

ختم لعل

فراورده‌های غیر تخمیری شیر

مؤلفان:

وحید مفید، محمد علی احمدی آذر، فرهاد فرهنودی

سرشناسه	:
عنوان و نام پدیدآور	:
مشخصات نشر	:
مشخصات ظاهری	:
فروست	:
شابک	:
وضعیت فهرست‌نویسی	:
یادداشت	:
یادداشت	:
موضوع	:
شناسه افزوده	:
شناسه افزوده	:
رده‌بندی کنگره	:
رده‌بندی دیوپی	:

عنوان: فراوده‌های غیر تخمیری شیر
 مؤلف: وحید مفید، محمد علی احمدی‌آذر، فرهاد فرهنودی
 ناشر: انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی‌کاربردی جهاد کشاورزی
 ویراستار علمی: شهریار دبیریان
 ویراستار ادبی - فنی: عبدالرضا حسنی
 طراح جلد:
 صفحه‌آرایی، لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات پیام‌رسان
 نوبت چاپ: اول
 تاریخ نشر: ۱۳۸۹
 شمارگان: ۱۵۰۰
 قیمت: ۵۸۰۰ تومان
 شابک: ۰ - ۷۱-۸۷۴۸-۹۶۴-۹۷۸

تهران: صندوق پستی ۱۳۱۴۵ تلفن ۶۶۴۹۸۹۴۶ - ۶۶۴۳۰۴۳۷
 مؤسسه آموزش عالی علمی‌کاربردی جهاد کشاورزی گروه صنایع تبدیلی و تکمیلی

پیشگفتار ناشر

کتاب و کتاب‌خوانی، یکی از معیارهای توسعه کشورها و جوامع گوناگون است. به این سبب، هر سال سازمان‌های جهانی، مانند یونسکو و ...، از آن به‌مثابه یکی از شاخص‌های توسعه‌یافتگی استفاده می‌کنند و به بررسی میزان انتشار کتاب، نشریه و سایر منابع علمی و اطلاعاتی سازمان‌های آموزشی و پژوهشی می‌پردازند.

تولید منابع علمی و اطلاعاتی، چنان اهمیتی دارد که مهم‌ترین شاخص ارزشیابی کار اعضای هیئت‌های علمی سازمان‌های آموزشی و پژوهشی نیز به‌شمار می‌آید. اما در این زمینه، نیاز مؤسسه‌های آموزشی علمی-کاربردی به متون آموزشی، بیش از دیگر سازمان‌های فرهنگی است؛ زیرا این مؤسسه‌ها، باید از این متون برای تدریس به دانشجویانی استفاده کنند که علاوه بر آموزش‌های رسمی و کلاسیک، به آموزش جنبه‌های کاربردی محتوا و روش‌ها نیز نیازمندند.

مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی، با توجه به اهمیت تولید و انتشار منابع اطلاعاتی و به‌ویژه کتاب‌های آموزشی، این مهم را در رأس کارهای خود قرار داده است. شایان ذکر است که تألیف و چاپ بیش از ۱۰۰ عنوان کتاب مربوط به دروس دوره‌های علمی-کاربردی در بخش کشاورزی، در دستور کار این مؤسسه قرار دارد و مسئولان آن امیدوارند با همکاری مدرسان و اعضای هیئت‌های علمی دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی، در راه افزایش کیفیت این کتاب‌ها گامی اساسی بردارند.

از آن‌جا که انتشار چنین مجموعه‌ای، کاری سترگ و نیازمند توجه و دقت بسیار است. امیدواریم استادان، صاحب‌نظران و مدرسان این کتاب‌ها، ما را در راه ارتقای کیفیت علمی آن‌ها یاری دهند و از ارسال انتقادات و پیشنهادهای خود دریغ نورزند. بدون شک، حمایت‌ها و هدایت‌های بی‌دریغ مسئولان آموزش و تحقیقات در سطح وزارت جهاد کشاورزی، اعضای محترم هیئت امنای مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی و به‌ویژه مدیران عالی سازمان و آموزش کشاورزی، در شکل‌گیری و ادامه چاپ این کتاب‌ها نقش اساسی دارد و امیدواریم نظارت عالی آنان، تضمین‌کننده کیفیت کار ما باشد.

مجتبی رجب‌پیگی

مدیرمسئول انتشارات و

رئیس مؤسسه آموزش عالی علمی-کاربردی جهاد کشاورزی

فهرست مطالب

پیشگفتار مؤلف.....	۱
--------------------	---

فصل اول: تولید شیر

مقدمه‌ای بر تولید شیر.....	۵
شیر گاو.....	۵
فیزیولوژی تولید شیر.....	۶
دوره شیردهی.....	۸
شیر دوشی.....	۹
خنک کردن شیر و بهداشت آن.....	۱۱
نمونه سؤالات فصل اول.....	۱۳

فصل دوم: شیمی شیر

ترکیبات شیر.....	۱۷
چربی شیر.....	۱۸
ساختمان شیمیایی چربی شیر.....	۱۹
پروتئین‌های شیر.....	۲۱
کازئین.....	۲۲
میسل کازئین.....	۲۳
پروتئین‌های آب پنیر.....	۲۳
آنزیم‌ها در شیر.....	۲۴
ویتامین‌ها در شیر.....	۲۵
مواد معدنی در شیر.....	۲۵
کربوهیدرات‌ها در شیر.....	۲۶
نمونه سؤالات فصل دوم.....	۲۷

فصل سوم: میکروبیولوژی شیر

۳۲	 فلور طبیعی شیر خام
۳۲	 دسته‌بندی میکروارگانیسم‌ها در شیر
۳۲	 باکترهای لاکتیکی
۳۳	 کلیفرم‌ها
۳۳	 باکتری‌های اسید بوتیریک
۳۳	 اهمیت بررسی میکروارگانیسم‌ها در شیر
۳۴	 فساد میکروبی در شیر
۳۴	 میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در شیر
۳۵	 مهار آلودگی‌ها با کنترل نقاط بحرانی
۳۷	 کشت‌های آغازگر
۳۸	 باکتریوفاژها
۳۹	 آماده‌سازی و استفاده از کشت‌های آغازگر
۴۰	 نمونه سؤالات فصل سوم

فصل چهارم: جمع‌آوری و دریافت شیر

۴۳	 سرد نگه‌داشتن شیر
۴۴	 حمل شیر از دامداری تا کارخانه
۴۵	 آزمایش‌های کیفی و کمی شیر خام
۴۵	 اندازه‌گیری مقدار شیر دریافتی
۴۶	 ذخیره‌سازی شیر
۴۸	 نمونه سؤالات فصل چهارم

فصل پنجم: سالم‌سازی شیر

۵۱	 اصول سالم‌سازی حرارتی شیر
۵۱	 اصول کاربرد فرایند حرارتی برای سالم‌سازی شیر
۵۲	 نظریه عملیات حرارتی
۵۳	 شاخص D
۵۳	 شاخص Z
۵۶	 فرایند حرارتی ناپیوسته
۵۷	 فرایند حرارتی پیوسته

۵۷	تبادل کننده های حرارتی.....
۵۸	داده های ابعادی سیستم.....
۶۰	متوسط تغییرات دمای لگاریتمی.....
۶۱	جریان غیر همسو.....
۶۱	جریان همسو.....
۶۱	ضریب کلی انتقال حرارت.....
۶۲	افت فشار مجاز.....
۶۳	ویسکوزیته ها.....
۶۳	شکل و ضخامت دیواره.....
۶۴	جنس و مواد دیواره.....
۶۴	مواد رسوبی.....
۶۵	قابلیت شستشو و تمیز کردن سیستم.....
۶۶	ساعات کارکرد دستگاه پس از شستشو.....
۶۶	باز یافت انرژی با استفاده از تلاقی حرارتی.....
۶۷	نگهداری دما.....
۶۸	محاسبه زمان در لوله نگهداری دما.....
۶۹	انواع تبادل کننده های حرارتی.....
۷۰	تبادل کننده های حرارتی صفحه ای.....
۷۱	نمای جریان در پاستوریزاتور.....
۷۲	تبادل کننده های حرارتی لوله ای.....
۷۲	تبادل کننده های حرارتی نوع پوسته ای پوسته ای.....
۷۴	تبادل کننده های نوع تیغه تراش.....
۷۵	فرایندهای حرارتی متداول در صنعت شیر.....
۷۵	ترمیزاسیون.....
۷۶	پاستوریزاسیون کند.....
۷۶	پاستوریزاسیون سریع.....
۷۷	فرا پاستوریزاسیون.....
۷۷	استریل کردن کند.....
۷۸	فرادما.....
۸۰	نمونه سؤالات فصل پنجم.....

فصل ششم: تولید شیرهای آشامیدنی

۸۳	فرایندهای عمومی.....
۸۳	جداکننده‌های گریز از مرکز.....
۸۴	چگالی.....
۸۴	سرعت ته‌نشینی و تعلیق.....
۸۵	سرعت تعلیق گویچه‌های چربی.....
۸۶	ته‌نشینی یا رسوب.....
۸۷	افزایش سرعت ته‌نشینی.....
۸۸	خامه‌گیر (سپراتور).....
۸۹	بازده خامه‌گیری.....
۹۰	استاندارد کردن شیر از نظر درصد چربی.....
۹۱	هموژنیزاسیون.....
۹۲	دستگاه هموژن‌کننده.....
۹۳	هموژن کردن دو مرحله‌ای.....
۹۴	حذف هوا از شیر.....
۹۵	بسته‌بندی.....
۹۷	کنترل کیفیت و ماندگاری شیر آشامیدنی.....
۹۹	نمونه سؤالات فصل ششم.....

فصل هفتم: شیرهای طعم‌دار

۱۰۴	شیر کاکائو.....
۱۰۷	مشخصات پودر کاکائو.....
۱۰۹	فرمولاسیون شیر کاکائو.....
۱۰۹	فرایند تولید شیر کاکائو.....
۱۱۰	دمای پر کردن و بسته‌بندی.....
۱۱۱	ارزیابی شیر کاکائو.....
۱۱۱	مشکلات کیفی شیر کاکائو.....
۱۱۲	شیر میوه‌ای.....
۱۱۴	نمونه سؤالات فصل هفتم.....

فصل هشتم: تولید شیرهای طعم‌دار

۱۱۸	نکات عمده در شیر تغلیظ شده
۱۲۰	ماده اولیه برای تولید شیر تغلیظ شده
۱۲۰	کیفیت باکتریایی ماده خام
۱۲۰	ثبات حرارتی ماده خام
۱۲۰	فرایند حرارتی مقدماتی
۱۲۰	استاندارد کردن
۱۲۱	محاسبه تهیه شیر استاندارد
۱۲۳	عملیات حرارتی اولیه
۱۲۴	ملاحظات اقتصادی تغلیظ کردن
۱۲۵	شیر تغلیظ شده معمولی
۱۲۶	هموژن کردن
۱۲۷	بسته‌بندی و استریل کردن
۱۲۸	انبار کردن و کنترل کیفیت
۱۲۸	شیر تغلیظ شده شیرین
۱۲۹	تبخیر کردن
۱۳۰	خنک کردن و بلورین سازی
۱۳۱	بسته‌بندی و کنترل کیفیت
۱۳۲	نمونه سؤالات فصل هشتم

فصل نهم: تولید پودر شیر

۱۳۵	خشک کردن
۱۳۶	تولید پودر شیر
۱۳۶	مواد اولیه
۱۳۷	پیش فرایند عمومی شیر
۱۳۸	خشک‌کن استوانه‌ای یا غلتکی
۱۴۰	خشک‌کن پاششی
۱۴۰	سیستم‌های متداول در خشک کردن به روش پاششی
۱۴۱	خشک کردن یک مرحله‌ای یا مستقیم
۱۴۴	خشک کردن دو مرحله‌ای

۱۴۵	 خشک کردن سه مرحله‌ای
۱۴۸	 تولید پودر فوری
۱۴۸	 خشک کن با بستر سیال
۱۴۹	 بازیافت حرارت
۱۵۰	 کاربردهای مختلف پودر شیر
۱۵۰	 پودر شیر پس چرخ
۱۵۱	 پودر شیر کامل
۱۵۲	 چگالی پودر شیر و عوامل مؤثر بر آن
۱۵۴	 بسته‌بندی پودر شیر و تغییرات آن در انبار
۱۵۵	 حالیت پودر شیر و عوامل مؤثر بر آن
۱۵۶	 رطوبت‌پذیری
۱۵۶	 قابلیت تعلیق
۱۵۶	 قابلیت پخش شدن
۱۵۶	 حالیت
۱۵۷	 نمونه سوالات فصل نهم

فصل دهم: تولید فراورده‌های حاصل از چربی شیر

۱۶۱	 خامه
۱۶۲	 خامه زدنی
۱۶۳	 روش "زدن"
۱۶۵	 خط تولید خامه‌زدنی، روش اسکانیا
۱۶۸	 خامه نیم‌چرب و خامه قهوه
۱۷۱	 خامه صبحانه
۱۷۲	 کره
۱۷۳	 کره تولید شده از خامه شیرین و خامه ترش (کشت داده شده)
۱۷۴	 کره‌سازی
۱۷۷	 مواد خام
۱۷۸	 پاستوریزاسیون خامه
۱۷۸	 هواگیری در خلأ
۱۷۹	 آماده‌سازی مایه کشت
۱۸۰	 ترش شدن خامه
۱۸۱	 دمای عملیات حرارتی

۱۸۲	.....	بلورین سازی چربی کره
۱۸۳	.....	فراوری چربی سفت
۱۸۴	.....	فراوری چربی نیمه سفت
۱۸۵	.....	فراوری چربی بسیار نرم
۱۸۵	.....	کره زنی، تولید غیر پیوسته
۱۸۶	.....	شکل گیری کره
۱۸۷	.....	بهره در کره سازی
۱۸۷	.....	محاسبه بهره کره گیری
۱۸۹	.....	میزان بازدهی (فاکتور راندمان)
۱۹۰	.....	مالش دادن کره
۱۹۱	.....	مالش دادن کره در خلأ
۱۹۱	.....	تولید کره به روش پیوسته
۱۹۱	.....	فرایند تولید
۱۹۴	.....	روش جدید تولید دیگر فراورده های چربی
۱۹۴	.....	برگوت
۱۹۴	.....	لات اند لاگوم
۱۹۵	.....	فرایند تترابلند
۱۹۷	.....	بسته بندی
۱۹۸	.....	روش های تجربی در کره سازی
۱۹۸	.....	روغن کره و چربی بدون آب شیر
۱۹۹	.....	مشخصه های روغن کره
۲۰۰	.....	اصول تولید روغن کره
۲۰۰	.....	تولید روغن کره از خامه
۲۰۲	.....	تولید روغن کره از کره
۲۰۴	.....	تصفیه روغن کره
۲۰۴	.....	جلا دادن
۲۰۵	.....	خنثی سازی
۲۰۵	.....	جداسازی جزیی
۲۰۶	.....	حذف کلسترول
۲۰۶	.....	بسته بندی
۲۰۷	.....	نمونه سؤالات فصل دهم

فصل یازدهم: تولید بستنی

۲۱۱	 طبقه‌بندی بستنی
۲۱۲	 فرایند تولید بستنی
۲۱۴	 فرمولاسیون
۲۱۵	 اجزای بستنی
۲۱۶	 چربی
۲۱۷	 موا جامد بدون چربی
۲۱۹	 شکر
۲۱۹	 امولسیفایر
۲۲۰	 پایدارکننده‌ها
۲۲۲	 طعم‌دهنده‌ها
۲۲۲	 رنگ خوراکی
۲۲۲	 توزین، اندازه‌گیری و اختلاط
۲۲۳	 محاسبه افزایش حجم یا ورآمدن بستنی
۲۲۴	 اندازه‌گیری افزایش حجم (ورآمدن) بر اساس وزن
۲۲۴	 هموژن کردن و پاستوریزه کردن
۲۲۵	 انجماد مداوم
۲۲۶	 بسته‌بندی در لیوان، مخروطی‌ها و ظروف
۲۲۷	 فراورده‌های اکستروود شده بستنی (با یا بدون چوب بستنی)
۲۲۷	 بستنی چوبی
۲۲۸	 پوشش دادن و بسته‌بندی
۲۲۹	 سفت کردن و سردخانه گذاری
۲۲۹	 کنترل کیفیت
۲۳۰	 اختلالات طعم و مزه
۲۳۰	 اختلالات بافت و قوام
۲۳۱	 اختلالات ناشی از ذوب نامناسب بستنی در هنگام مصرف
۲۳۲	 اختلالات رنگ
۲۳۲	 چروکیدگی بافت
۲۳۴	 نمونه سؤالات فصل یازدهم

فصل دوازدهم: کازئین

۲۳۷	انواع کازئین
۲۳۸	مواد اولیه
۲۳۸	کازئین آنزیمی
۲۳۹	شستشوی غیرمداوم کازئین
۲۳۹	شستشوی مداوم
۲۴۰	کازئین اسیدی
۲۴۱	اسیدی کردن بیولوژیکی - کازئین لاکتیکی
۲۴۱	اسیدی کردن با اسیدهای معدنی - کازئین اسیدی
۲۴۲	رسوب مختلط
۲۴۳	کازئینات
۲۴۳	کازئینات سدیم
۲۴۵	کازئینات کلسیم
۲۴۵	انواع دیگر کازئینات
۲۴۵	کازئینات سدیم اکستروود شده
۲۴۷	کاربرد کازئین و کازئینات
۲۴۹	کازئین رسوبی همراه با کلسیم
۲۵۰	نمونه سؤالات فصل دوازدهم

فصل سیزدهم: فراورده‌های حاصل از آب پنیر

۲۵۳	آب پنیر
۲۵۴	ترکیب آب پنیرهای مختلف
۲۵۶	فرایندهای مختلف آب پنیر
۲۵۷	بازیافت خرده‌های کازئین و جداسازی چربی
۲۵۸	خنک و پاستوریزه کردن
۲۵۸	تغلیظ ماده خشک
۲۵۹	خشک کردن
۲۶۰	بازیافت پروتئین
۲۶۰	بازیافت پروتئین با فرا پالایش
۲۶۳	حذف چربی از غلیظ شده‌های پروتئینی آب پنیر

۲۶۴	بازیافت پروتئین های دناتوره شده از آب پنیر
۲۶۷	نوشیدنی های آب پنیر
۲۶۸	جداسازی لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین با روش کروماتوگرافی
۲۷۰	بافت لاکتوز
۲۷۳	حذف جزء به جزء املاح با نانوفیلتراسیون
۲۷۴	الکترودیالیز
۲۷۷	تولید مکمل غذایی نشخوارکنندگان
۲۷۷	لاکتوزیل اوره
۲۷۷	لاکتات آمونیوم
۲۷۸	نمونه سؤالات فصل سیزدهم
۲۷۹	منابع و مآخذ

پیشگفتار

صنعت شیر بدون شک یکی از گسترده‌ترین بخش‌های صنایع غذایی در دنیاست، ارقام سرمایه‌گذاری در صنعت غذا نشان‌دهنده جذب بیش از ۵۰ درصد آن در صنعت شیر است. در صنعت شیر علاوه بر تولید فراورده‌های قابل مصرف در بازار خرده‌فروشی، بخش بزرگی از مواد اولیه دیگر کارخانه‌های مواد غذایی مانند صنعت شیرینی و شکلات و بیسکویت، فراورده‌های گوشتی و غیره تامین می‌شود. برخی از فراورده‌های جانبی صنعت شیر در کارخانه‌های نوشابه‌سازی و تولید کاغذ گلاسه نیز کاربرد دارند. ترکیباتی نیز برای واحدهای داروسازی تولید می‌شوند. گستره تولیدات صنعت شیر به گونه‌ای است که آن را مادر صنعت غذایی می‌نامند. گوناگونی تولیدات به پیدایش تخصص‌های مختلف در این صنعت منجر شده است؛ به طوری که تعداد زیادی متخصص صنایع غذایی، شیمی، بیوشیمی، بیوتکنولوژی، و جز اینها در بخش‌های مختلف این صنعت شاغل‌اند.

توسعه کمی و کیفی این صنعت در سال‌های اخیر آن را در زمره صنعت با فناوری برتر (high technology) درآورده است. این وضعیت نیاز به پرورش افرادی با تخصص‌های مختلف را افزایش داده است که در این راستا دسترسی به منابع و کتاب‌های تخصصی ضروری به نظر می‌رسد. شاید در حدود دو دهه قبل، متخصصان شاغل در صنایع غذایی به ندرت می‌توانستند منابعی تخصصی در زمینه صنعت شیر، به زبان فارسی پیدا کنند اما با تلاش و کوشش صاحب‌نظران و متخصصان در این بخش، طی سال‌های اخیر کتاب‌های بسیاری در این زمینه ترجمه یا تدوین شده است.

کتاب حاضر نیز با توجه به این نیاز تدوین شده است و در آن سعی کرده‌ایم با دسته‌بندی مطالب متناسب با سرفصل‌های درس "فناوری تولید فراورده‌های غیر تخمیری شیر" که در دانشگاه جامع علمی کاربردی تدریس می‌شود مطالب ضروری دانشجویان در اختیار آنها گذاشته شود تا مبنایی برای ادامه پژوهش در کتاب‌های تخصصی قرار گیرد.

در تهیه این کتاب علاوه بر استفاده از منابع علمی، سعی شده است از تجارب عملی چندین ساله مؤلفان در واحدهای لبنی برای تفهیم و بیان کاربردی مطالب استفاده شود.

بدیهی است که برای دسترسی به اطلاعات تخصصی هر بخش باید به کتاب‌ها و منابع اختصاصی آن مطلب مراجعه کرده تعدادی از این منابع در انتهای کتاب برای استفاده بیشتر دانش‌پژوهان معرفی شده است.

