kahve kreması	5
Dayanıklı süt ürünleri	5
Demineralizasyon	95
Diafiltrasyon	96
Dondurma tozu	5
Doğru yoğunluk	85
Duke de leche	48
Düşen film evaporatörler	22
Elektrodializ	4
Eriyebilirlik	80 - 87
Eritme peyniri tozu	5
Evapore yağlı süt-sekersiz	1
Evapore yağlı süt-şekerli	1
Evaporatör	4- 19
Evapore süt	7
Evaporasyon randımanı	31
Hiperfiltrasyon	4 - 92 - 95
İlanabilirlik	80
İstantizasyon	2 - 75
İnvert şeker	41
İyon değiştiriciler	4
Jelleşme	46
Just-Hatmaker kurutma	2
Kahverengileşme	86
Kakao tozu	5

Kalınlaşma	46
Kaynama	9
Kondens kakao	5
Kondens süt	7
Krema tozu	5
Kremleşme	43
Kristalizasyon	43 - 85 - 92 - 103
Kumlu yapı	43
Laktozun eriyebilirliği	44
Lesitin	78
Lesitinasyon	78
Liyofilizasyon	47 - 51-52
Maillard reaksiyonları	38 - 46 - 55 - 86
Membran prosesleri	4
Mikrofiltrasyon	95
MVR Sistemi	26
Nozzle	55 - 60 - 88
Nozzle (neme) sistemi	61
Permeal	91
Plakalı tip evaporatörler	20
Pnömatik konveyörler	64
Porozite	74
Presipitasyon	97
Rafine Laktoz	104
Rekonstitüe süt	1
Resirkülasyon	77
Retentat	91
Robert evaporatör	18
Santrifüj	88
Santrifüjal (türbinli sistem)	62
Şeker indeksi	41
Şeker sayısı	41
Şeker şurubu	41
Sterilizasyon etkisi	35
Sterilize dövülmüş krema	5
Sterilize kakao	5
Stockes eğitliği	73
Termal stabilite	36
Termik randıman	57
Termokompresörler	26
Topaklaşma	73
TVR sistemi	26



ISBN: 975-482-580-7