مؤلفان

وحید مفید، محمدعلی احمدی آذر و فرهاد فرهنودی

فصل اول

تولید شیر

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با تاریخچه تولید شیر،
- آمار تولید شیر در ایران و جهان،
- فیزیولوژی تولید شیر در پستان دام،
- روش‌های دوشیدن شیر،
- نگهداری بهداشتی شیر در مزرعه.

مقدمه‌ای بر تولید شیر

بر اساس یافته‌های محققان، کشاورزی در حدود ۱۵-۱۰ هزارسال قبل از میلاد شروع شده است. بشر تقریباً از ۶۰۰۰ سال قبل اهلی کردن دام را آغاز نمود. هم‌زمان با نگهداری دام از شیر آن نیز برای مصارف خانگی استفاده شد و با افزایش تولید شیر، مقداری از آن در بازارهای محلی به عنوان کالا مبادله گردید.

تحول و نوآوری در صنعت دامپروری از حدود دو قرن پیش آغاز شد و از حدود ۱۵۰ سال قبل، تولید صنعتی شیر به سبک تقریباً امروزی با ساختن ابزارهای فرایندکننده شیر مانند خامه‌گیر شروع شد و از آن زمان تاکنون پیشرفت‌های بزرگی در عرصه فرایند شیر پدید آمده است.

امروزه تولید شیر و محصولات تهیه شده از آن به عنوان ترکیبات غنی از پروتئین و مواد ضروری برای بدن، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها را در صنایع غذایی تشکیل می‌دهد، به گونه‌ای که در مواردی مصرف سرانه شیر (میانگین مصرف به ازای هر نفر در سال در کشور) در برخی از کشورهای جهان به عنوان شاخص پیشرفت و توسعه است. مصرف سرانه شیر و فراورده‌های لبنی در ایران حدود ۸۵ لیتر بود (سال ۱۳۸۴). این مقدار در ایرلند فقط برای مصرف شیر آشامیدنی ۱۹۰، سوئیس ۱۲۰ و آمریکا ۱۰۰ لیتر بوده است.

شیر گاو

گاو مهم‌ترین دام شیری درجهان محسوب می‌شود و در حال حاضر بیشترین سهم تولید شیر را دارد. (نمودار ۱).

گاو به طور معمول در هر دوره شیردهی حدود ۲۰۰۰ لیتر شیر تولید می‌کند، که در دامداری سنتی نصف این مقدار برای تغذیه گوساله مصرف می‌شود، اصلاح نژاد در دام‌های شیری به تولید حدود ۶۰۰۰ لیتر شیر در هر دوره شیردهی منجر می‌شود و حتی در برخی موارد این عدد تا مرز ۱۴۰۰۰ لیتر نیز رسیده است. امروزه در دامپروری صنعتی فقط از شیر آغوز (شیری که گاو پس از زایش تولید می‌کند) و شیر خشک دامی برای تغذیه گوساله‌ها استفاده می‌شود و شیر معمولی به کارخانه‌های فراوری‌کننده تحویل می‌گردد.

بلوغ جنسی گاو در سن ۸-۷ ماهگی روی می‌دهد، اما معمولاً اولین باروری در سنین ۱۸-۱۵ ماهگی انجام می‌شود. زمان بارداری گاو ۲۶۵-۳۰۰ روز است که بر اساس نژاد گاو تغییر می‌کند. اولین زایش در سنین ۲ تا ۲/۵ سالگی انجام می‌شود.

نمودار ۱ تولید شیر در جهان (ارقام به میلیون تن)



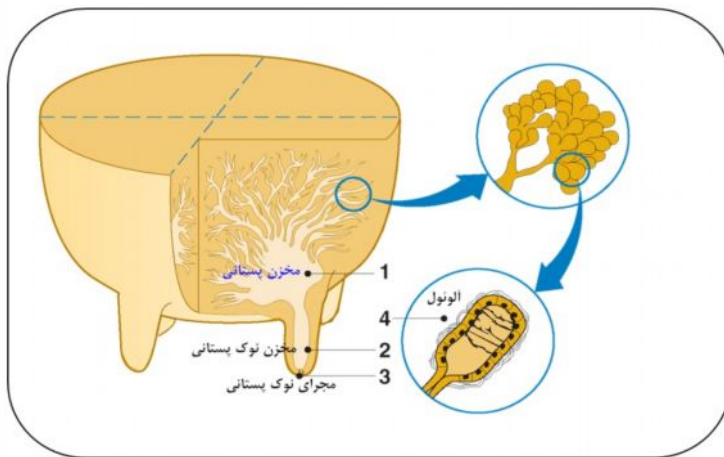
فیزیولوژی تولید شیر در گاو

ترشح شیر پستان گاو یک اندام نیم کروی است که با یک چین عمودی به دو بخش راست و چپ تقسیم می‌شود و هر نیمه نیز با یک چین سطحی و اریب به دو قسمت تقسیم می‌شود. در هر ربع پستان دسته‌های بزرگ و مجزایی از غدد پستانی وجود دارند که به نوک پستان ختم می‌شوند. با این فرض، آن‌ها می‌توانند چهار نوع شیر با چهار کیفیت متفاوت تولید کنند، (شکل ۱).

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود پستان گاو از بافت غده‌ای تشکیل شده که حاوی سلول‌های ترشح‌کننده شیر است. این بافت در داخل بافت عضلانی خاصی محصور شده است. بافت عضلانی با حفظ پیوستگی بین غدد شیری، مانع آسیب‌دیدگی آن‌ها در اثر ضربه‌های احتمالی می‌شود. بافت ترشحي حاوی تقريباً ۲ بيليون کيسه ترشحي کوچک به نام آلئول^۱ است. سلول‌های تولیدکننده شیر در دیواره داخلی این آلئول‌ها به صورت دسته‌های ۸-۱۲ تایی قرار دارند. از این مجموعه‌ها مجاری موینه‌ای خارج شده که به مجاری بزرگ‌تر پیوسته

1. alveoli

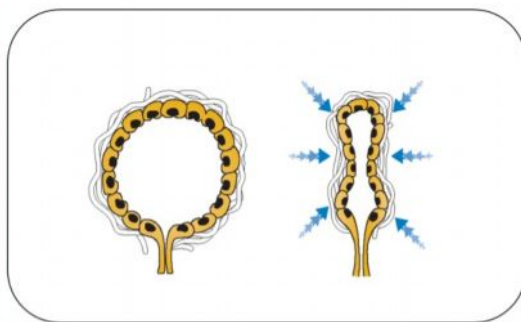
و سرانجام به حفره‌های پستانی ختم می‌شوند. بیش از ۳۰ درصد کل شیر در این حفره‌ها ذخیره می‌شود. مخازن پستانی به نوک پستان وصل شده و در انتها این مخازن به یک مجرای ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متری به نوک پستان ختم می‌شوند. در نوک پستان عضلات اسفنکتری خاصی وجود دارد که در فاصله بین دو شیردوشی مانع چکه‌کردن و خروج ترشحات و ورود میکروب‌ها به داخل پستان می‌شود.



شکل ۱ نمای شماتیک برش پستان گاو

تمام پستان با شبکه‌ای از عروق خونی و لنفی محاط شده است. خون از طریق دو شریان پستانی وارد پستان شده از طریق شبکه مویرگی به اطراف آلونول‌ها می‌رسد. در آلونول‌ها سلول‌های سازنده شیر مواد مغذی لازم را از خون می‌گیرند و خون برگشتی از طریق مویرگ‌های وریدی به ورید پستانی و از آنجا با سه جفت ورید پستانی به قلب باز می‌گردد. به این ترتیب روزانه به‌طور متوسط حدود ۱۸۰۰۰ - ۹۰۰۰ لیتر خون از میان پستان‌ها عبور می‌کند و با عبور هر ۹۰۰ - ۸۰۰ لیتر خون یک لیتر شیر ترشح می‌شود.

هم زمان با ادامه تولید شیر فشار آلونول‌ها افزایش می‌یابد و هنگامی که فشار آن‌ها به حد خاصی برسد ترشح شیر متوقف می‌شود. بیشترین مقدار شیر تا زمان خروج از پستان‌ها در آلونول‌ها و مجاری موینه نازک باقی می‌ماند. مجاری موینه آلونولی بسیار باریک‌اند و شیر نمی‌تواند از داخل آن‌ها جریان یابد، بلکه باید آلونول‌ها از بیرون فشرده شوند تا شیر آن‌ها به داخل مجاری بزرگ‌تر تخلیه شود. این عمل به‌وسیله سلول‌های شبه ماهیچه‌ای اطراف آلونول‌ها انجام می‌پذیرد، (شکل ۲).

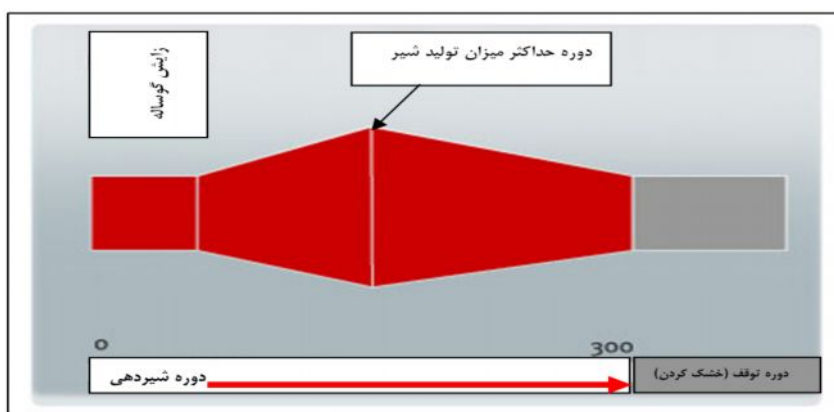


شکل ۲ نمای شماتیک آلئول‌های تولیدکننده شیر در پستان گاو

دوره شیردهی

ترشح شیر در پستان گاو اندکی قبل از زایمان شروع می‌شود. بنابراین، گوساله می‌تواند بلافاصله پس از تولد، با شیر تغذیه شود. گاو پس از زایش به طور پیوسته به مدت ۳۰۰ روز شیر تولید می‌کند. این مدت به دوره شیردهی^۱ موسوم است. یک تا دو ماه پس از زایش، گاو آماده آبستنی مجدد است.

در دوره شیردهی حجم شیر تولیدی یک سیر نزولی دارد و پس از ۳۰۰ روز ۱۵ تا ۲۵ درصد از حداکثر مقدار شیر کاسته خواهد شد، در این مرحله باید شیردوشی متوقف شود. شیردهی گاو ۲ ماه قبل از زایش به طور کامل قطع می‌شود و با تولد گوساله دوره شیردهی مجدداً شروع می‌شود، (نمودار ۲).



نمودار ۲ دوره شیردهی گاوهای شیری

شیری که گاو پس از زایش تولید می‌کند آغوز^۱ نام دارد. این شیر از نظر خواص و ترکیبات با شیر معمولی بسیار متفاوت است؛ آغوز سرشار از ترکیبات پروتئینی ایمنی‌زا (ایمونوگلوبولین‌ها) مانند IgG و برخی هورمون‌هاست که برای تامین ایمنی دام تازه متولد شده در برابر بروز عفونت‌ها موثر است. این شیر قابلیت استفاده صنعتی ندارد و باید به‌طور جداگانه جمع‌آوری و به مصرف گوساله‌های تازه متولد برسد. ۵-۷ روز پس از زایش به تدریج آغوز به شیر معمولی تبدیل می‌شود.

شیر دوشی

تولید و خروج شیر از پستان دام تابع فرایندهای بسیار پیچیده هورمونی است؛ هورمون پرولاکتین^۲ محرک اصلی غدد پستانی برای تولید شیر است و هورمون اوکسی‌توسین^۳ مترشح از غده هیپوفیز کار ترشح و خروج شیر از پستان را انجام می‌دهد. این هورمون در اصل در غده هیپوتالاموس ساخته و در هیپوفیز ذخیره می‌شود. وقتی این هورمون در اثر تحریک‌های عصبی ناشی از شیردوشی مانند مکیدن گوساله یا تحریکات دست فرد شیردوش و یا فشار منفی پستانک‌های شیردوش از غده هیپوفیز به داخل جریان خون ترشح می‌شود، ماهیچه‌های اطراف کیسه‌های جمع‌کننده شیر را تحریک می‌کند و به دنبال آن شیر با فشار به خارج از پستان هدایت می‌شود. اوکسی‌توسین حدود یک دقیقه پس از ورود به داخل جریان خون اثر خود را بر ماهیچه‌های اطراف کیسه‌های شیری می‌گذارد و با ایجاد انقباض، باعث خروج شیر از مخازن پستانی به بیرون می‌شود. این حالت، فشاری را در پستان تولید می‌کند که حتی با دست قابل حس است و عکس‌العمل خروجی^۴ نامیده می‌شود. آثار عکس‌العمل خروجی شیر که از هورمون اوکسی‌توسین متأثر می‌شود به علت رقیق شدن غلظت هورمون در جریان خون کاهش می‌یابد و پس از ۵-۸ دقیقه از بین می‌رود و به همین دلیل عملیات شیردوشی باید در این فاصله شروع و خاتمه می‌یابد. اگر شیردوشی بیشتر از این زمان طول بکشد به پستان دام آسیب می‌رساند.

1. Colostrum

2. Prolactin

3. Oxitocin

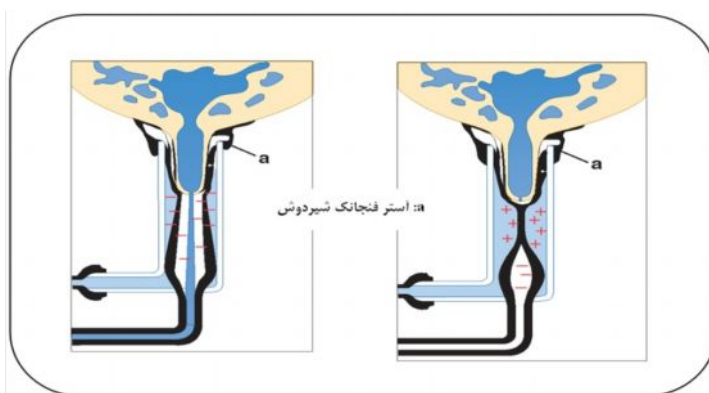
4. Letdown reflex

شیردوشی دستی

هنوز در بسیاری از دامداری‌های کوچک گاوها با دست و با روشی که صدها سال قدمت دارد دوشیده می‌شوند. در این دامداری‌ها گاو را هر روز فرد مشخصی می‌دوشد و دام با شنیدن صدای او به سرعت تحریک می‌شود و به مرحله "عکس‌العمل خروجی شیر" می‌رسد. شیری که در ابتدای مرحله شیردوشی از پستان دام خارج می‌شود حاوی مقدار زیادی باکتری است، یک شیر دوش با تجربه می‌تواند با دقت در حالت شیر ابتدای دوشش از وضعیت سلامتی دام مطلع شود. برای دوشش دستی، دو ربع مخالف پستان با هم دوشیده می‌شوند.

شیردوشی با ماشین شیردوش

در دامداری‌های صنعتی از ماشین‌های شیردوش استفاده می‌شود. ماشین‌های شیردوش شیر را از نوک پستان مکش می‌نمایند. اجزای ماشین‌های شیردوش عبارتند از: پمپ خلأ، اتصالات، فنجانک‌های شیردوشی (سرپستانک)، و سیستم ضربان‌ساز که به تناوب حالت مکش و رهاسازی را در فنجانک‌های شیردوش انجام می‌دهد. فنجانک شیردوش با یک حلقه لاستیکی، نوک پستان گاو را فرا می‌گیرد و خلأ ثابتی را با مقدار تقریبی نیم بار^۱ در هنگام شیردوشی ایجاد می‌کند. این فشار با دستگاه ضربان‌ساز متناوباً بین نیم‌بار در هنگام مکش و فشار جو در حالت استراحت تغییر می‌کند، در نتیجه، شیر از داخل مجاری نوک پستانی به داخل دستگاه مکیده می‌شود. در مرحله استراحت فشار از سمت دیوار فنجانک متوقف شده و شیر از مخازن پستانی به داخل مخزن نوک پستانی وارد می‌شود (شکل ۳).



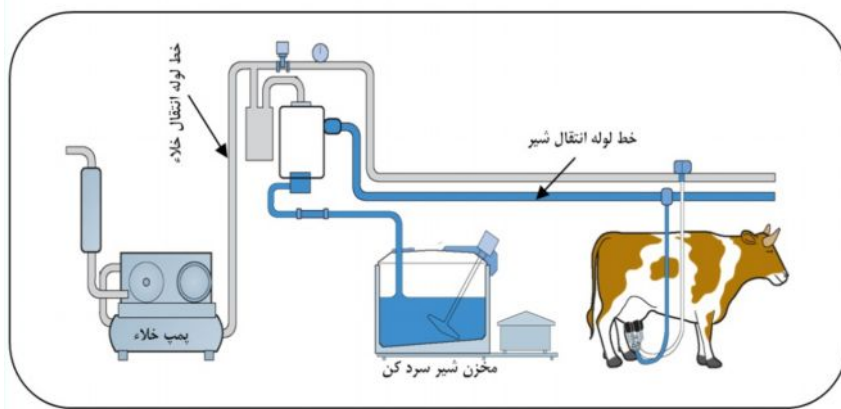
شکل ۳ مراحل کار ماشین شیر دوش

خنک کردن شیر و بهداشت آن

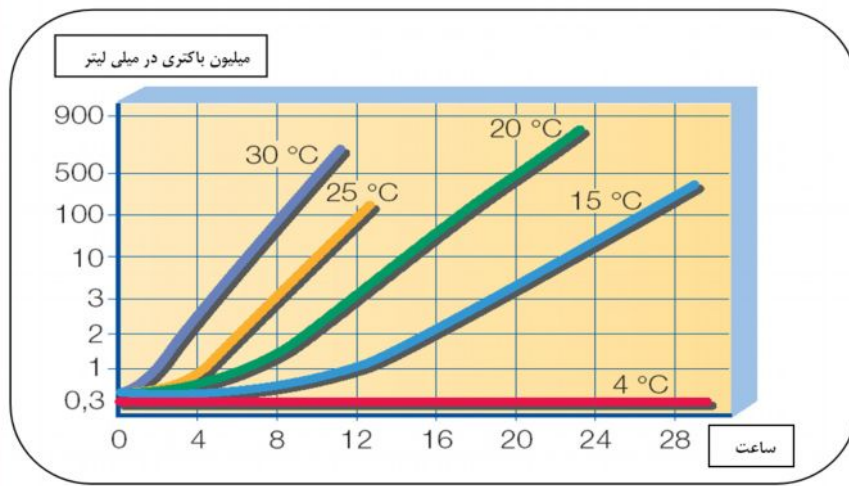
دمای شیر در موقع خروج از پستان دام حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد است. شیر تازه دوشیده شده از دام سالم معمولاً بدون باکتری است. بنابراین، باید از شیر در برابر بروز آلودگی با عوامل محیطی مانند پستان، دست‌های فرد شیردوش، گرد و خاک، قطرات ریز آب، ذرات کاه و پوشال، موهای دام، مدفوع و خاک محافظت کرد. شیر محیط کشت مناسبی برای اغلب میکروارگانیسم‌هاست.

شیر پس از خروج از پستان به علت داشتن یک سیستم آنزیمی به نام سیستم لاکتوپراکسیداز می‌تواند حداکثر به مدت ۲ ساعت در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها مقاومت کند. پس از این مدت به دلیل تجزیه آنزیم این سیستم کارایی خود را از دست می‌دهد بنابراین، شیر اگر بلافاصله پس از دوشش سرد نشود توسط فعالیت میکروارگانیسم‌ها فاسد می‌شود. بهترین دما برای نگهداری شیر ۴ درجه سانتی‌گراد است در این دما فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حداقل است.

در شکل ۴ یک سیستم شیردوش متصل به مخزن سرد شیر دیده می‌شود. در نمودار ۳ تاثیر دماهای مختلف در رشد میکروارگانیسم‌ها در شیر خام نشان داده شده است.



شکل ۴ یک واحد شیر دوش مکانیزه



نمودار ۳ نقش دما در سرعت رشد میکروارگانیسم‌ها در شیر

هنوز هم استفاده از سرما در سالم نگه‌داشتن شیر، یکی از روش‌های مهم برای ارتقای کیفیت بهداشتی آن محسوب می‌شود. عملیات حرارتی تکمیلی در ادامه فرایندهای سالم‌سازی شیر خام در کارخانه‌های فراوری‌کننده شیر انجام می‌پذیرد. باید توجه داشت هر چند عملیات حرارتی پاستوریزه‌کردن می‌تواند تمام میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای راه یافته به داخل شیر خام را نابود سازد، اما همواره تعدادی از باکتری‌های غیربیماری‌زا در شیر زنده باقی می‌مانند که اگر تعداد اولیه آن‌ها در شیر بالا باشد می‌توانند در مراحل بعدی باعث ترش شدن، کاهش کیفیت محصولات شیری و کاهش عمر ماندگاری محصولات تولید شده از آن شوند. در جدول ۱ انواع فرایندهای حرارتی متداول در صنعت شیر نشان داده شده است.

جدول ۱ فرایندهای حرارتی متداول در صنعت شیر

نوع فرایند حرارتی	دما (درجه سلسیوس)	زمان
ترمی‌زاسیون	۵۶-۶۳	۱۵ ثانیه
پاستوریزاسیون LTLT	۶۳	۳۰ دقیقه
پاستوریزاسیون HTST	۷۲-۷۵	۲۰-۱۵ ثانیه
فراپاستوریزاسیون	۱۲۵-۱۳۸	۴-۲ ثانیه
استریل کردن معمولی	۱۱۵-۱۲۰	۳۰-۲۰ دقیقه
استریلیزاسیون UHT	۱۳۵-۱۴۰	چند ثانیه

نمونه سؤالات این فصل

۱. مصرف سرانه شیر به چه معناست و چه تفاوتی بین مصرف سرانه شیر و مصرف سرانه لبنیات وجود دارد؟
۲. کار آلئول‌ها و مجاری موینه در پستان چیست؟
۳. عکس‌العمل خروجی شیر به چه معناست؟
۴. سیستم آنزیمی محافظت‌کننده طبیعی شیر در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها چه نام دارد؟

فصل دوم

شیمی شیر

اهداف رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با ترکیبات شیر،
- ساختار شیمیایی اجزای شیر مانند چربی، کازئین و قند شیر،
- نقش اجزای شیر در تولید فراورده‌های شیری.

ترکیبات شیر

شیر ترکیبی کلونیدی و بسیار پیچیده است که بیشتر ترکیبات آن را آب، چربی، پروتئین‌ها، لاکتوز، ویتامین‌ها و مواد معدنی تشکیل می‌دهند. همچنین، شیر حاوی مقادیر جزئی از مواد دیگر مانند رنگدانه‌ها، آنزیم‌ها، فسفولیپیدها و گازهاست. وقتی آب و گاز را از شیر حذف کنیم ماده خشک^۱ باقی می‌ماند که مقدار طبیعی آن در دام نژادهای مختلف، متفاوت است و متناسب با عوامل مختلفی مانند تغذیه تغییر می‌کند. مقادیر اجزای اصلی شیر گاو به طور قابل توجهی در بین نژادهای مختلف متغیر است (جدول ۱). اصطلاحات مواد جامد تام^۲ و مواد جامد بدون چربی^۳ برای بیان بخشی از ترکیبات شیر به کار می‌رود.

مواد جامد بدون چربی (SNF) = پروتئین‌ها، لاکتوز، مواد معدنی، اسیدها، آنزیم‌ها و ویتامین‌ها
مواد جامد تام = چربی + SNF

برای مثال، بر اساس جدول ۱ مواد جامد بدون چربی برابر ۹/۱ درصد ($9/1 = 3/9 - 13$) است. pH شیر به طور طبیعی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۶/۸ - ۶/۶ است که به طور عمومی ۶/۶ بیان می‌شود.

آب پنیر^۴ بخش مایع جدا شده از انعقاد آنزیمی شیر برای تولید پنیر است و دارای اجزایی چون پروتئین‌های محلول، مقدار جزئی چربی، املاح، لاکتوز، آنزیم‌ها و ویتامین‌های محلول در آب است که به دلیل کاربرد و تعاریف صنعتی، از این واژه در کتاب استفاده می‌شود. سرم شیر^۵ به جزء بدون چربی شیر گفته می‌شود که بیشتر در علوم تغذیه و آزمایشگاهی کاربرد دارد و در این کتاب از آن استفاده نشده است.

1. Dry matter

2. Total solid [TS]

3. Solid non fat [SNF]

4. whey

5. milk serum

چربی شیر

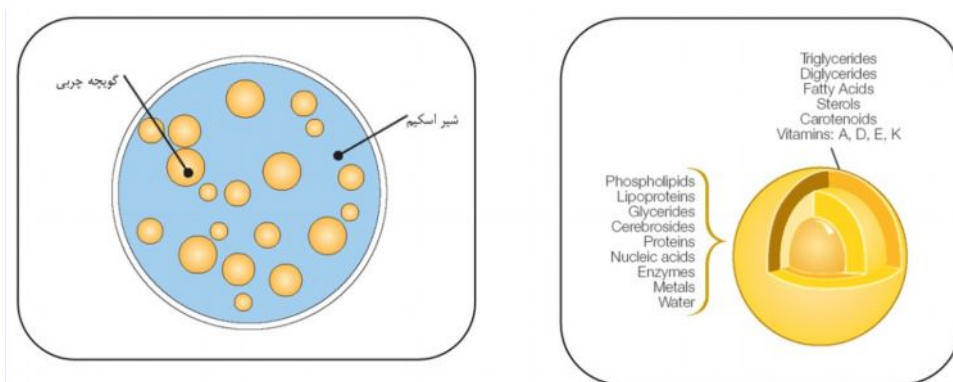
شیر گاو به طور متوسط حدود ۳/۸ درصد چربی دارد. این مقدار در شیر نژادهای مختلف در محدوده ۲-۸ تغییر می‌کند. معمولاً مقدار چربی شیر پاستوریزه در ایران ۲/۵ درصد است. ولی در کشورهای دیگر مقدار چربی شیر فروشگاهی در محدوده ۳ تا ۳/۸ درصد تنظیم می‌شود و در برخی کشورها شیر با همان مقدار چربی طبیعی (شیر کامل) به فروش می‌رسد.

جدول ۱ مقدار اجزای اصلی در ترکیب شیر گاو

مقدار متوسط (%)	محدوده تغییر (%)	اجزای شیر
۸۷/۵	۸۵/۵ - ۸۹/۵	آب
۱۳	۱۰/۵ - ۱۴/۵	جامد تام
۳/۹	۲/۵ - ۶	چربی
۳/۴	۲/۹ - ۵	پروتئین
۴/۸	۳/۶ - ۵/۵	لاکتوز
۰/۸	۰/۶ - ۰/۹	مواد معدنی

چربی به صورت گویچه‌های کوچک و یا قطرات ریز در سرم شیر منتشر است. شیر و خامه نمونه‌هایی از امولسیون روغن در آب هستند. قطر گویچه‌های چربی ۰/۱ تا ۲۰ میکرون (= یک میلیونم متر) است. اندازه متوسط گویچه‌ها حدود ۳-۴ میکرون است و حدود پانزده بلیون گویچه چربی در هر میلی لیتر شیر وجود دارد. امولسیون چربی به کمک غشای نازک محاط کننده گویچه‌ها پایدار می‌شود. ضخامت این غشا در حدود ۱۰-۵ نانومتر (= یک میلیاردم متر) است، این غشا ساختار بسیار پیچیده‌ای دارد. چربی شیر حاوی تری گلیسریدها، دی و مونو گلیسرید، اسیدهای چرب، کارتنوئیدها، ویتامین‌های (K, E, D, A) و مقداری عناصر کمیاب است (شکل ۱).

غشای گویچه‌های چربی حاوی فسفولیپیدها، لیپوپروتئین‌ها، سربروزیدها، پروتئین، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، عناصر کمیاب و آب پیوند شده است. باید توجه داشت که ترکیبات و ضخامت غشا ثابت نیست و مرتباً ترکیبات آن با سرم شیر، در حال تبادل است. با اینکه گویچه چربی بزرگ‌ترین ذره داخل شیر است سبک‌ترین ذره نیز هست.



شکل ۱ نمای چربی در شیر و ساختار و ترکیبات گویچه چربی

اگر یک ظرف شیر برای مدتی به حال خود رها شود چربی به سطح شیر می‌آید. سرعت بالا آمدن گویچه چربی با قانون استوک^۱ محاسبه می‌شود. بر این اساس، گویچه‌های کوچک‌تر با سرعت کمتری به سمت سطح شیر حرکت می‌کنند. به هم‌پیوستن (بستن) خامه ممکن است در نتیجه به هم چسبیدن گویچه‌های چربی تحت نفوذ پروتئینی به نام آگلوتنین، سریع‌تر شود. اجتماع گویچه‌های چربی، سریع‌تر از گویچه‌های منفرد به سطح تمایل پیدا می‌کنند و سرشیر زودتر تشکیل می‌شود. این توده‌ها را می‌توان با عملیات مکانیکی و حرارت درهم شکست. پروتئین آگلوتنین در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه دچار تغییر ماهیت (دناتوره) شده و غیر فعال می‌شود.

ساختار شیمیایی چربی شیر

هنگامی که شیر، از پستان دام با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد خارج می‌شود، چربی داخل آن به صورت مایع است. این بدان معنی است که گویچه چربی به آسانی در اثر عملیات ملایم مکانیکی بدون اینکه غشای آن تخریب شود تغییر شکل می‌دهد. تمام چربی‌ها به گروهی از مواد بیوشیمیایی به نام استرها^۲ تعلق دارند. استرها عامل اسیدی (H^+) و الکلی (H^-) دارند. چربی شیر مخلوطی از استرهای اسیدهای چرب به نام تری‌گلیسرید است. آن‌ها ترکیبی از گلیسرول^۳ و انواع اسیدهای چرب‌اند. اسیدهای چرب تقریباً ۹۰ درصد چربی

1. stoke's law

2. esters

3. glycerol

پروتئین‌های شیر

پروتئین‌ها بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهند. مقدار مورد نیاز پروتئین در روز به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن ۰/۹ گرم یا به ازای هر ۱۰۰۰ کیلوکالری انرژی، ۳۵-۳۰ گرم است که این مقدار در افراد بالغ حدود ۶۰-۷۰ گرم در روز است. پروتئین‌ها مولکول‌های غول‌آسایی هستند که از واحدهای کوچک‌تری به نام اسیدآمینه ساخته شده‌اند. حدود ۲۰ نوع اسیدآمینه در ساختمان پروتئین‌ها وجود دارد. از نظر تغذیه‌ای وجود ۸ نوع اسیدآمینه برای انسان ضروری است، یعنی بدن انسان قادر به ساخت آن‌ها نیست یا به مقدار کم ساخته می‌شوند و باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند. این دسته را اسیدهای آمینه ضروری^۱ می‌نامند. تمام این اسید آمینه‌ها در شیر موجودند.

زنجیر جانبی برخی از اسیدهای آمینه پروتئین‌های شیر، حاوی بار الکتریکی است که نوع مقدار بار آن‌ها با pH شیر مشخص می‌شود. زمانی که pH شیر مثلاً در اثر افزودن یک اسید تغییر کند، بارهای الکتریکی تقسیم شده بر پروتئین‌ها نیز تغییر می‌کنند، هنگامی که تعداد بارهای مثبت و منفی با هم مساوی شوند، در این حالت مولکول‌های پروتئینی نمی‌توانند هم دیگر را دفع کنند و بارهای منفی مولکول با بارهای مثبت مولکول کناری پیوند می‌خورد و توده بزرگی از پروتئین را شکل می‌دهد که در این حالت پروتئین رسوب می‌نماید. pH وقوع این حالت را، نقطه ایزوالکتریک^۲ پروتئین می‌نامند.

شیر حاوی صدها نوع پروتئین است. که مقدار اغلب آن‌ها بسیار کم است. برای سهولت بررسی خواص پروتئین‌های اصلی شیر، آن‌ها را بر اساس تفاوت‌های رفتاری، شکل و موجودیت به سه دسته کازئین‌ها، پروتئین‌های سرمی یا آب پنی‌ری و پروتئین‌های موجود در غشای گویچه چربی تقسیم می‌کنند. مقدار متوسط پروتئین شیر گاو ۳/۵-۳/۴ درصد است. باید توجه داشت که تمام ازت موجود در شیر به صورت پروتئین نیست، تقریباً ۵ درصد آن به صورت ازت غیر پروتئینی است (جدول ۲).

1. Essential amino acid

2. Isoelectric point

جدول ۲ اجزای پروتئینی شیر

اجزای پروتئینی	انواع	مقدار در پروتئین شیر		نسبت کازئین به پروتئین آب پنیر	
		مقدار متوسط %	محدوده تغییر %	مقدار متوسط %	محدوده تغییر %
آلفا اس کازئین	A, B, C, D	۴۳/۵	۳۵ - ۶۳	۵۴/۲	۴۸ - ۶۰
کاپا کازئین	A, B	۱۰/۷	۸ - ۱۵	۱۳/۳	۷ - ۲۱
بتا کازئین	$B_{1,2} (B_2) C, D, E$	۲۴/۲	۱۹ - ۳۵	۳۰/۱	۲۶ - ۴۰
گاما کازئین	$A1, A2, A3, B$	۲	۱ - ۳	۲/۵	۲ - ۴
کازئین		۸۰/۳	۷۶ - ۸۶	۱۰۰	
آلبومین سرمی		۰/۹	۰/۵ - ۱/۳	۴/۶	۲ - ۸
بتا لاکتوگلوبولین	A, B, C, D, Dr	۹/۶	۷ - ۱۴	۴۷/۷	۴۴ - ۵۹
آلفا لاکتالومین	A, B, C	۳/۷	۲ - ۵	۱۸/۸	۱۷ - ۲۲
ایمونوگلوبولین	IgG, IgM, IgA	۲/۲	۱ - ۴	۱۱/۲	۸ - ۱۷
پروتئوز پپتون	دارای ۴ ترکیب	۳/۳	۲ - ۶	۱۶/۸	۱۰ - ۱۹
پروتئین آب پنیر		۱۹/۷	۱۴ - ۲۴	۱۰۰	

کازئین

کازئین^۱ نام دسته بزرگی از پروتئین‌های شیر است که به آسانی با مولکول‌های یکسان یا متنوع، مجموعه‌های خاصی به نام میسل را تشکیل می‌دهند. به دلیل فراوانی گروه‌های یونی و نقاط آب‌گریز و آب‌دوست در این مولکول‌ها آن‌ها خواص ویژه‌ای دارند. این مجموعه‌ها (زنجیرها) که از هزاران مولکول ساخته شده‌اند به صورت محلول کلونیدی در شیر موجودند و رنگ سفید و ملایم شیر بدون چربی را ایجاد می‌کنند. این مجموعه‌ها را میسل کازئین^۲ می‌نامند. حدود ۸۰ درصد پروتئین‌های شیر را کازئین‌ها تشکیل می‌دهند.

انواع کازئین

کازئین دارای چهار زیر گروه اصلی آلفا، کاپا، بتا و گاما است که تفاوت آن‌ها در داشتن یا نداشتن یک یا چند اسید آمینه می‌باشد. آلفا کازئین اجزایی به نام آلفا اس صفر، آلفا اس یک

1. Casein

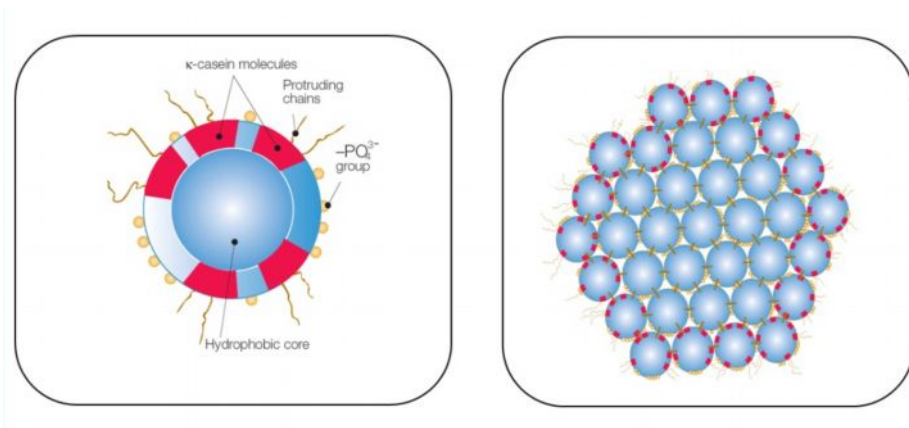
2. Casein micelles

و آلفا اس دو دارد نقطه اشتراک این گروه‌ها داشتن گروه هیدروکسی و اسید فسفریک استریفیه است. اسید فسفریک باعث پیوند کلسیم و منیزیم و تعدادی از نمک‌های ترکیبی با کازئین است.

میسل کازئین

مجموعه‌های به هم پیوسته کازئین که میسل کازئینی نامیده می‌شوند از واحدهای کوچک تری به نام زیر میسل^۱ ساخته شده‌اند اجزای کازئینی به شکل ناهمگون در میسل‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۳).

نمک‌های کلسیم آلفا اس یک کازئین و بتا کازئین تقریباً در آب نامحلولند ولی نمک‌های کاپاکازئین محلول هستند. حضور عمده کاپاکازئین در سطح میسل و محلول بودن نمک کلسیم کاپاکازئینات به آثار نامحلول بودن دو نوع دیگر کازئین غالب می‌شود و تمامی میسل را به صورت محلول کلوتیدی در می‌آورد.



شکل ۳ میسل کازئین و اجزای آن

پروتئین‌های آب‌پنیر

پروتئین‌های آب‌پنیر^۲ نام عمومی پروتئین‌های غیر کازئینه است و چون اساساً این پروتئین‌ها در جریان پنیرسازی وارد بخش آبی می‌شوند به این نام خوانده شده‌اند. گاهی به آن‌ها پروتئین‌های محلول هم گفته می‌شود. این پروتئین‌ها در اثر حرارت تغییر ماهیت

1. sub micelles

2. Whey

می‌دهند ولی در نقطه ایزوالکتریک رسوب نمی‌کنند. می‌توان آن‌ها را با پلی‌الکترولیت‌ها^۱ مانند کربوکسی متیل سلولز رسوب داد. از بین پروتئین‌های آب پنیر، آلفالاکتالبومین ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد و در ترکیب غذاهای رژیمی به کار می‌رود. آلفالاکتالبومین یکی از پروتئین‌های شاخص آب پنیر است و در شیر تمام پستانداران وجود دارد، ولی بتالاکتوگلوبولین که آن هم از پروتئین‌های مهم آب پنیر است، فقط در شیر پستانداران سم‌دار وجود دارد. برخی معتقدند وجود این پروتئین در شیر گاو عامل بروز برخی حساسیت‌ها در کودکان است. بروز طعم پخته در شیرهای حرارت دیده، ناشی از آزاد شدن گوگرد در اثر تخریب پل‌های گوگردی موجود در پروتئین بتالاکتوگلوبولین در اتصال با کاپاکازئین است.

انواع دیگر پروتئین‌ها در شیر

ایمونوگلوبولین‌ها و برخی دیگر از پروتئین‌های کمیاب در شیر، باعث ایمنی در گوساله می‌شوند. مقدار این پروتئین‌ها در شیر آغوز بسیار زیاد است که به تدریج در دوره شیردهی از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود. امروزه، جداسازی برخی از این پروتئین‌ها از شیر و کاربرد آن‌ها جنبه تجاری یافته است که از جمله می‌توان به لاکتوفرین‌ها و لاکتوپراکسیداز اشاره کرد. بخش دیگری از پروتئین‌ها به پروتئین‌های غشایی موسومند و در ساختار غشای گویچه‌های چربی قرار دارند. آن‌ها نقش مهمی در پایداری امولسیون شیر دارند. نقش این پروتئین‌ها در پایداری غشای گویچه چربی مانع از اثر آنزیم‌های لیپولیتیک بر چربی شیر است.

آنزیم‌ها در شیر

آنزیم‌ها دسته خاصی از پروتئین‌ها هستند که بدن موجودات زنده آن‌ها را برای کنترل و ادامه اعمال حیاتی و گوارشی تولید می‌کنند. وجود آنزیم‌ها در شروع و هدایت اغلب واکنش‌های بیوشیمیایی ضروری است، آن‌ها می‌توانند بر سرعت واکنش‌ها نیز تأثیر گذارند بدون اینکه خود مصرف شوند. بدین دلیل آن‌ها را کاتالیزورهای حیاتی^۲ می‌نامند. نحوه عمل اغلب آنزیم‌ها اختصاصی است، یعنی هر نوع آنزیم فقط واکنش خاصی را هدایت می‌نماید. دو عامل مهم که بر عملکرد آنزیم‌ها تأثیر دارد یکی دما و دیگری pH محیط است.

در شیر دو دسته آنزیم وجود دارد: آنزیم‌های اصلی که توسط غدد پستان به داخل شیر راه می‌یابند و آنزیم‌هایی که توسط باکتری‌ها در شیر وارد می‌شوند. با اندازه‌گیری برخی از

آنزیم‌ها می‌توان به میزان عملیات سالم‌سازی حرارتی در شیر پی‌برد. برای مثال، با اندازه‌گیری آنزیم فسفاتاز قلیایی پس از انجام پاستوریزاسیون روی شیر، می‌توان به کفایت حرارتی سیستم پی‌برد، زیرا در شیر پاستوریزه این آنزیم نباید وجود داشته باشد. البته، این آنزیم ممکن است ۲۴ ساعت پس از پاستوریزاسیون مجدداً در شیر فعال شود.

ویتامین‌ها در شیر

ویتامین‌ها دسته‌ای از مواد آلی هستند که با غلظت بسیار کم در گیاهان و جانوران وجود دارند و حضور آن‌ها برای انجام فرایندهای طبیعی موجود زنده بسیار ضروری است. ترکیب شیمیایی ویتامین‌ها بسیار پیچیده است، اما امروزه ساختمان اغلب آن‌ها شناخته شده است. ویتامین‌ها را با حروف بزرگ اول اسمشان می‌شناسند و آن‌ها را به دو گروه محلول در آب و چربی دسته‌بندی می‌کنند. شیر حاوی مقادیر زیادی از انواع ویتامین‌هاست. در جدول ۳ مقدار ویتامین‌های موجود در یک لیتر شیر و مقدار ویتامینی که یک انسان بالغ روزانه به آن نیاز دارد نشان داده شده است.

جدول ۳ ویتامین‌های موجود در شیر و مقدار نیاز روزانه انسان

ویتامین	مقدار در یک لیتر شیر mg/	نیاز روزانه بالغین mg/	بیماری ناشی از کمبود ویتامین
A	۰/۲-۲	۱-۲	شب‌کوری، کاهش قدرت سیستم ایمنی بدن
B1	۰/۴	۱-۲	توقف رشد
B2	۱/۷	۲-۴	کاهش اشتها و سوء هاضمه، اختلالات گوارشی
C	۵-۲۰	۳۰-۱۰۰	بی‌حالی، عفونت لثه، کاهش قدرت سیستم ایمنی بدن
D	۰/۰۰۲	۰/۰۱	اختلالات استخوانی و اسکلتی

مواد معدنی در شیر

غلظت مواد معدنی موجود در شیر کمتر از یک درصد است. نمک‌های معدنی به صورت محلول در سرم شیر یا درون ترکیبات کازئینی وجود دارند. از مهم‌ترین مواد معدنی شیر می‌توان به کلسیم، پتاسیم و منیزیم اشاره کرد. آن‌ها به صورت ترکیباتی چون فسفات‌ها، کلریدها، سیتрат‌ها و کازئینات‌ها در داخل شیر وجود دارند (جدول ۴).

جدول ۴ مقدار مواد معدنی در شیر

مقدار در شیر (گرم در لیتر)		مواد معدنی
محدوده تغییرات	مقدار میانگین	
۰/۹ - ۱/۴	۱/۲۱	کلسیم
۰/۷ - ۱/۲	۰/۹۵	فسفر
۱ - ۲	۱/۵	پتاسیم
۰/۳ - ۰/۷	۰/۴۷	سدیم
۰/۸ - ۱/۴	۱/۰۳	کلر
۰/۰۵ - ۰/۲۴	۰/۱۲	منیزیم
۰/۲ - ۰/۴	۰/۳۲	گوگرد

کربوهیدرات‌ها در شیر

کربوهیدرات‌ها مهم‌ترین منبع انرژی در غذای انسان محسوب می‌شوند. لاکتوز، قند اختصاصی شیر، به این گروه تعلق دارد. لاکتوز مولکولی دو قندی است که از یک مولکول گلوکز و یک مولکول گالاکتوز ساخته شده است. مقدار لاکتوز شیر ۵/۵ - ۳/۶ درصد است. لاکتوز از نظر تغذیه‌ای نقش مهمی در جذب کلسیم شیر در بدن دارد. برخی از افراد در دستگاه گوارشی خود آنزیم تجزیه‌کننده لاکتوز را ندارند. بنابراین، اگر آن‌ها شیر بنوشند دچار نفخ و سایر اختلالات گوارشی می‌شوند، به این حالت عدم تحمل لاکتوز^۱ گفته می‌شود. این افراد می‌توانند فراورده‌های تخمیری شیر مانند ماست و پنیر را که لاکتوز آن‌ها در اثر فرایند تخمیر کاملاً تجزیه شده است و یا از شیری که لاکتوز آن قبلاً با آنزیم تجزیه شده و اصطلاحاً شیر کم لاکتوز گفته می‌شود بدون نگرانی مصرف کنند.

لاکتوز نقش مهمی در تولید فراورده‌های تخمیری شیر دارد. میکروارگانیسم‌ها در فرایند تخمیری این قند را تخمیر و شیر را اسیدی می‌کنند. اگر شیر در معرض دمای بالا قرار داده شود این قند با پروتئین‌های شیر ترکیب می‌شود که این واکنش به میلارد معروف است و در نتیجه شیر به رنگ قهوه‌ای و یا رنگ سوخته در می‌آید.

نمونه سؤالات این فصل

۱. ماده خشک در شیر به چه معناست؟
۲. عامل پروتئینی به هم چسبانیدن گویچه های چربی چه نام دارد؟
۳. زیرمیسرها از چه اجزایی تشکیل شده اند؟
۴. کفایت حرارتی شیر پاستوریزه با بررسی حضور چه آنزیمی سنجیده می شود؟
۵. بیشترین مقدار ماده معدنی در شیر به چه عنصری تعلق دارد؟

فصل سوم

میکروبیولوژی شیر

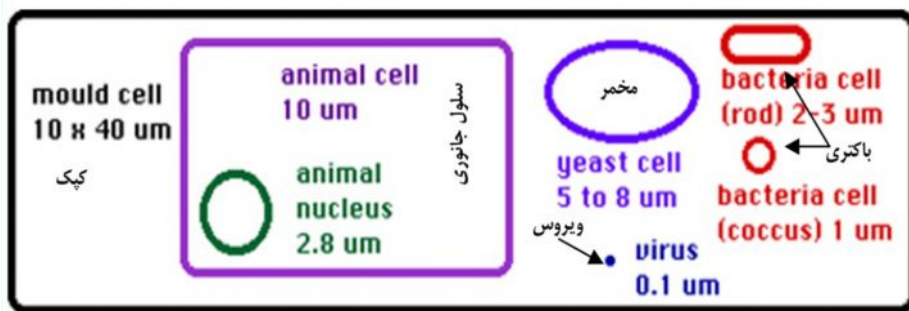
اهداف رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- فلور میکروبی طبیعی شیر،
- تاثیر میکروارگانیسم‌ها بر اجزای شیر،
- میکروارگانیسم‌های صنعتی مورد استفاده در صنعت شیر،
- اصول کنترل و مهار آلودگی‌ها در صنعت غذا.

شیر با داشتن مواد مغذی لازم، محیط مناسبی برای رشد اغلب میکروارگانیسم‌هاست. بنابراین، طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به رشد و نمو و تکثیر در شیر هستند. شرایط مختلف دمایی مانند دمای پایین و یا دمای محیط و حتی دمای حدود ۵۵ درجه سانتیگراد می‌تواند شیر را برای رشد انواع مختلف باکتریایی آماده کند.

در اثر رشد باکتری‌ها در شیر، متابولیت‌ها و آنزیم‌های متفاوتی تولید می‌شوند. متابولیت‌های اولیه ترکیباتی هستند که میکروارگانیسم‌ها در ابتدای فاز رشد لگاریتمی برای بهینه‌سازی شرایط محیط تولید می‌کنند که از آن جمله می‌توان به تولید برخی ویتامین‌های گروه B اشاره کرد. متابولیت‌های ثانویه اغلب در انتهای فاز رشد لگاریتمی و فاز توقف رشد باکتری تولید می‌شوند که نقش آن‌ها معمولاً نامناسب کردن شرایط برای رشد دیگر میکروارگانیسم‌های موجود در محیط است، ترکیبات ستنی و پنی‌سیلین از این دسته موادند. شیر همچنین حاوی مقداری آنزیم باکتریایی نیز هست که حاصل ترشح باکتری‌های موجود در شیر خام است. باکتری‌ها آنزیم‌های متفاوتی را برای سهولت مصرف ترکیبات مورد نیاز خود در محیط ترشح می‌کنند. شیر دوشیده شده در شرایط بهداشتی مناسب ممکن است حاوی چند هزار باکتری در هر میلی لیتر باشد. در صورت عدم رعایت استانداردهای بهداشتی در دامداری، تعداد باکتری‌ها در شیر خام می‌تواند به بیش از چند میلیون در میلی لیتر برسد. در شکل یک نمای شماتیک مقایسه‌ای ابعاد میکروارگانیسم‌های موجود در شیر خام نشان داده شده است.



شکل ۱ نمای شماتیک میکروارگانیسم‌ها در شیر خام

فلور طبیعی شیر خام

شیر هنگام تولید در پستان دام سالم کاملاً عاری از میکروب است، اما بسرعت با باکتری‌ها حتی قبل از خروج از پستان آلوده می‌شود. زیرا همواره تعدادی میکروارگانیسم در مجرای خروجی پستان وجود دارد. البته بجز مواردی که دام مبتلا به بیماری التهاب پستان باشد، تعداد میکروارگانیسم‌های آلوده‌کننده در این مراحل زیاد نیستند. بیشترین راه ورود میکروارگانیسم‌ها به داخل شیر از طریق شیردوشی، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و دیگر عوامل آلوده‌کننده در محیط است.

دسته‌بندی میکروارگانیسم‌ها در شیر

همان طور که بیان شد دسته‌های بزرگی از میکروارگانیسم‌ها اگر داخل شیر شوند به آسانی می‌توانند در آن رشد و تکثیر یابند که از جمله می‌توان به باکتری‌های اسید لاکتیک، باکتری‌های کلیفرم، باکتری‌های اسید بوتیریک، باکتری‌های اسید پروپیونیک اشاره کرد.

باکتری‌های لاکتیک

این گروه از باکتری‌ها می‌توانند لاکتوز را به اسید لاکتیک تجزیه نمایند. آن‌ها به طور معمول و طبیعی در شیر وجود دارند و از انواع خاصی از آن‌ها که به طریقه صنعتی تهیه می‌شوند به عنوان کشت‌های آغازگر برای تولید فراورده‌های تخمیری مانند ماست استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر تغییراتی در دسته‌بندی و نام‌گذاری این گروه از باکتری‌ها ایجاد شده که در جدول یک نشان داده شده است.

جدول ۱ نام‌گذاری برخی از گونه‌های تجاری باکتری‌های اسید لاکتیک

نام باکتری	زیر گونه‌ها	نام قدیم
لاکتوکوکوس	لاکتوکوکوس دلبروکی زیرگونه لاکتیس	استرپتوکوکوس لاکتیس
	لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه کرموریس	استرپتوکوکوس کرموریس
لاکتوباسیل	لاکتوباسیلوس کارژی	
	لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه لاکتیس	لاکتوباسیلوس لاکتیس
	لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بلگاریکوس	لاکتوباسیلوس بلگاریکوس
لوکونوستوک	لوکونوستوک مزنتروئید زیرگونه کرموریس	-

کلیفرم‌ها

کلیفرم‌ها میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی اختیاری‌اند که دمای مناسب رشد آن‌ها حدود ۳۷ درجه سانتیگراد است و آن‌ها را می‌توان در دستگاه گوارش جانوران، خاک، آب آلوده و گیاهان یافت. آن‌ها لاکتوز را با تخمیر به اسید لاکتیک و دیگر اسیدهای آلی، دی‌اکسیدکربن و هیدروژن تبدیل کرده و پروتئین شیر را تجزیه می‌کنند. از این میکروارگانیسم‌ها به عنوان شاخص در بررسی‌های بهداشتی مواد غذایی استفاده می‌شود. یعنی وجود بیش از حد استاندارد آن‌ها در غذاهای فراوری شده نشانه بروز آلودگی ثانویه در مواد غذایی و غیر قابل مصرف بودن آن‌هاست (طبق استاندارد شماره ۲۴۰۶ وجود حداکثر ۱۰ عدد کلیفرم در هر میلی لیتر شیر پاستوریزه و یا هر گرم از محصولات پاستوریزه مجاز است، البته باید تعداد اشرشیاکلی منفی باشد). این میکروارگانیسم‌ها ممکن است باعث بروز بیماری و عوارض گوارشی در افراد مستعد شوند، انجام پاستوریزاسیون به روش HTST باعث نابودی کامل اشرشیاکلی می‌شود. بنابراین، وجود آن‌ها در شیر پاستوریزه نشانه بروز آلودگی ثانویه است.

باکتری‌های اسید بوتیریک

اصطلاح باکتری‌های اسید بوتیریک به دسته‌ای از میکروارگانیسم‌های فاسدکننده گفته می‌شود که می‌توانند اسید بوتیریک را تجزیه و ترکیبات بودار فرار تولید کنند. در این حالت شیر برای تولید فراورده‌هایی مانند کره، خامه و پنیر نامساعد می‌شود. اغلب این باکتری‌ها مولد اسپور بوده و از طریق علوفه سیلو شده وارد بدن دام می‌شوند و شیر را آلوده می‌سازند. از این دسته باکتری‌ها می‌توان به کلسترییدیوم بوتیریکوم و کلسترییدیوم کولیواری اشاره کرد.

اهمیت بررسی میکروارگانیسم‌ها در شیر

بررسی شمارش کلی باکتری‌ها در شیر خام نشانه وضعیت کیفی شیر است. اگر شیر خام تعداد میکروارگانیسم‌های بالایی داشته باشد تمام عملیات‌های بعدی سالم سازی نمی‌توانند افت کیفیت ناشی از وجود تعداد بالای میکروارگانیسم‌ها را در شیر جبران کنند. در این زمینه باید به نکات زیر توجه کرد:

- از محتوای میکروبی شیر می‌توان به عنوان معیاری برای داوری در خصوص کیفیت تولید بهداشتی آن و شرایط تولید، استفاده کرد.

- شیر محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، بخصوص عوامل میکروبی بیماری‌های مشترک انسان و دام است، از این رو باید برای به حداقل رساندن احتمال ورود این میکروارگانیسم‌ها به شیر و در نهایت نابودی آن‌ها در اثر فرایندهای حرارتی تمهیدات لازم به کار برده شود.
- میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده پروتئین، تولیدکننده آنزیم و اسپورزا با ایجاد تغییرات شیمیایی در شیر می‌توانند در تولید برخی فراورده‌های تخمیری مانند ماست و پنیر مشکل ایجاد کنند. از این رو، شیر باید همواره به صورت بهداشتی جمع‌آوری و ذخیره‌سازی شود.

فساد میکروبی در شیر

وجود میکروب در شیر خام در تولید فراورده‌های لبنی بسیار تأثیر دارد. معمولاً در اثر فساد میکروبی در بافت، رنگ، عطر و طعم فراورده‌ها تغییراتی ایجاد می‌شود که مصرف آن‌ها برای انسان زیان‌آور است. فساد ممکن است ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها یا تأثیر آنزیم آن‌ها بر پروتئین‌ها، چربی‌ها و قند شیر باشد.

میکروارگانیسم‌های مولد فساد در شیر، اغلب از انواع سرمادوست‌ها هستند، هرچند عملیات پاستوریزاسیون می‌تواند تمام میکروارگانیسم‌های سرمادوست را نابود سازد، اما تعدادی از آن‌ها مانند سودوموناس فلورسنس و سودوموناس فراژی می‌توانند آنزیم‌های لیپولیتیک و پروتئولیتیک در محیط ترشح کنند که در برابر عملیات حرارتی مقاوم‌اند و از شرایط پاستوریزاسیون عبور می‌کنند. این آنزیم‌ها مدتی پس از پاستوریزاسیون مجدداً فعال شده باعث بروز فساد و تجزیه شیر می‌شوند. اگر از چنین شیری برای تولید پنیر استفاده شود، محصول نهایی افت کیفیت شدید خواهد داشت.

برخی جنس و گونه‌های باسیلوس‌ها، کورینه باکتریوم، آئروباکتر، لاکتوباسیلوس، میکروباکتریوم، میکروکوکوس و استرپتوکوکوس می‌توانند پس از عملیات پاستوریزاسیون زنده بمانند و در شرایط یخچالی رشد کنند و سبب بروز فساد در شیر شوند.

میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در شیر

هدف از سالم‌سازی شیر از بین بردن احتمال انتقال میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مانند سل، بروسلاز (عامل تب مالت) و حصه از شیر به انسان است. مصرف شیر خام یا شیری که حرارت مناسب را ندیده باشد و هم‌چنین فراورده‌های تولید شده از شیر غیرپاستوریزه

می‌توانند سبب بروز بیماری‌هایی با منشأ غذا، در انسان شوند. با وجود ارتقای بهداشت در تولید شیرخام در دامداری‌های صنعتی و توجه به سلامتی دام‌های تولیدکننده شیر، هنوز بروز برخی بیماری‌ها با منشأ غذا به‌وسیله ارگانسیم‌های آلوده کننده ذیل از نگرانی‌های سازمان‌های کنترل کننده بهداشت است.

- باسیلوس سرئوس (عامل بیماری شدید گوارشی)،
 - لیستریا مونوسیتوزنز (عامل التهاب پرده مغز)،
 - یرسینیا انتروکولیتیکا (عامل بیماری دستگاه گوارش)،
 - زیر گونه‌های سالمونلا (عامل بیماری عفونی و التهابی دستگاه گوارش و خونریزی)،
 - اشرشیاکلی (عامل عوارض گوارشی)،
 - کامپیلوباکتر ججونی (عامل بیماری گوارشی بخصوص در کودکان).
- باید توجه داشت برخی کپک‌ها مانند آسپرژیلوس، فوزاریوم و پنیسیلیوم می‌توانند در شیر و فراورده‌های لبنی رشد کنند. آن‌ها در شرایط مناسب می‌توانند مایکوتوکسین (سم) در محیط تولید کنند که برای سلامتی انسان زیان آورند.

مهار آلودگی‌ها با کنترل نقاط بحرانی

امروزه آموزش و پیاده‌سازی سیستم‌های تحلیل مخاطرات و کنترل نقاط بحرانی برای مهار آلودگی‌ها در کارخانه‌های فراوری کننده لبنی کاربرد وسیعی یافته است. هدف از مطالب ذیل آشنایی مختصر با اصول این سیستم است. علاقه‌مندان می‌توانند برای اطلاعات بیشتر به منابع مرتبط مراجعه کنند.

معمولاً برای کنترل سطح آلودگی‌ها در مواد غذایی از بررسی مواد خام و محصول نهایی استفاده می‌شود. هر چند هدف از این کار کاهش بروز عیوب و کاستی‌ها در محصول نهایی است اما این کار نقیصه‌های زیادی به همراه دارد.

۱- هزینه زیادی لازم دارد (انجام هر آزمایش به زمان و هزینه زیادی با توجه به نوع آن نیاز دارد).

۲- وقت گیر است (بسیاری از آزمون‌ها - بخصوص کشت‌های میکروبی- به زمان نسبتاً طولانی حتی تا چند روز، برای نتیجه‌گیری قطعی نیاز دارند).

۳- اگر اندازه محموله بزرگ و مقدار نمونه‌ها کم باشد، جواب به‌دست آمده با درجه اطمینان کمتری قابلیت تعمیم به کل محموله را دارد.

۴- باعث ایجاد تاخیر در ارائه محصول به بازار می‌شود.
در سال ۱۹۶۰ شرکت پیلس‌بوری^۱ با کمک ارتش و سازمان فضایی (ناسا) امریکا، برنامه‌ای را برای تولید غذاهای غیربیماری‌زا برای فضاوردان طراحی کرد. این سیستم که بعدها به HACCP^۲ معروف شد بر کنترل نقاط بحرانی و اطمینان از سلامتی غذا تکیه داشت. در این سیستم با تاکید بر نقاط بحرانی فرایند تولید و تعیین مراحل‌لی که ممکن است آلودگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در آن روی دهد، روند تولید تحت نظارت قرار گرفت تا محصول معیوب تولید نشود. این کار بر خلاف سیستم نظارتی کنترل محصول نهایی، باعث کاهش تولید محصولات معیوب شده که با کاهش هزینه‌های تولید نیز همراه است و علاوه بر آن اطمینان از تولید محصول بدون عیب را افزایش خواهد داد. نقاط تعیین شده برای کنترل در این سیستم را نقاط کنترل بحرانی می‌نامند و هفت اصل زیر در این سیستم کاربرد دارد.

- ۱- تجزیه و تحلیل مخاطرات،
 - ۲- تعیین نقاط کنترل بحرانی،
 - ۳- تعیین حد بحرانی،
 - ۴- برقراری شیوه‌های پایش،
 - ۵- برقراری شیوه اندازه‌گیری و محدوده انحراف از معیار،
 - ۶- برقراری شیوه تایید فرایندها،
 - ۷- برقراری شیوه ثبت و نگهداری اسناد.
- برقراری این سیستم به اجرای برنامه‌های پیش‌نیاز و مقدمات زیر نیاز دارد:
- برنامه‌های پیش‌نیاز عبارتند از: طراحی بهداشتی تاسیسات، امکانات، تجهیزات و ابزارکار، بهداشت محیط کار، نابودسازی ضایعات، مبارزه با جانوران موزی، بهداشت کارکنان، بهداشت فرایند تولید، و آموزش.
- مقدمات اجرایی عبارتند از:
- تشکیل گروه HACCP،
 - شرح و توصیف فراورده‌های خوراکی و نحوه عرضه آن به بازار،
 - شناسایی مورد مصرف و گروه انسانی مصرف کننده،
 - ترسیم نمودار جریان مواد و روش تولید فراورده خوراکی،
 - پژوهش درباره تطابق عملی نمودار جریان تولید.

1. Pillsbury

2. Hazard Analysis Critical Control Point

کشت‌های آغازگر

در صنعت لبنی برای تولید برخی محصولات تخمیری مانند ماست و پنیر از میکروارگانیسم‌های خاصی استفاده می‌شود که کشت‌های آغازگر^۱ نامیده می‌شوند. هر چند اغلب این میکروارگانیسم‌ها به طور طبیعی در شیر حضور دارند، اما ممکن است بازده عملکرد آن‌ها پایین و یا غیر قابل کنترل باشد و حتی در حین فرایندهای سالم‌سازی حرارتی از بین رفته باشند. کشت‌های آغازگر که در شیر رشد می‌کنند ویژگی‌های خاصی دارند. برای مثال اولین عمل کشت آغازگر لاکتیکی تولید اسید لاکتیک از لاکتوز است. از مشخصه‌های دیگر کشت‌های آغازگر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تولید عطر و طعم و مزه و در موارد خاص تولید الکل،
- داشتن فعالیت‌های پروتئولیتیکی و لیپولیتیکی،
- ممانعت از رشد میکروارگانیسم‌های مزاحم موجود در محیط،
- به طور کلی می‌توان کشت‌های آغازگر را به دو دسته تقسیم‌بندی کرد:
- ۱- کشت‌های آغازگر ساده که ممکن است به صورت تک‌نژادی یا دارای چند گونه میکروارگانیسم ولی از یک جنس باشند.
- ۲- کشت‌های آغازگر مخلوط، که در این کشت‌ها چند جنس و گونه مختلف باکتری وجود دارد که هریک ویژگی‌ها و عملکرد خاص خود را دارند.
- کشت‌های آغازگر را براساس دمای مناسب رشدشان می‌توان به صورت میانه‌دوست^۲ و گرمادوست^۳ نیز تقسیم بندی کرد:

میانه‌دوست‌ها:

از میکروارگانیسم‌های معروف این گروه می‌توان به چند نمونه زیر اشاره کرد:

- لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه کرموریس،
- لاکتوکوکوس دلبروکی زیرگونه لاکتیس،
- لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه دی استی لاکتیس،
- لاکونوستوک مزوتروئید زیرگونه کرموریس.

1. Starter cultures

2. Mesophilic

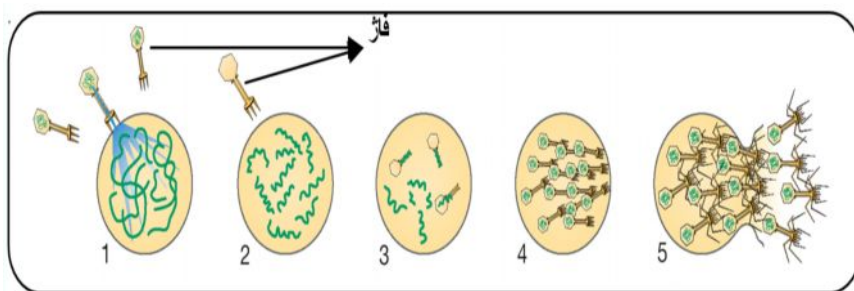
3. Termophilic

گرمادوست‌ها:

- از میکروارگانیسم‌های معروف این گروه نیز می‌توان به چند نمونه زیر اشاره نمود:
- استرپتوکوکوس سالیواروس زیرگونه ترموفیلوس (استرپتوکوکوس ترموفیلوس)،
 - لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بلگاریکوس،
 - لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه لاکتیس،
 - لاکتوباسیلوس کازئی،
 - لاکتوباسیلوس هلوتیتیکوس،
 - لاکتوباسیلوس پلانتاروم.
- در صنعت ممکن است از مخلوطی از کشت‌های میانه‌دوست و گرمادوست برای تولید برخی پنیرها استفاده شود.

باکتریوفاژها

باکتریوفاژها^۱ ویروس‌هایی هستند که برای رشد و تکثیر خود به سلول باکتریایی نیاز دارند. آنان پس از ورود به محیط با چسبیدن به دیواره سلولی باکتری، مواد هسته‌ای خود را به داخل آن تزریق می‌کنند. سپس با فریب دستگاه سازنده پروتئین باکتری، آن را وادار به تولید مولکول DNA خود (فاژ) می‌کنند. سرانجام با ازدیاد تولید فاژ، سلول باکتری متلاشی می‌شود و فاژها در محیط آزاد می‌شوند. (شکل ۲). فاژها معمولاً اختصاصی‌اند یعنی هر نوع فاژ فقط می‌تواند گونه خاصی از باکتری‌ها را آلوده سازد.



شکل ۲ نمای شماتیک رشد و تکثیر فاژ در داخل سلول باکتری

فاژها همه جا وجود دارند، اما معمولاً از طریق دامداری وارد کارخانه‌های فراوری‌کننده شیر می‌شوند. دمای پاستوریزاسیون فاژها را نابود می‌سازد، ولی اگر فاژها به داخل کشت‌های آغازگر راه یابند به سرعت آن‌را تخریب می‌کنند. باکتری‌های لاکتیکی بشدت در مقابل آلودگی فاژ حساس‌اند و در صورت آلودگی، در مدت چند ساعت کشت آغازگر کاملاً نابود می‌شود. اگر از این کشت‌های آلوده برای تولید فراورده‌های تخمیری مانند ماست یا پنیر استفاده شود محصول خوبی تولید نخواهد شد.

آماده‌سازی و استفاده از کشت‌های آغازگر

اغلب شرکت‌های تولیدکننده کشت‌های آغازگر محصول خود را به صورت لیوفلیزه (خشک شده در انجماد)، یا پودر (خشک شده با خشک‌کن پاششی) که در تحت گاز بی اثر بسته‌بندی شده عرضه می‌کنند. برخی شرکت‌ها نیز فراورده‌هایی را به صورت منجمد یا مایع عرضه می‌دارند. آنها معمولاً اطلاعاتی را در خصوص نحوه آماده‌سازی محصول خود عرضه می‌کنند که برای مصرف‌کننده بسیار مفید است. به طور کلی، از مراحل زیر برای آماده‌سازی و استفاده از کشت‌های آغازگر تجاری استفاده می‌شود. هرچند ممکن است برخی از این مراحل امروزه کاربرد نداشته باشد.

کشت‌های تجاری ➤ تهیه کشت مادر در آزمایشگاه ➤ تهیه کشت‌های بینابینی در حجم‌های بالاتر در داخل ویسکوباتور ➤ تهیه کشت نهایی برای تلقیح (تزریق به داخل شیر با پمپ‌های تلقیح‌کننده).

کشت‌های مستقیم ➤ این نوع کشت به‌طور مستقیم به داخل حجم خاصی از شیر افزوده می‌شود.

امروزه برخی از تولیدکنندگان کشت‌های آغازگر، محیط‌های اختصاصی خاصی را برای تهیه کشت‌های بینابینی توصیه می‌نمایند که این محیط‌ها اغلب ضد فاژند باید توجه داشت که طیف وسیعی از مواد ضد باکتری می‌توانند مانع رشد باکتری‌های آغازگر در شیر شوند که از آن جمله می‌توان به آنتی بیوتیک‌ها، باقیمانده مواد شوینده و پاک‌کننده، باقیمانده آفت‌کش‌ها، سموم گیاهی و توکسین‌ها اشاره کرد. وجود هرکدام از این مواد در شیر مانع رشد کشت‌های آغازگر خواهد شد.

نمونه سؤالات این فصل

۱. یافتن کدام دسته از میکروارگانیسم‌ها در شیر پاستوریزه نشانه بروز آلودگی ثانویه است؟
۲. چه نوع میکروارگانیسم‌هایی بیشتر شیر پاستوریزه را فاسد می‌کنند؟
۳. کشت‌های آغازگر چیست؟
۴. میکروارگانیسم‌ها با استفاده از کدام ماده موجود در شیر اسید لاکتیک تولید می‌کنند؟
۵. باکتریوفاژ چیست و چه نقشی در صنعت لبنی دارد؟

فصل چهارم

جمع آوری و دریافت شیر

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- روش‌های مختلف جمع آوری و دریافت شیر خام،
- سیستم‌های بهداشتی نقل و انتقال شیر به کارخانه،
- روش‌های اندازه‌گیری مقدار شیر دریافتی.

جمع‌آوری شیر از دامداری‌های کوچک و بزرگ و انتقال آن به کارخانه عملیات بزرگ و مخاطره‌آمیزی برای شیر محسوب می‌شود، زیرا شیر خام در این شرایط ممکن است در اثر فعالیت میکروارگانیسم‌ها یا صدمات فیزیکی آسیب ببیند. روش‌های گوناگون جمع‌آوری شیر سال‌ها قدمت دارد. جمع‌آوری از ۲-۳ لیتر شیر در داخل ظروف ساخته شده از پوست کدو و کوزه گلی شروع شده تا اکنون که به مخازن جدید مجهز به سیستم‌های سردکننده با قابلیت جمع‌آوری هزاران لیتر شیر منتهی گشته است.

در ایران دو نوع سیستم انتقال و جمع‌آوری شیر وجود دارد: واحدهای بزرگ دامپروری شیر خود را پس از دوشش و سردکردن هر روز به کارخانه‌های طرف قرارداد تحویل می‌دهند، برای جمع‌آوری شیر واحدهای کوچک‌تر و دامداران خرده‌پا از مراکز جمع‌آوری شیر استفاده می‌شود. این مراکز که در فاصله‌های مناسب از دامداری‌های کوچک احداث شده، هر روز در دو نوبت صبح و عصر شیر را از دامداران تحویل می‌گیرند. شیر جمع‌آوری شده در این مراکز پس از سردشدن تحویل کارخانه‌های طرف قرارداد می‌شود. وضعیت نامناسب بهداشتی در دامداری‌ها، نبود سیستم خنک‌کننده و ذخیره‌سازی مناسب شیر، دوری مسافت، نداشتن ماشین‌های حمل‌کننده شیر با شرایط بهداشتی، همگی از پرمخاطره بودن جمع‌آوری شیر حکایت دارد.

سرد نگه‌داشتن شیر

شیر باید بلافاصله پس از دوشیدن تا ۴ درجه سانتیگراد سرد شود و تا زمان تحویل به کارخانه در همین دما باقی بماند. اگر زنجیره سرما در هر نقطه از مسیر مثلاً هنگام انتقال شیر از دامداری به کارخانه شکسته شود میکروارگانیسم‌های موجود در شیر شروع به رشد و ازدیاد نموده و همراه با آن مواد متابولیکی و آنزیم‌های مختلف در شیر ترشح می‌کنند. هرچند سردکردن مجدد روند رشد را کند و یا متوقف می‌کند، ولی کیفیت شیر به علت ایجاد مواد متابولیکی و آنزیم‌های مختلف، توسط باکتری‌های موجود کاهش خواهد یافت.

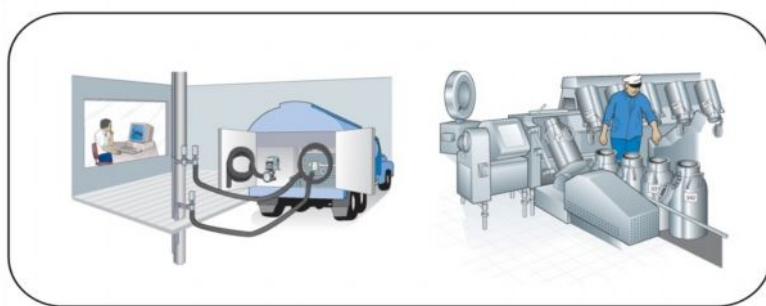
جمع‌آوری شیر

در دامداری‌های بزرگ معمولاً شیر را با ماشین شیردوش می‌دوشند و پس از سرد کردن در مخازن بزرگ استیل تا هنگام بارگیری نگهداری می‌شود. در این دامداری‌ها ممکن است شیر روزانه، یک روز در میان یا هر دو روز یکبار به کارخانه تحویل داده شود. شیر دامداری‌های صنعتی به دلیل حفظ چرخه سرما و شرایط بهداشتی مناسب کیفیت بالایی دارد. دامداری‌های کوچک و خرده‌پا باید شیر را پس از دوشش در داخل ظروف دردار فلزی از جنس استیل زنگ نزن یا آلومینیومی ریخته و به مراکز جمع‌آوری تحویل دهند. در مراکز جمع‌آوری پس از کنترل بهداشتی شیر، آن را توزین و پس از عبور دادن از صافی توری، در مخازن شیر سردکن ذخیره می‌سازند. مشکل استفاده از مخازن شیر سردکن اختلاط شیر گرم با شیر سرد است که مانع کافی بودن سرما می‌شود، این کار دمای شیر را تا حد مناسب رشد میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌دهد که ممکن است مشکلاتی را به همراه آورد. بنابراین، استفاده از سیستم‌های سردکننده صفحه‌ای^۱ در مراکز جمع‌آوری شیر توصیه می‌شود. در این سیستم‌ها بهتر است شیر پس از سرد شدن با سردکننده‌های صفحه‌ای، در داخل مخازن ذخیره‌سازی و یا شیر سردکن‌ها تا هنگام بارگیری به کارخانه نگهداری شود. بهترین دمای سرد کردن و نگهداری شیر ۴-۵ درجه سانتیگراد است ولی به هر حال نباید دمای نهایی هنگام تحویل شیر به کارخانه بالاتر از ۱۰ درجه سانتیگراد باشد. همچنین شیر نباید منجمد شده باشد.

حمل شیر از دامداری تا کارخانه

شیر به صورت‌های گوناگون به کارخانه حمل می‌شود. شیر ممکن است درون ظروف فلزی دردار از جنس استیل یا آلومینیوم (بیدون) با ظرفیت ۵۰-۳۰ لیتر با وانت به کارخانه حمل شود، در این حالت باید چرخه سرما تا هنگام تحویل به کارخانه حفظ شود. در کارخانه پس از توزین شیر را دریافت می‌نمایند. ظروف خالی شده باید برای استفاده مجدد با دقت فراوان شسته و ضدعفونی شوند. امروزه اغلب شیر را با مخازن استیل نصب شده روی وانت یا کامیون به کارخانه حمل می‌کنند. در کارخانه با اتصال لوله خروجی مخزن به سیستم دریافت‌کننده، شیر از طریق خط لوله به کمک پمپ دریافت می‌شود. میزان شیر دریافتی را با کنتور نصب شده در مسیر مشخص می‌کنند (شکل ۱).

مخازن حمل شیر نیز باید پس از تخلیه بخوبی شسته و ضدعفونی شوند. نکته مهم در حمل و نقل شیر خام ممانعت از تکان خوردن شدید آن است، زیرا این کار باعث ورود هوا به داخل شیر می‌شود که می‌تواند اکسیداسیون چربی را سریع‌تر کند. همچنین، تکان‌های شدید موجب پارگی غشای گویچه‌های چربی می‌شود که شرایط را برای اثر آنزیم‌های لیپاز موجود در شیر خام که به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها ترشح شده‌اند، مساعد می‌سازد. به همین دلیل، مخازن حمل شیر خام چند خانه‌اند و در هنگام بارگیری باید توجه شود که هر خانه کاملاً از شیر پر شود.



شکل ۱ روش‌های دریافت شیر خام در کارخانه

آزمایش‌های کیفی و کمی شیر خام

شیر خام هنگام دریافت بررسی مشاهده‌ای و آزمایشگاهی می‌شود. در مراکز جمع‌آوری با افزودن چند قطره متیلن‌بلو وضعیت احیاء‌کنندگی باکتری‌ها به‌طور کیفی بررسی می‌شود. سرعت تغییر رنگ نشانه تعداد بالای باکتری در شیر است. در کارخانه کیفیت رنگ، عطر و بوی شیر مشاهده می‌شود که باید در حد طبیعی باشد. بررسی‌های آزمایشگاهی روی مقدار چربی، نقطه انجماد، شمارش کلی میکروبی (توتال کانت)، مقدار پروتئین، تعداد سلول‌های سوماتیک، تست رسوبی و انعقاد الکلی انجام می‌شود، البته ممکن است همه این آزمایش‌ها برای هر نمونه در هر روز انجام نشود. مثلاً بررسی شمارش کلی و سلول‌های سوماتیک هر چند روز یکبار روی نمونه‌ها اعمال شود، ولی نتایج آزمایش‌های مقدار چربی، پروتئین و نقطه انجماد هر بار برای پرداخت بهای شیر ضروری است. اخیراً بار میکروبی شیر نیز بر قیمت آن تأثیر گذار است.

اندازه‌گیری مقدار شیر دریافتی

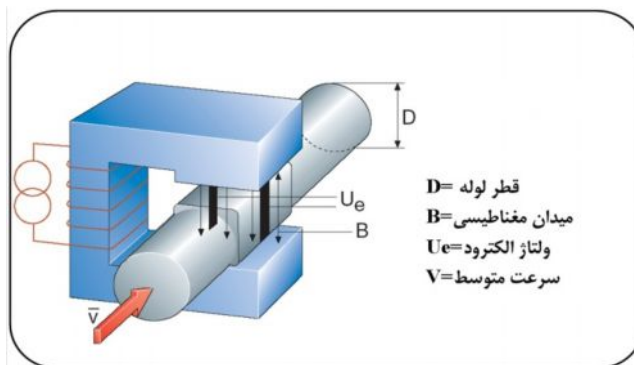
اندازه‌گیری مقدار شیر ورودی در واحد دریافت کارخانه بسیار اهمیت دارد، دریافت روزانه ۱۰۰۰ تن شیر کار پرمشغله‌ای است. زیرا باید به دقت مقدار شیر هر دامدار تعیین و همراه

مشخصات آن به واحد پرداخت اعلام شود. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقدار شیر وجود دارد.

۱- **روش‌های وزنی:** در این روش اختلاف وزن پر و خالی کامیون‌های حمل‌کننده شیر را با باسکول تعیین می‌کنند. تجهیزات توزین در این سیستم گرانقیمت و نگهداری آن‌ها پرهزینه است.

۲- **اندازه‌گیری بر اساس حجم یا فلومتری مکانیکی:** در این سیستم شیر از یک دستگاه جریان‌سنج عبور و این دستگاه مقدار شیر را با ضریب تبدیل به وزن اعلام می‌کند. اگر شیر مقدار زیادی هوا داشته باشد، این سیستم مقدار شیر دریافتی را بالاتر از مقدار حقیقی آن نشان خواهد داد. بنابراین، نصب سیستم هواگیری در قبل از واحد اندازه‌گیری ضروری است.

۳- **جریان‌سنج‌های القایی:** در این سیستم‌ها هیچ قسمت متحرکی وجود ندارد. قسمت اندازه‌گیر شامل یک لوله با دو کویل مغناطیسی است. وقتی مایع رسانی از میان لوله عبور می‌کند در یک طرف لوله میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود، ولتاژ الکتریکی به دست آمده که با دو الکتروود اندازه‌گیری می‌شود با سرعت متوسط مایع در ارتباط است، این اطلاعات را رایانه به حجم مایع عبوری تبدیل و مقدار مایع ورودی را مشخص می‌کند. این سیستم‌ها بسیار دقیق‌اند و به نگهداری خاصی نیاز ندارند (شکل ۲).



شکل ۲ جریان‌سنج القایی برای اندازه‌گیری حجم شیر

ذخیره‌سازی شیر

شیر خام در کارخانه در داخل مخازن ایستاده بزرگی با ظرفیت ۲۵ تا ۱۰۰ تن ذخیره می‌شود. مخازن کوچک‌تر در داخل سالن تولید و مخازن بزرگ‌تر برای کاهش هزینه احداث ساختمان، در بیرون سالن کار گذاشته می‌شوند. همه مخازن کارگذاشته شده در بیرون دو جداره‌اند که با استفاده از یک لایه پشم شیشه یا سایر مواد عایق‌کاری شده‌اند. جدار داخلی آن‌ها از جنس استیل مقاوم در برابر زنگ و کاملاً صیقلی بوده و لایه خارجی معمولاً از ورق‌های فلزی به هم جوش خورده است. محتویات این مخازن باید برای جلوگیری از رویه بستن شیر به آرامی و ملایمت هم‌زده شوند. به این دلیل در آن‌ها از همزن‌های پروانه‌ای برای هم زدن ملایم استفاده می‌شود. در مخازن بلندتر ممکن است از دو همزن که در دو ارتفاع مختلف کار گذاشته شده‌اند، استفاده شود. اغلب این مخازن مجهز به نمایشگر دما و حد بالا و پایین سطح مایع هستند. کف این مخازن محدب یا مقعرند (عدسی شکل) تا شیر در آن‌ها باقی نماند.

نمونه سؤالات این فصل

۱. انواع روش‌های جمع‌آوری شیر خام را در ایران نام ببرید؟
۲. چه دمایی برای نگهداری شیر خام توصیه شده است؟
۳. چرا نباید خانه‌های مخازن بزرگ حمل‌کننده شیر نیمه پر باشد؟
۴. بزرگ‌ترین اشکال روش اندازه‌گیری فلومتر مکانیکی شیر در چیست؟

فصل پنجم

سالم سازی شیر

هدف های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با روش های مختلف سالم سازی حرارتی شیر،
- اصول عملیات حرارتی پاستوریزاسیون،
- انواع فرایندهای حرارتی،
- انواع تبادل کننده های حرارتی.

اصول سالم سازی حرارتی شیر

تا اواخر قرن نوزدهم عملیات حرارتی روی شیر چندان مهم به شمار نمی رفت، خصوصاً وقتی هدف تولید بعضی فراورده ها مانند کره و پنیر بود. از اواسط قرن نوزدهم لویی پاستور اساس مطالعاتش را روی آثار کشندگی حرارت بر میکروارگانیسم ها نهاد و سرانجام عملیات حرارتی پاستوریزاسیون را به عنوان یک روش محافظتی ابداع کرد و آن را به این صورت تعریف نمود: "نوعی عملیات حرارتی روی شیر که می تواند باسیل سل را بدون اینکه نشانه ای از آثار فیزیکی و شیمیایی ناخواسته روی دیگر اجزای شیر باقی بگذارد به طور کامل نابود کند." بررسی تاریخی پاستوریزاسیون نشان می دهد که هر چند دانشمندان موافق بکارگیری عملیات حرارتی با ظرافت و دقت لازم بودند، اما این فرایند مدت ها بدون کنترل و خیلی آزادانه به کار گرفته می شد. در این حالت اگر شیر حرارت بالایی می دید، آثار طعم پختگی در آن نمایان می شد و اگر حرارت پایین داده می شد، احتمال باقی ماندن باکتری های بیماری زا در آن وجود داشت. از اواسط سال ۱۹۳۰ میلادی دو دانشمند به نام کی^۱ و گراهام^۲ متوجه ویژگی آشکارکنندگی آنزیم فسفاتاز شدند. این آنزیم همیشه در شیر خام وجود دارد ولی فرایند پاستوریزاسیون آن را از بین می برد. حضور فسفاتاز قلیایی در شیر پاستوریزه نشانه کافی نبودن فرایند حرارتی است.

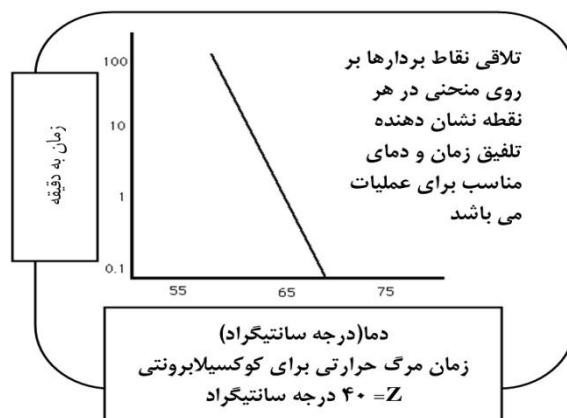
اصول کاربرد فرایند حرارتی برای سالم سازی شیر

اهداف اصلی بکارگیری فرایندهای حرارتی در شیر حفظ کیفیت آن و تضمین سلامت عمومی مصرف کننده است. از حرارت کنترل شده برای نابودی میکروارگانیسم ها به صورت های مختلف استفاده می شود و هر کدام کاربرد خاصی دارند. اصول کار بر پایه تلفیقی از دما و زمان قرار دارد، این عملیات بر این پایه طراحی شده که علاوه بر نابودسازی باکتری ها، هیچ تاثیر مخربی بر اجزای مغذی شیر نگذارد. نابودی میکروارگانیسم ها در تیمارهای حرارتی به صورت لگاریتمی پیش می رود، بنابراین تعداد باکتری های کشته شده در

1. key

2. Graham

طول فرایند به جمعیت اولیه آن‌ها بستگی دارد. برای مثال، اگر زمان لازم برای نابودی یک سیکل لگاریتمی یا ۹۰ درصد باکتری‌ها معلوم باشد، برای دستیابی به حداقل جمعیت میکروبی نهایی در محصول می‌توان تصمیم‌گیری کرد که فرایند حرارتی از چند سیکل لگاریتمی عبور کند. یعنی اگر تعداد میکروارگانیسم‌ها در ماده غذایی بالا باشد برای دستیابی به جمعیت مناسب باکتریایی در محصول نهایی، زمان فرایند حرارتی افزایش خواهد یافت. فرایند حرارتی برای پاستوریزاسیون معمولاً با ۱۲ سیکل لگاریتمی تعریف شده است. در شکل یک منحنی ارتباط زمان با دما برای کوکسیلا بروننتی^۱ نشان داده شده است. تلاقی نقاط مختلف محور افقی با محور عمودی روی منحنی نمایانگر مقادیر متفاوت دما و زمان برای نابودی این میکروارگانیسم است.



شکل ۱ منحنی تلفیق دما و زمان برای نابودی کوکسیلا بروننتی

نظریه عملیات حرارتی

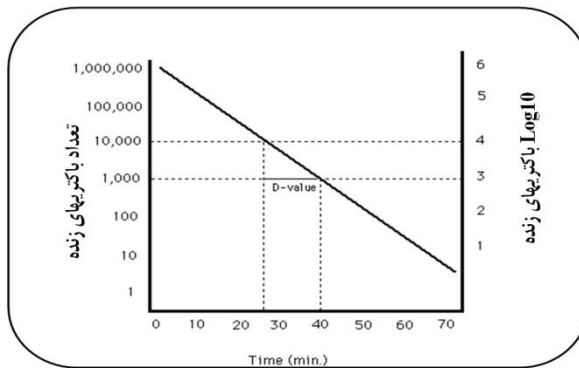
اصول فرایند حرارتی در پاستوریزاسیون براساس دو عامل درجه حرارت و مدت زمانی که محصول در معرض این دما قرار می‌گیرد، مشخص می‌شود. مقدار دما و زمان بر اساس مقاومت باکتری‌های خاصی که می‌توانند بالاترین شرایط حرارتی و زمان تحمل کنند، تعیین می‌شود. به این باکتری‌ها، باکتری‌های شاخص^۲ گفته می‌شود. برای محاسبه تلفیق دما و زمان از دو شاخص D و Z استفاده می‌شود.

1. *Coxiella burnetii*

2. Indicator

شاخص D

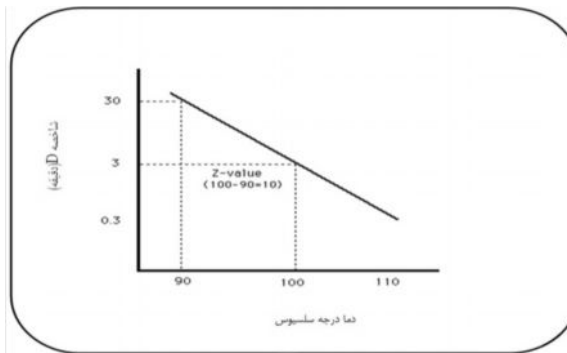
این شاخص عبارت است از زمان لازم (به دقیقه) برای نابودی یک سیکل لگاریتمی یا ۹۰ درصد میکروارگانیسم‌ها در دمای معین. برای مثال، "اندیس D در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد ۱ دقیقه است" بیانگر این نکته است که در هر دقیقه از فرایند حرارتی در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد ۹۰ درصد جمعیت باکتریایی نابود می‌شود. در شکل ۲ اندیس D در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد ($40 - 26 = 14$) دقیقه است.



شکل ۲ مقدار شاخص D در منحنی سیکل لگاریتمی

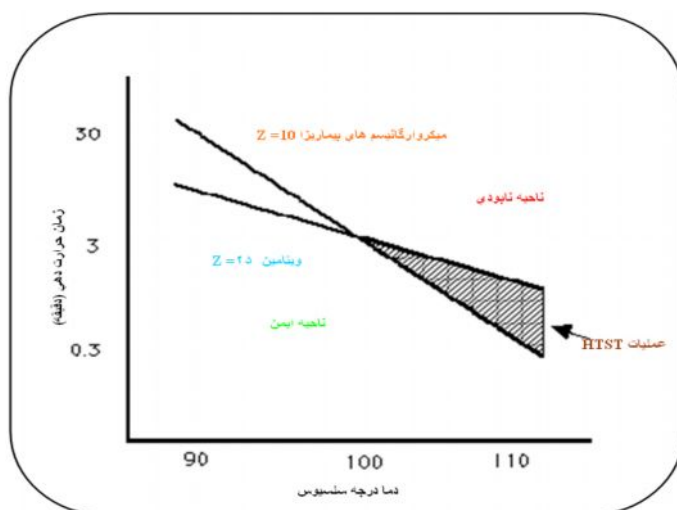
شاخص Z

این شاخص (بر حسب درجه سانتیگراد) نشان‌دهنده تغییر دمای لازم برای افزایش یا کاهش ده برابر در شاخص D است. برای مثال، در شکل ۳ شاخص Z برابر $(100 - 90 = 10)$ درجه سانتیگراد است.



شکل ۳ مقدار شاخص Z در منحنی تغییرات شاخص D

کوچک بودن شاخص Z نشان‌دهنده محدود بودن تغییرات حرارتی فرایند است و به عکس، بزرگ بودن شاخص Z باعث بروز تغییرات شیمیایی بیشتر در مواد غذایی می‌شود، در شکل ۴ تغییرات شاخص Z و تاثیر آن در نابودی میکروارگانیسم‌ها دیده می‌شود. در بخش بالایی و سمت راست نمودار ناحیه نابودی میکروارگانیسم‌ها یا برخی مواد مغذی نشان داده شده است و به عکس بخش زیرین و سمت چپ نمودار، ناحیه‌ای است که میکروارگانیسم‌ها در آن شرایط حرارتی زنده می‌مانند. ناحیه هاشور خورده در حد فاصل دو اندیس Z محدوده نابودی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زاست که در این شرایط به ویتامین‌ها نیز آسیبی وارد نمی‌شود و همچنین سایر عوامل کیفی مانند رنگ و ترکیبات معطر نیز تغییر نمی‌کنند. در جدول ۱ شاخص D و Z چند ماده نشان داده شده است.

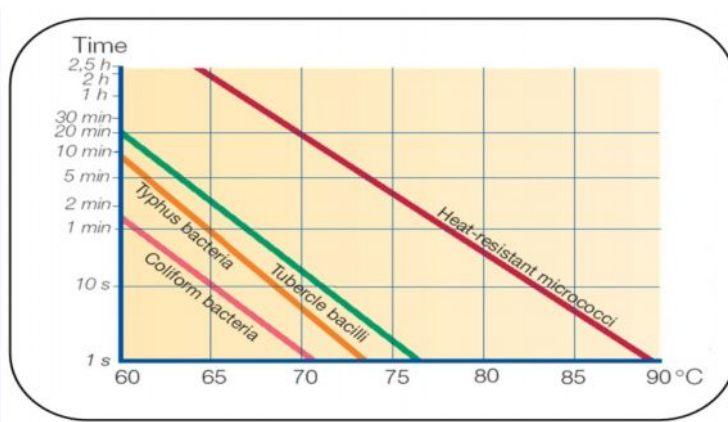


شکل ۴ محدوده شاخص Z و تاثیر آن در بروز تغییر ناخواسته روی اجزای مغذی

کفایت عمل پاستوریزاسیون با اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز کلیایی سنجیده می‌شود. این آنزیم به طور طبیعی در شیر خام وجود دارد و شاخص Z آن نزدیک به میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای مقاوم به حرارت است. در صورت کامل بودن عمل پاستوریزاسیون، فعالیت این آنزیم مشاهده نمی‌شود.

مواد	شاخص Z (درجه سانتیگراد)	شاخص D 121 (دقیقه)
باکتری‌ها	۵-۱۰	۱-۵
آنزیم‌ها	۳۰-۴۰	۱-۵
ویتامین‌ها	۲۰-۲۵	۱۵۰-۲۰۰
رنگدانه‌ها	۴۰-۷۰	۱۵-۵۰

هدف اصلی فرایندهای حرارتی پاستوریزاسیون، نابودی تمام میکروارگانیسم‌های بیماری‌زاست. بنابراین، مقدار حرارت برای پاستوریزاسیون بر اساس مقاوم‌ترین میکروارگانیسم بیماری‌زای موجود در غذا انتخاب می‌شود. برای مثال، در شیر مایکوباکتریوم توبرکلوزیس^۱ و یا کوکسیلا بورنتی معیار انتخاب برای فرایند پاستوریزاسیون می‌داند (شکل ۵).



شکل ۵ منحنی مرگ میکروارگانیسم‌های مختلف در تلفیق دما و زمان

مثال: شیر خام ورودی به کارخانه دارای شمارش میکروبی ۴۰۰,۰۰۰ در هر میلی‌لیتر است، این شیر در دمای ۷۹ درجه سانتیگراد به مدت ۲۱ ثانیه تحت فرایند پاستوریزاسیون قرار می‌گیرد. پرسش: اگر متوسط اندیس D در ۶۵ درجه سانتیگراد برای این جمعیت باکتریایی ۷ دقیقه باشد، و اندیس Z را ۷ درجه سانتیگراد در نظر بگیریم.

۱- چه تعداد میکروارگانیسم پس از عملیات پاستوریزاسیون زنده می‌مانند؟

۲- چه زمانی نیاز است تا در ۶۵ درجه سانتیگراد همان مقدار مرگ و میر روی دهد.

پاسخ:

۱- از آنجا که اندیس Z برابر ۷ درجه سانتیگراد است و عملیات در دمای ۷۹ درجه سانتیگراد انجام شده یعنی به اندازه ۲Z یعنی ۱۴ درجه سانتیگراد افزایش دما اعمال شده است (۷۹=۱۴+۶۵). بنابراین، اندیس D به اندازه ۲ سیکل لگاریتمی کاهش یافته است، یعنی به ازای ۲Z اندیس D (۱۰۰ برابر) کاهش می‌یابد. چون هر اندیس Z باعث ده برابر تغییر D در جهت عکس می‌شود؛ بنابراین، اندیس D از ۷ دقیقه به ۰/۷ دقیقه

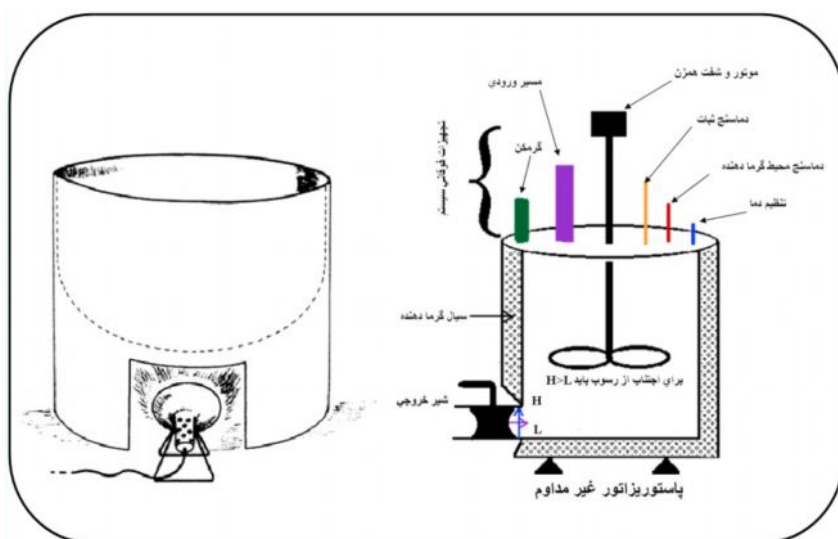
کاهش می‌یابد. شیر فرایند شده در زمان ۲۱ ثانیه یا ۰/۳۵ دقیقه به ازای D برابر ۰/۰۷ مقدار $5 = 0.07 \div 0.35$ سیکل را گذرانده است و چون در هر سیکل ۹۰ درصد کاهش در تعداد میکروارگانیسم‌ها خواهیم داشت پس از ۵ سیکل از تعداد کل ۴۰۰,۰۰۰ میکروارگانیسم زنده در میلی‌لیتر فقط ۴ عدد در میلی‌لیتر باقی خواهد ماند.

۲- برای دستیابی به این تعداد میکروارگانیسم در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد سیستم باید به ازای ۴۰۰,۰۰۰ میکروارگانیسم در میلی‌لیتر از ۵ سیکل لگاریتمی عبور کند (باید در هر سیکل ۹۰ درصد کاهش داشته باشیم) و چون مقدار D برابر ۷ دقیقه است، بنابراین کل زمان برابر $35 = 7 \times 5$ دقیقه خواهد بود.

به طور کلی، فرایندهای حرارتی را به دو دسته ناپیوسته و پیوسته تقسیم می‌کنند:

فرایند حرارتی ناپیوسته

این روش در خانه‌ها یا واحدهای کوچک لبنی فقط برای مقادیر کم شیر به کار برده می‌شود. در این روش، حرارت از طریق جابه‌جایی از جدار ظروف به شیر منتقل می‌شود (شکل ۶)، مرکز حرارتی در بخش بیرونی و ته ظرف تعبیه شده است و عملیات در شرایط محیط انجام می‌پذیرد. کنترل دقیق دما در این سیستم مقدور نیست. برای همسان‌سازی دما در نقاط مختلف ظرف، مایع داخل آن را به طور دستی یا همزن برقی به آرامی هم می‌زنند، این کار مانع رویه بستن و سر رفتن شیر نیز می‌شود.



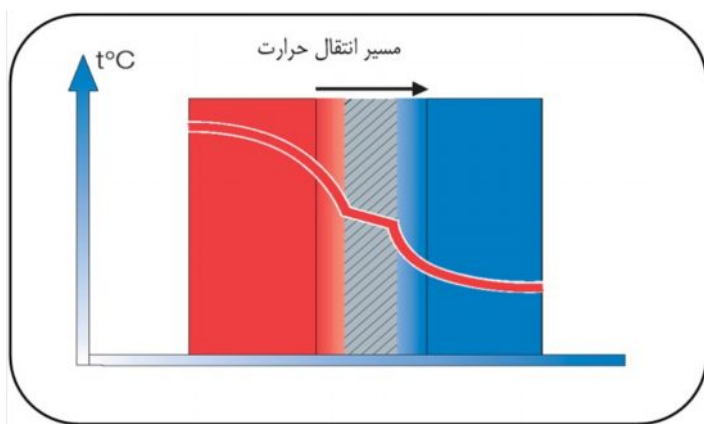
شکل ۶ فرایند حرارتی ناپیوسته

فرایندهای حرارتی پیوسته

امروزه در اغلب واحدهای صنعتی از سیستم‌های پیوسته برای تیمار حرارتی شیر استفاده می‌شود در این سیستم شیر در داخل دستگاه پاستوریزاتور تحت فرایند حرارتی کنترل شده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها ممکن است به شکل تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای و یا لوله‌ای باشند. در این سیستم‌ها شیر به صورت لایه‌های بسیار نازک در مجاورت مایعات داغ (عمدتاً آب) قرار می‌گیرد و در زمان بسیار کوتاهی به دمای مورد نظرمی‌رسد و مدتی در این دما باقی می‌ماند و سپس به سرعت در بخش‌های بعدی دستگاه خنک و ذخیره می‌شود.

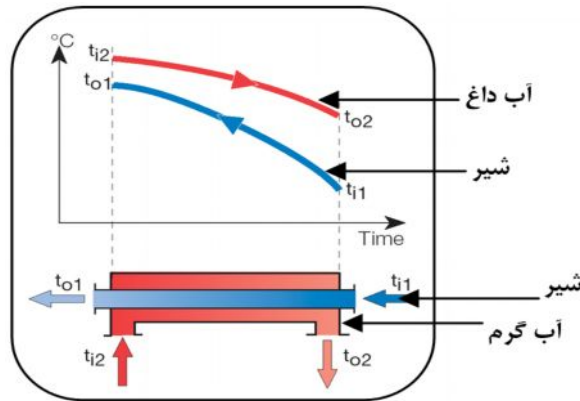
تبادل کننده‌های حرارتی

تبادل کننده‌های حرارتی وسیله انتقال حرارت به روش غیر مستقیم‌اند. در این تبادل کننده‌ها یک دیواره بین محصول و محیط گرم یا سرد وجود دارد و تبادل دما از طریق این دیواره انجام می‌پذیرد. مثلاً اگر در یک طرف دیواره محیط گرم‌تر از آب داغ قرار داشته باشد، در طرف دیگر دیواره شیر سرد قرار می‌گیرد (شکل ۷).



شکل ۷ نمای شماتیک تبادل حرارت به روش غیرمستقیم

در هر طرف از دیواره یک لایه مرزی وجود دارد و سرعت حرکت سیال در آن به علت وجود اصطکاک پایین و در لایه متصل به دیواره تقریباً صفر است. لایه‌های خارجی نزدیک لایه مرزی نیز به تناسب سرعت کمتری دارند و حداکثر سرعت پیش رونده در مرکز مجرا وجود دارد. انتقال حرارت از لایه مرزی در یک طرف دیواره به لایه مرزی طرف دیگر دیواره از طریق هدایت و انتقال و در مرکز کانال از طریق هدایت و جابه‌جایی انجام می‌شود.



شکل ۸ نمای شماتیک جریان سیال در تبادلهای حرارتی صفحه‌ای پیوسته

شکل ۸ نمای کلی یک تبادلهای حرارتی لوله‌ای را نشان می‌دهد که به صورت دو مجرای لوله‌ای است: یکی از لوله‌ها داخل دیگری قرار می‌گیرد، آب داغ از مجرای بیرونی و شیر از داخل مجرای میانی در خلاف جهت هم جریان دارند. شیر با دمای t_{i1} وارد و با دمای t_{o1} خارج می‌شود، آب داغ نیز با دمای t_{i2} وارد و با دمای t_{o2} از مجرا خارج می‌شود.

داده‌های ابعادی سیستم

اندازه و شکل تبادلهای حرارتی به عوامل زیادی بستگی دارد که محاسبه آن‌ها بسیار پیچیده و دشوار است. امروزه این محاسبات با استفاده از رایانه انجام می‌پذیرد. برخی از عوامل موثر در طراحی فرایند عبارتند از:

- سرعت جریان محصول،
- خصوصیات فیزیکی مایع یا محصول،
- برنامه حرارتی،
- شاخص‌های رئولوژیکی محصول و سیال گرمازا یا سرمازا مانند زمان جاری شدن^۱،
- محدوده افت فشار،
- تمهیدات بهداشتی.

از رابطه عمومی زیر برای محاسبه اندازه سطح لازم در تبادلهای استفاده می‌شود:

$$A = \frac{V \times \rho \times c_p \times \Delta t}{\Delta t_m \times K} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه

A	سطح مورد نیاز برای تبادل حرارت
V	سرعت جریان محصول
ρ	چگالی محصول
c_p	گرمای ویژه محصول در فشار ثابت
Δt	تغییر دمای محصول
Δt_m	متوسط تغییرات دمای لگاریتمی
K	ضریب کلی انتقال حرارت

سرعت جریان بر اساس ظرفیت دستگاه محاسبه می شود. سرعت جریان بالاتر به تبادل کننده حرارتی بزرگتری نیاز دارد. چگالی بر اساس نوع محصول تحت فرایند تعیین می شود. گرمای ویژه نیز وابسته به محصول است و نشان می دهد که چه مقدار حرارت لازم است تا بتواند دمای محصول را یک درجه سانتیگراد بالاتر ببرد. ویسکوزیته نیز از عوامل مهم در جریان یافتن مایعات است. در تبادل کننده ها برنامه حرارتی خاصی وجود دارد یعنی محصول با محدوده دمایی خاصی وارد سیستم می شود و با دمای مشخصی سیستم را ترک می کند. دمای ورودی و خروجی فرآورده با تقدم و تاخر مراحل فرایند بررسی می شود. تغییر دمای فرآورده (Δt) در رابطه ۱ را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta t_1 = t_{o1} - t_{i1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

دمای ورودی برای محیط گرم کننده (آب داغ) با شرایط فرایند تعیین می شود. دمای خروجی را می توان با محاسبه تعادل انرژی به دست آورد. در تبادل کننده های حرارتی می توان از مقدار انرژی هدر رفته به محیط اطراف (به علت ناچیز بودن) صرف نظر کرد. از این رو، انرژی حرارتی پس داده شده با مایع داغ مساوی انرژی دریافت شده با مایع سرد است و آن را می توان با رابطه زیر محاسبه کرد:

$$V_1 \times \rho_1 \times c_{p1} \times \Delta t_1 = V_2 \times \rho_2 \times c_{p2} \times \Delta t_2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

مثال: در نظر است ۲۰۰۰ لیتر در ساعت شیر پنیر سازی (V_1) را از دمای ۴ درجه سانتیگراد به دمای ۳۴ درجه سانتیگراد با استفاده از ۳۰۰۰ لیتر در ساعت آب داغ ۵۰ درجه سانتیگراد (V_2) برسانیم. چگالی و گرمای ویژه شیر به ترتیب kg/m^3 و ۱۰۲۰ J/kg

۳/۹۵ و برای آب به ترتیب 990 kg/m^3 (در 50°C درجه سانتیگراد) و 418 J/kg است. دمای آب خروجی چقدر خواهد بود؟

با استفاده از رابطه (۳) و جاگذاری داده‌ها

$$20000 \times 1020 \times 3.95 \times (34 - 4) = 30000 \times 990 \times 4.18 \times \Delta t_2$$

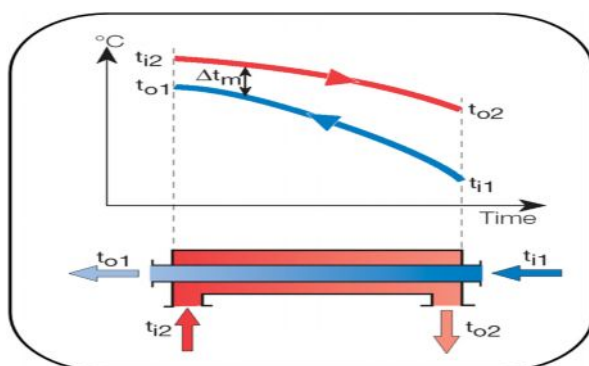
مقدار Δt_2 برابر $19/5$ درجه سانتیگراد خواهد بود، یعنی دمای آب داغ از 50°C درجه سانتیگراد به $30/5$ درجه سانتیگراد خواهد رسید.

متوسط تغییرات دمای لگاریتمی^۱

برای تبادل و جابه‌جایی حرارت باید بین دو طرف محیط اختلاف دما وجود داشته باشد، یعنی اختلاف دما عامل انتقال است. هرچه اختلاف دما در دو طرف دیواره بیشتر باشد حرارت بیشتر منتقل می‌شود و در نتیجه به تبادل‌کننده حرارتی کوچک‌تری نیاز است. برای فراورده‌های حساس به حرارت باید حداکثر محدوده اختلاف حرارتی مجاز معین شود. میانگین لگاریتمی دما^۲ در تبادل‌کننده حرارتی عامل متغیر است. مقدار متوسط تغییرات دمای لگاریتمی را Δt_m می‌نامند که با رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\Delta t_m = \frac{(t_{i2} - t_{o1}) - (t_{o2} - t_{i1})}{\ln \frac{(t_{i2} - t_{o1})}{(t_{o2} - t_{i1})}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مقادیر دمایی اشاره شده در رابطه چهار در شکل نه نشان داده شده است.



شکل ۹ مقادیر دمایی ورودی و خروجی به سیستم تبادل‌کننده

1. logarithmic mean temperature difference
2. differential temperature

برای مثال، مقدار متوسط تغییرات دمای لگاریتمی (Δt_m) برای شیر پنیرسازی اشاره شده در مثال قبل پس از جاگذاری مقادیر، $20/8$ درجه سانتیگراد است. یک عامل مهم در تعیین متوسط تغییرات دمای لگاریتمی در تبادله کننده، مسیر جریان یافتن سیال با محیط گرمازا یا سرمازاست. برای جریان یافتن سیالات در سیستم‌های تبادله کننده حرارتی دو حالت وجود دارد:

۱- جریان غیرهمسو^۱،

۲- جریان همسو^۲.

جریان غیرهمسو

اگر دو سیال در مخالف جهت هم از میان تبادله کننده حرارتی عبور کنند در این حالت از اختلاف دما به بهترین شکل استفاده خواهد شد. محصول سرد در ابتدا با محیط خنک‌تری از ماده گرمازا مواجه می‌شود، در ادامه جریان در مسیر تبادله کننده با محیط گرم‌تر مجاورت می‌یابد. در این حالت محصول به تدریج گرم‌تر شده تا سرانجام به چند درجه پایین‌تر از دمای محیط گرمازا می‌رسد.

جریان همسو

در این سیستم هر دو سیال در یک جهت از یک طرف به تبادله کننده حرارتی وارد می‌شود و در یک مسیر جریان می‌یابند. در جریان همسو نمی‌توان به دمایی بالاتر از حدی که در صورت مخلوط شدن دو سیال حاصل می‌شود، دست یافت. درحالی‌که این محدودیت در جریان غیرهمسو وجود ندارد و محصول می‌تواند حدود سه درجه کم‌تر از دمای ورودی محیط گرمازا گرم شود.

ضریب کلی انتقال حرارت

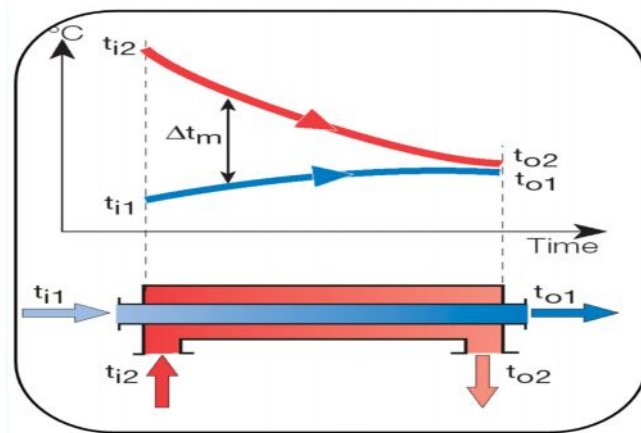
ضریب کلی انتقال حرارت (K) نشان‌دهنده اندازه بازده حرارتی است. این ضریب نشان می‌دهد که به ازای یک مترمربع از دیواره چه مقدار دما باید عبور کند تا بتواند یک درجه سانتیگراد حرارت را تغییر دهد. همین عامل برای محاسبه عایق کاری ساختمان‌ها به کار

1. Countercurrent

2. co current

می‌رود که در این صورت باید مقدار K تا حد ممکن کوچک ولی در تبادل کننده‌ها این عامل باید تا حد ممکن بزرگ باشد. به‌طور کلی، ضریب انتقال حرارت به عوامل زیر بستگی دارد:

- افت فشار مجاز مایعات،
- ویسکوزیته مایعات،
- شکل و ضخامت دیواره تبادل کننده،
- مواد سازنده دیواره،
- وجود مواد رسوبی.



شکل ۱۰ نمای شماتیک جریان سیالات همسو در تبادل کننده

افت فشار مجاز

برای افزایش مقدار K و بالابردن مقدار انتقال حرارت، ممکن است اندازه یا قطر مسیر عبور محصول کاهش داده شود. این عمل فاصله‌ای را که باید حرارت از دیواره تا مرکز مجرا طی کند کاهش می‌دهد و مقطع عرضی مسیر کاهش می‌یابد. این امر دو نتیجه به همراه دارد:

۱- سرعت جریان از میان مجرا افزایش می‌یابد.

۲- جریان متلاطم می‌شود.

با افت بیشتر فشار، تبادل حرارت نیز افزایش می‌یابد و به تبادل کننده کوچک‌تری نیاز خواهد شد. فراورده‌هایی مانند خامه که به هم‌زدن مکانیکی حساس‌اند و با اعمال عملیات شدید ممکن است آسیب ببینند، در این شرایط پایدار می‌مانند. برای تامین فشار محصول برای عبور از میان مجاری باریک از پمپ‌های تقویت کننده استفاده می‌شود. البته، در اغلب سیستم‌های پیوسته جاگذاری پمپ‌های تقویت کننده ضروری تشخیص داده شده است زیرا

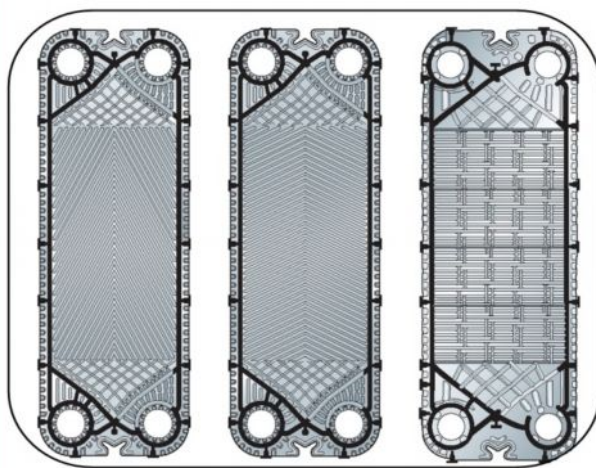
وجود فشار بالا در سمت محصول برای جلوگیری از نشت محصول پاستوریزه نشده به داخل محصول پاستوریزه شده امری ضروری است.

ویسکوزیته

ویسکوزیته محصول در طراحی ابعاد تبادله کننده بسیار مهم است. سیالات با ویسکوزیته بالا در زمان جریان یافتن، تلاطم کمتری را در داخل تبادله کننده ایجاد می کنند، این بدان معنی است که به تبادله کننده حرارتی بزرگتری نیاز است. برای مثال، در مقایسه خامه و شیر، در شرایطی که ظرفیت و برنامه حرارتی برای هر دو محصول یکسان فرض شود برای خامه به تبادله کننده بزرگتری نیاز داریم. به فراورده های با جریان غیرنیوتنی باید توجه خاصی کرد. برای این فراورده ها ویسکوزیته ظاهری، وابسته به دما و سرعت جریان برشی^۱ است. بنابراین، چنین محصولی ممکن است هنگام ساکن بودن در داخل مخزن نسبتاً غلیظ به نظر برسد ولی هنگام جریان یافتن در میان مسیرهای تبادله کننده بر اثر نیروی پمپ، سیالیت بیشتری داشته باشد. رفتار جریان این گونه مواد باید با لوازم ویژه ای دقیقاً اندازه گیری و محاسبه شود.

شکل و ضخامت دیواره

دیواره اغلب تبادله کننده های حرارتی برای ایجاد تلاطم بیشتر و در نتیجه انتقال بهتر حرارت، به صورت موجدار یا شیاردار طراحی می شود در شکل ۱۱ برای صفحات تبادله کننده حرارتی سه طرح مختلف نشان داده شده است. ضخامت دیواره نیز در این امر نیز نقش مهمی دارد. دیواره با ضخامت نازک تر تبادله حرارتی بهتری خواهد داشت، ولی دیواره باید تاب تحمل فشار مایع را نیز داشته باشد. طراحی جدید امروزه امکان ساخت دیواره های نازکی را فراهم آورده است که تا چندی قبل قابل تصور هم نبود.



شکل ۱۱ سطوح داخلی سه نوع تبادل کننده حرارتی صفحه‌ای

جنس و مواد دیواره‌ها

جنس فلز دیواره‌ها برای فرایند مواد غذایی معمولاً از فولاد ضد زنگ است، این ماده خاصیت رسانایی خوبی برای انتقال حرارت دارد.

مواد رسوبی

اغلب محصولات لبنی نسبت به حرارت حساس‌اند، در نتیجه باید برای جلوگیری از بروز تغییرهای ناخواسته بسیار دقت شود. پروتئین شیر در اثر حرارت در جداره صفحات حرارتی رسوب می‌کند و پوسته می‌بندد. این اتفاق در تبادل کننده‌های حرارتی با سطوح داغ‌تر، سریع‌تر به وقوع می‌پیوندد. برای جلوگیری از بروز این نقیصه باید اختلاف دمای بین محیط گرم‌زا و محصول تا حد ممکن کم باشد. به طور معمول دمای محیط گرم‌زا را ۲-۳ درجه سانتیگراد بیش‌تر از درجه حرارت پاستوریزاسیون در نظر می‌گیرند. در هر صورت، اگر سطح تبادل کننده‌ها بسیار داغ باشد، خطر لخته‌شدن پروتئین‌های شیر و رسوب روی سطح دیواره‌ها به صورت لایه نازک بیشتر است. در این حالت چون حرارت باید از میان لایه‌های رسوبی عبور کند، باعث افت ضریب کلی انتقال حرارت (K) خواهد شد.

مقدار K تحت تاثیر شدت جریان عبور سیال از میان تبادل کننده حرارتی قرار دارد. افزایش سرعت جریان باعث ایجاد جریانی متلاطم‌تر گشته که به افزایش مقدار K منجر خواهد شد و بر عکس کاهش سرعت جریان آن را به صورت لایه‌ای در می‌آورد و مقدار K

کاهش می یابد. به طور معمول، بهتر است از تغییرهای نابجا در سرعت جریان سیال اجتناب شود، اما به دلایل اقتصادی ممکن است بعضی تغییرها در سرعت جریان پذیرفته شود.

مثال: در مثال قبلی در مورد گرم کردن شیر پنی‌سازی اگر ضریب تبادل حرارت (k) برابر 5000 W/m^2 باشد، به چه مقدار سطح در تبادل کننده حرارتی نیاز است؟ داده های دیگر فرایند عبارتند از:

- سرعت جریان = 20000 l/h

- چگالی = 1020 kg/m^3

- گرمای ویژه $k = 3.95 \text{ kJ/kg}$

- تغییرهای دما = 30°C درجه سانتیگراد

- اختلاف درجه حرارت = $20/8^\circ\text{C}$ درجه سانتیگراد

- ضریب تبادل حرارتی $k = 5000 \text{ W/m}^2$

با جاگذاری داده ها در رابطه ۱ سطح تبادل حرارت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A = \frac{20000 \times 1020 \times 3.95 \times 30}{3600 \times 20.8 \times 5000} = 6.5 \text{ m}^2$$

این داده یک مقدار فرضی است و در مقام عمل، داده ها باید با در نظر گرفتن طبیعت حساس فراورده و نیازهای فرایند به طور دقیق بررسی شوند. در اینجا لازم است به دو عامل بسیار مهم، قابلیت تمیز کردن سیستم و مدت زمان فعالیت سیستم پس از شستشو، که در فرمول نمی گنجد اشاره کرد.

قابلیت شستشو و تمیز کردن سیستم

تبادل کننده های حرارتی باید در انتهای هر دوره تولید تمیز شوند. معمولاً این عمل با سیستم چرخشی محلول شوینده در همان مسیر عبور محصول صورت می پذیرد. برای دستیابی به تمیزی قابل قبول در تبادل کننده های حرارتی باید سیستم به گونه ای طراحی شود که در تمام مدت درجه حرارت خاصی رعایت شود و همچنین امکان ثبت و تکرار آن نیز وجود داشته باشد.

چنانچه مسیرها در تبادل کننده های حرارتی به صورت مجاری موازی با قطرهای بزرگ باشند در این مسیرها با وجود بکارگیری جریان متلاطم، سیستم، نیروی لازم را برای حذف رسوبات نخواهد داشت. همچنین، تعدد مسیرهای موازی باریک باعث افت فشار مایع

شستشوکننده خواهد شد. در این حالت، شدت جریان نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه فرایند با عدم کفایت تمیزی مواجه می‌شود. به‌طور کلی، باید در تبادلهای کننده‌های حرارتی یک سیستم شستشوی با کفایت و فراگیر پیش‌بینی شود.

ساعات کارکرد دستگاه پس از شستشو

شیر و بعضی فراورده‌های آن در صورتی که بیش از ۶۵ درجه سانتیگراد حرارت داده شوند به‌طور اجتناب‌ناپذیری مقداری رسوب در دستگاه‌ها به‌وجود خواهد آمد، در نتیجه، باید پس از محدوده‌های زمانی معین دستگاه‌ها برای تمیزکردن متوقف شوند. مدت زمان کارکرد متفاوت است و قابل پیش‌بینی نیست و معمولاً بر اساس مقدار رسوب تشکیل شده تعیین می‌شود، سرعت تشکیل رسوب به چند عامل بستگی دارد:

- اختلاف دما بین محصول و محیط گرمازا،
- کیفیت شیر،
- هوای موجود در محصول،
- شرایط فشار در بخش مایع گرمازا.

این نکته بسیار مهم نباید فراموش شود که مقدار هوا در محصول باید بسیار پایین باشد. حضور هوا در شیر نقش بزرگی در ایجاد رسوب دارد. رشد میکروارگانیسم‌ها در بخش‌های پایین دست سیستم نیز ممکن است باعث تشکیل رسوب در دستگاه شود و از زمان پیش‌بینی شده کارکرد سیستم بکاهد. تمام این عوامل باید در تنظیم فاصله‌های تمیزکردن و طراحی سیستم پاستوریزه پیش‌بینی شود.

بازیافت انرژی با استفاده از تلاقی حرارتی

بازیافت انرژی با استفاده از تلاقی حرارتی یا سیستم احیای حرارتی روشی است که در آن شیر سرد ورودی به دستگاه پاستوریزاتور با حرارت شیر خروجی از دستگاه، پیش‌گرم می‌شود، شیر سرد ورودی در این حالت باعث خنک شدن شیر داغ خروجی شده، این عملیات باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی می‌شود. کارایی بازیافت انرژی با استفاده از تلاقی حرارتی در سیستم‌های پاستوریزاتور مدرن بیش از ۹۵-۹۴ درصد است. در مثال زیر می‌توان میزان بازیافت حرارتی را در ساده‌ترین شکل عملیات با معادله داده شده محاسبه کرد.

$$R = \frac{(t_r - t_i) \times 100}{(t_p - t_i)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه

R ضریب کارایی بازیافت انرژی از تلاقی حرارتی

t_r درجه حرارت شیر پس از تلاقی (در اینجا ۶۸ درجه سانتیگراد)

t_i دمای شیر خام ورودی (در اینجا ۴ درجه سانتیگراد)

t_p دمای شیر پاستوریزه (در اینجا ۷۲ درجه سانتیگراد)

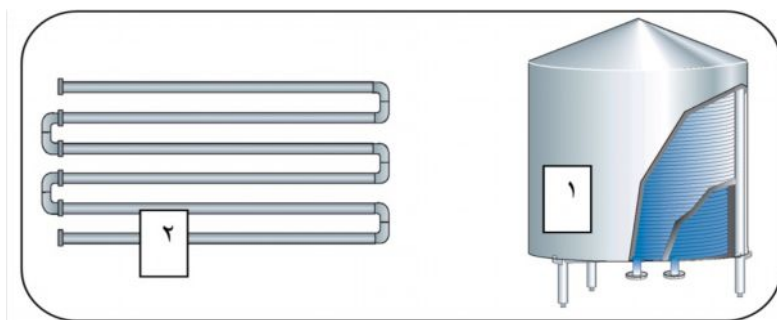
با جا گذاری اعداد در رابطه بالا

$$R = \frac{(68 - 4) \times 100}{(72 - 4)} = 94.1\%$$

مقدار ضریب کارایی بازیافت حرارتی سیستم ۹۴ درصد به دست می آید.

نگهداری دما

در ضمن عملیات حرارتی پاستوریزاسیون باید محصول به مدت معینی تحت دمای مشخصی قرار گیرد. این عمل ممکن است در یک واحد نگهداری دما^۱ (هولدر) واقع در بیرون از دستگاه پاستوریزاتور انجام پذیرد. این واحد معمولاً به شکل لوله های مرتبی است که در یک طرح مارپیچ یا زیگزاگ با اتصالات ورودی و خروجی متصل به دستگاه پاستوریزاتور قرار دارند و اغلب با یک حفاظ فلزی برای جلوگیری از خطر سوختگی بدن کارگران بر اثر تماس با آن، پوشیده شده اند. طول لوله ها و سرعت جریان، دو عامل اصلی تعیین کننده زمان ثابت نگهداشتن دما (holding time) هستند. کنترل دقیق سرعت جریان مواد با توجه به خصوصیت ابعادی سیستم برای رسیدن به زمان لازم بسیار اساسی است. در صورت تغییر سرعت مدت زمانی که محصول در معرض دمای پیش بینی شده قرار می گیرد، تغییر می یابد. امروزه اغلب واحدهای نگهدارنده دما، در داخل دستگاه تبادل کننده های صفحه ای کار گذاشته می شود و از انواع تعبیه شده در خارج از دستگاه به ندرت استفاده می شود. در شکل ۱۲ لوله های نگهدارنده دما مارپیچ، و زیگزاگ نشان داده شده است.



شکل ۱۲ لوله‌های نگهدارنده دما

محاسبه زمان در لوله نگهداری دما

طول لوله برای نگهداری دما در زمان لازم بر اساس ظرفیت در ساعت و قطر داخلی لوله‌ها محاسبه می‌شود. از آنجا که سرعت ذرات شیر در لوله نگهدارنده دما یکسان نیست و بعضی از مولکول‌های شیر سریع‌تر از میانگین سرعت در نظر گرفته شده حرکت می‌کنند برای اطمینان از اینکه مولکول‌های پرشتاب نیز به اندازه کافی در معرض حرارت لازم قرار گرفته‌اند از یک ضریب کارایی استفاده می‌شود. این ضریب به طراحی لوله‌های نگهدارنده دما بستگی دارد و اغلب در محدوده ۰/۸-۰/۹ قرار دارد. برای محاسبه طول لوله نگهدارنده دما با توجه به دیگر داده‌های سیستم از رابطه‌های ۶ و ۷ استفاده می‌شود.

رابطه (۶)

$$V = \frac{Q \times HT}{3600 \times \eta} \quad (dm^3)$$

رابطه (۷)

$$L = \frac{V \times 4}{\pi \times D^2} \quad (dm)$$

در رابطه‌های فوق

سرعت جریان در پاستوریزاتور بر حسب لیتر در ساعت	Q
زمان نگهداری محصول در لوله نگهدارنده دما بر حسب ثانیه	HT
طول لوله نگهدارنده دما بر حسب دسی متر در ارتباط با Q و HT	L
قطر داخلی لوله بر حسب دسی متر، مطابق با لوله‌کشی سیستم پاستوریزاتور	D
حجم شیر بر حسب لیتر یا دسی‌متر مکعب در ارتباط با Q و HT	V
ضریب کارایی	η

مثال: طول (L) لازم برای لوله نگه‌دارنده دما با قطر داخلی (D) ۴۸/۵ میلی‌متر (۰/۴۸۵ دسیمتر) با زمان نگهداری ۱۵ ثانیه (HT) و با ظرفیت پاستوریزاسیون ۱۰۰۰۰ لیتر شیر در ساعت (Q)، ضریب کارایی سیستم ۰/۸۵ را پیدا کنید.

با استفاده از رابطه ۶ حجم شیر را پیدا کرده

$$V = \frac{10000 \times 15}{3600 \times 0.85} = 49 dm^3$$

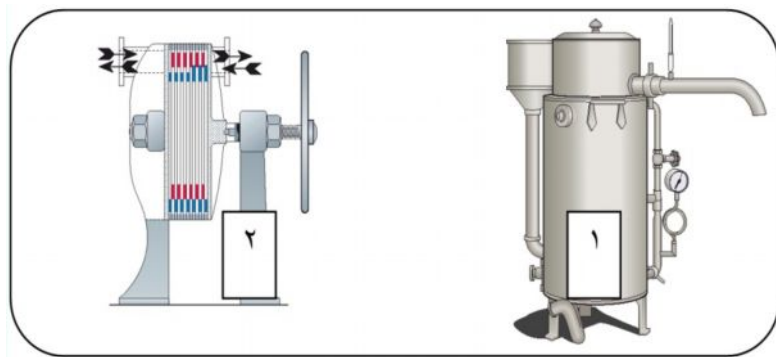
این مقدار را در رابطه ۷ می‌گذاریم

$$L = \frac{49 \times 4}{3.14 \times 0.485^2} = 265.5 dm \text{ or } 26.5 m$$

طول لوله لازم برابر ۲۶/۵ متر است.

انواع تبادلهای حرارتی

در سال ۱۸۷۸ یک آلمانی به نام آلبرت دریک^۱ امتیاز طرح ساخت ماشینی را به نام خود ثبت کرد. این دستگاه می‌توانست یک مایع را با جریانی از سیال سردی که در سمت دیگر آن جریان داشت خنک کند. دقیقاً معلوم نیست آیا از روی طرح تبادلهای حرارتی که در شکل ۱۳ (ب) نشان داده شده است هرگز دستگاهی ساخته شد یا نه؟



شکل ۱۳ نمای پاستوریزاتورهای اولیه

در ابتدای سال ۱۹۲۰ میلادی دوباره ایده قدیمی آلمانی مطرح گشت و یک تبادلهای حرارتی با تلاقی حرارتی طراحی شد و از آن پس این تبادلهای حرارتی به طور گسترده‌ای برای سرد و گرم کردن در صنایع لبنی به کار برده شدند. در اواخر قرن ۱۹ میلادی ابزارها و

1. Albert Dracke

دستگاه‌های متفاوتی برای حرارت دادن شیر به کار گرفته می‌شد. یک نوع آن در شکل ۱۳(۱) دیده می‌شود. این وسیله‌ها با وجود آن که نقایص زیادی داشتند ولی تا سال ۱۹۵۰ میلادی هنوز در برخی نقاط از آن‌ها استفاده می‌شد.

انواع رایج تبادل کننده‌های حرارتی را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم کرد:

- تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای^۱
- تبادل کننده‌های حرارتی لوله‌ای^۲
- تبادل کننده‌های حرارتی تیغه تراش^۳

تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای

امروزه اغلب عملیات حرارتی در صنایع لبنی با تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای انجام می‌پذیرد. تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای به شکل دسته‌ای از صفحه‌های فولادی ضد زنگ^۴ هستند که در یک قاب قرار دارند. قاب شامل چندین دیواره است که آن را به قسمت‌های مجزا تبدیل می‌کند. در این قسمت‌ها عملیات حرارتی مختلف مانند عملیات حرارتی اولیه، حرارت‌دهی نهایی و خنک کردن انجام می‌پذیرد. محیط گرم‌آزا آب است و محیط خنک کننده نیز ممکن است آب سرد، آب یخ، یا پروپیل‌گلیکول باشد که با توجه به دمای خروجی فراورده انتخاب می‌شود. صفحه‌ها بر اساس طراحی ویژه‌ای برای رسیدن به بهترین درجه حرارت چین و شکن خاصی دارند و به صورت فشرده در قاب جاسازی شده‌اند. چین و شکن‌ها در تبادل کننده‌های حرارتی به گونه‌ای صفحه‌ها را در کنار هم قرار می‌دهد که یک مجرای باریک در میان آن‌ها شکل می‌گیرد. مایعات از طریق مجاری و سوراخ‌های واقع در گوشه صفحه‌ها به داخل مجاری بین صفحه‌ها وارد و خارج می‌شود.

طراحی ویژه‌ای به شکل باز یا مسدود بودن سوراخ‌ها، مسیر مایع را از یک مجرا به مجرای دیگر تعیین می‌کند، و اشهرای^۵ دور لبه صفحه‌ها و دور سوراخ‌ها مرز بین مجاری را تعیین و از نشت مایعات به بیرون و مخلوط شدن محتویات داخل واحدها جلوگیری می‌کند.

1. Plate Heat Exchangers=PHE

2. Tubular Heat Exchangers=THE

3. Scraped-Surface

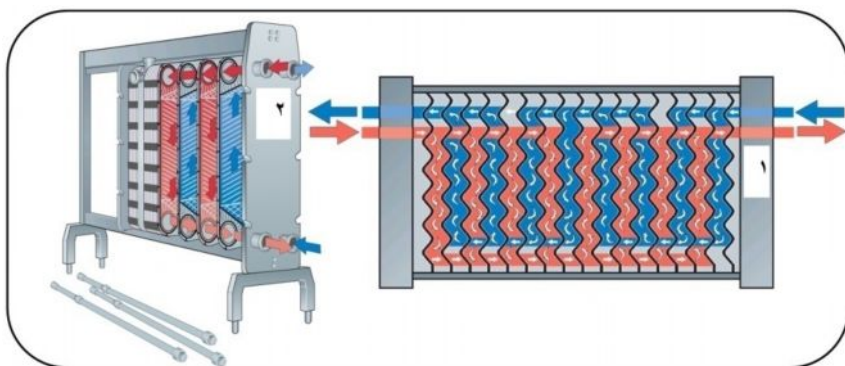
4. Stainless Steel

5. Gaskets

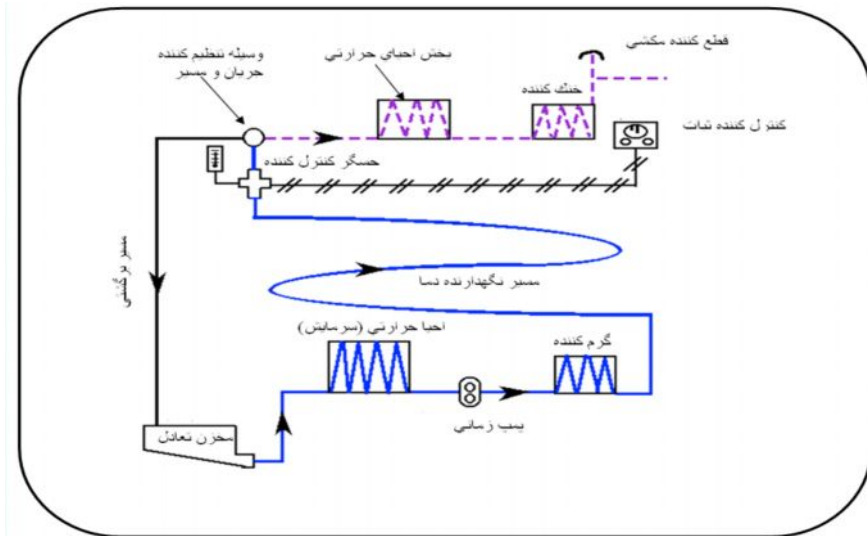
نمای جریان در پاستوریزاتور

در جریان پاستوریزاتورهای صفحه‌ای ابتدا محصول از طریق یک سوراخ واقع در یک گوشه دستگاه وارد اولین مجرای داخل پاستوریزاتور می‌شود و به طور عمودی از میان مجرای جریان می‌یابد. و از گوشه دیگر واقع در انتهای مسیری که با واشر جداکننده تفکیک شده خارج می‌شود. طوری پیش‌بینی شده که محصول به طور متناوب پس از طی مسیرهای هر بخش به مسیر بخش دیگر وارد شود. ماده گرمازا یا سرمازا در سمت دیگر دیواره، نخست از انتهای دیگر دستگاه وارد می‌شود و سپس به همان شکل محصول با تناوب خاصی از میان صفحه‌های دستگاه عبور می‌کند. محصول در داخل مجرای، از ورای دیواره، در مجاورت محیط گرمازا یا سرمازا قرار می‌گیرد. برای کارایی موثر انتقال حرارت، باید ضخامت مجاری بین صفحه‌ها تا حد ممکن کم باشد. اگر قرار باشد حجم زیادی محصول از این مجاری عبور داده شود سرعت جریان افزایش می‌یابد و اختلاف فشار بیشتر می‌شود که هیچکدام مطلوب نیست. برای رفع این نقیصه محصول را هم‌زمان از میان تعداد زیادی مجاری موازی هم‌مسیر، در بین صفحه‌ها عبور می‌دهند.

در شکل ۱۴ (۱) رنگ روشن (محصول) ابتدا به دو مسیر اصلی تقسیم می‌شود، که هر کدام چهار مسیر موازی را طی می‌کند و رنگ تیره (محیط گرمازا) به چهار مسیر تقسیم می‌شود که هر کدام دو مسیر موازی را طی می‌کند. این مجموعه ترکیب را به صورت $(2 \times 4 / 4 \times 2)$ می‌نویسند. اولین شماره تعداد اصلی تقسیم جریان و دومین شماره تعداد انشعابات موازی را نشان می‌دهد. در شکل ۱۵ دیاگرام کامل واحد پاستوریزاتور نشان داده شده است.



شکل ۱۴ نمای شماتیک تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای و نمای جریان سیالات در بین صفحات



شکل ۱۵ دیاگرام جریان محصول در واحد پاستوریزاتور

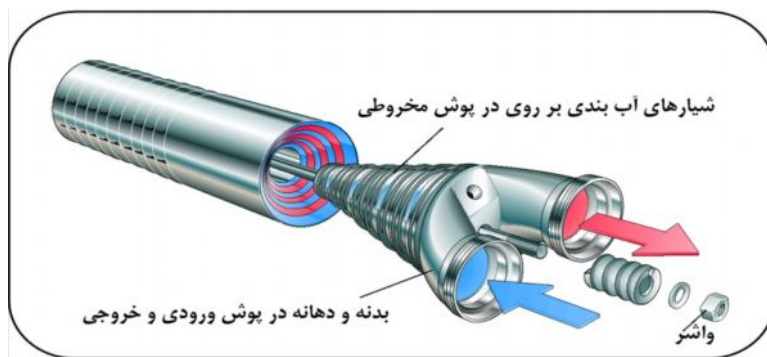
تبادل کننده‌های حرارتی لوله‌ای

برای تولید فراورده‌های فرادما (UHT) در صنایع لبنی از تبادل کننده‌های حرارتی لوله‌ای استفاده می‌شود. در این تبادل کننده‌ها بر خلاف تبادل کننده‌های صفحه‌ای هیچ نقطه اتصالی در داخل مجرا وجود ندارد. بنابراین، می‌توان فراورده‌هایی را با ذرات درشت‌تر از اندازه معمول، از داخل آن‌ها عبور داد. حداکثر اندازه ذرات وابسته به قطر داخلی لوله‌ها است. تبادل کننده حرارتی لوله‌ای در مقایسه با تبادل کننده حرارتی صفحه‌ای پس از عملیات تمیزکردن، مدت بیشتری فعال باقی می‌ماند. یعنی دیرتر به تمیز کردن نیاز پیدا می‌کند. از نظر تبادل حرارت، تبادل کننده لوله‌ای کارایی کمتری نسبت به نوع صفحه‌ای دارد. تبادل کننده حرارتی لوله‌ای در دو شکل متفاوت زیر وجود دارد.

- پوسته‌ای پوسته‌ای^۱
- پوسته‌ای لوله‌ای^۲

تبادل کننده های حرارتی نوع پوسته ای پوسته ای

در این نوع تبادل کننده ها تعدادی از لوله های مستقیم با قطرهای متفاوت کار انتقال حرارت را انجام می دهند. در شکل ۱۶، سطح انتقال حرارت به صورت مجرا یا لوله های متحدالمرکز با یک محور داخل هم قرار گرفته اند. در هر انتها لوله ها با واشر O شکلی لبه به لبه درزبندی و به گونه ای سوار شده اند که در انتها در روی یک محور به یک دهانه فشرده منتهی می شوند. مایع گرمای یا سرمازا به صورت ناهمسو از درون مجاری متحدالمرکز به صورت یک در میان جریان می یابد. طراحی این تبادل کننده ها به گونه ای است که این سیالات همیشه در مجاری بیرونی تر جریان دارند. در بعضی حالات داخل این نوع تبادل کننده ها را چین دار می کنند تا با ایجاد تلاطم در هر دو محیط (محصول و سیال گرمای یا سرمازا) به حداکثر تبادل حرارتی دست یابند. همچنین، ممکن است سیستم تبادل کننده حرارتی، پوسته ای پوسته ای- برای نوع محصول- محصول (که در هر دو طرف لوله های تبادل کننده محصول با دماهای مختلف جریان دارد) نیز به کار برده شود. یک نوع از این تبادل کننده ها که فقط دارای یک مجرای حلقوی در وسط برای محصول و دو مجرای متحدالمرکز در داخل و خارج برای جریان مایع سرمازا یا گرمای است در بعضی صنایع (مثل تهیه گلوکز از نشاسته با روش اسیدزنی حرارتی) کاربرد بیشتری دارد.



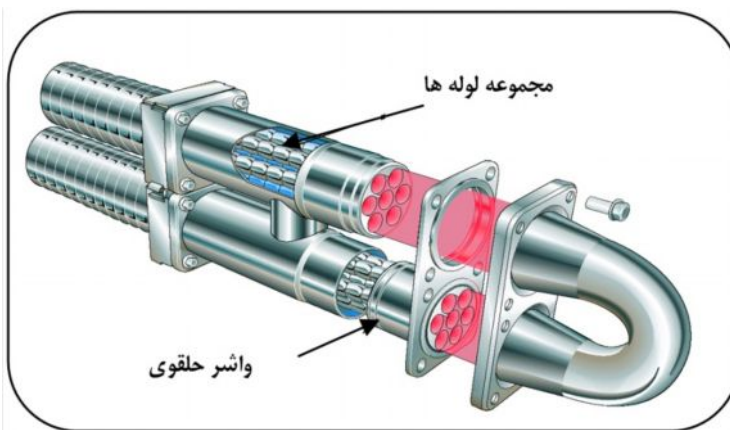
شکل ۱۶ نمای تبادل کننده حرارتی نوع پوسته ای، پوسته ای

تبادل کننده های حرارتی نوع پوسته ای لوله ای

این نوع تبادل کننده های حرارتی عمدتاً به شکل پوسته و لوله اند. محصول از لوله های موازی عبور می کند و سیال تامین کننده سرما یا گرما خارج آن لوله ها جریان می یابد. برای افزایش بازده تبادل حرارت به وسیله زواید چین دار حلزونی در پوسته و لوله تلاطم ایجاد می شود.

سطح انتقال حرارت در این نوع تبادل کننده‌ها شامل مجموعه‌ای از لوله‌های مستقیم با دیواره چین‌دار یا صاف است که در هر دو انتها به صفحه نگه‌دارنده‌ای جوش خورده‌اند، (شکل ۱۷). صفحه نگه‌دارنده با دو واشر حلقوی باعث شناور ماندن لوله‌ها در فضای داخل پوسته خارجی و درزبندی آن می‌گردد و در موقع لزوم می‌توان لوله‌ها را به آسانی از داخل پوسته، بدون اتصالات پیچ و مهره‌ای خارج نمود. شناور بودن لوله‌ها در داخل پوسته، امکان ایجاد تغییر در جذب و توسعه حرارت را فراهم می‌آورد و در نتیجه می‌توان شکل‌های متفاوتی از فرایندهای حرارتی برای کاربردهای مختلف فراهم آورد.

یک نوع از این تبادل کننده‌های پوسته‌ای-لوله‌ای فقط با یک لوله داخلی می‌تواند ذراتی با قطر بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر را از درون خود عبور دهد که در بعضی از صنایع کاربرد دارد. تبادل کننده‌های حرارتی از نوع پوسته‌ای-لوله‌ای برای فرایندهایی با فشار و حرارت بالا مناسب‌اند.



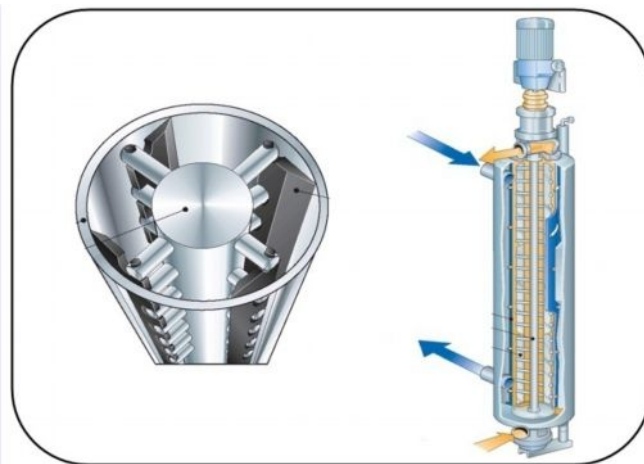
شکل ۱۷ نمای تبادل‌کننده حرارتی نوع پوسته‌ای، لوله‌ای

تبادل کننده‌های نوع تیغه‌تراش

تبادل کننده‌های نوع تیغه‌تراش^۱ برای سرد یا گرم کردن مواد غلیظ و چسبناک، مواد کلوخه‌ای و تبلور فراورده‌ها طراحی شده است. فشار عمل‌کننده روی محصول، اغلب بیش‌تر از ۴۰ بار است با این نوع تبادل کننده‌ها می‌توان تمام فراورده‌هایی که قابلیت جابه‌جایی با پمپ را دارند، تحت فرایند قرار داد.

1. Scraped surface

تبادل کننده حرارتی تیغه تراش شامل یک بدنه استوانه‌ای است که محیط تامین کننده دما در جدار خارجی استوانه جریان دارد و محصول با جریان غیرهمسو به داخل استوانه پمپ می شود و از محور چرخنده دور متغیر و تیغه های تراشنده قابل تغییر به شکل های متفاوت می توان برای کاربردهای مختلف استفاده کرد. وجود محور چرخنده با قطر کوچک تر سبب می شود ذرات درشت (بزرگ تر از ۲۵ میلیمتر) از میان استوانه عبور نمایند (شکل ۱۸).



شکل ۱۸ نمای تبادل کننده حرارتی نوع تیغه تراش

فرایندهای حرارتی متداول در صنعت شیر

از فرایندهای حرارتی مختلفی در صنعت برای سالم سازی شیر استفاده می شود که تعدادی از آن ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ فرایندهای حرارتی متداول در صنعت شیر

نوع فرایند	دما (درجه سانتیگراد)	زمان
ترمیزاسیون	۵۶-۶۳	۱۵ (ثانیه)
پاستوریزاسیون کند LTLT	۶۳	۳۰ (دقیقه)
پاستوریزاسیون سریع HTST	۷۲-۷۵	۱۵-۲۰ (ثانیه)
فراپاستوریزاسیون Ultra P.	۱۲۵-۱۳۸	۲-۴ (ثانیه)
استریل کردن (کند)	۱۱۵-۱۲۰	۲۰-۳۰ (دقیقه)
استریل کردن UHT	۱۳۵-۱۴۰	چند ثانیه

ترمیزاسیون^۱

در تعدادی از واحدهای بزرگ صنعتی امکان پاستوریزه کردن برای شیرهای دریافتی به سرعت مقدور نیست، در این واحدها حتی بکارگیری سرمای شدید نیز مانع از افت کیفیت شیر نخواهد شد. در برخی کشورها پاستوریزاسیون دوباره شیر بر اساس قانون مجاز نیست. از این رو، استفاده از نوعی تیمار حرارتی به نام ترمیزاسیون می‌تواند در این موارد مفید باشد. ترمیزاسیون نوعی فرایند حرارتی است که در دمای پایین‌تر از پاستوریزاسیون انجام می‌شود و نمی‌تواند آنزیم فسفاتاز را غیرفعال سازد. در این فرایند شیر به مدت ۱۵ ثانیه در معرض دمای ۶۳-۶۵ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد و بلافاصله تا دمای ۴ درجه سانتیگراد خنک می‌شود. این فرایند به نحو موثری باعث توقف رشد باکتری‌ها بویژه باکتری‌های سرمادوست و مانع از افت کیفیت شیر می‌شود. شیری که تحت فرایند ترمیزاسیون قرار گرفته هرگز نباید با شیر فرایند نشده مخلوط شود. متخصصان معتقدند که ترمیزاسیون اثر مطلوبی بر نابودی اسپور باکتری‌ها در فرایند حرارتی بعدی خواهد داشت. در ضمن این عملیات تعدادی از اسپورها به شکل رویشی در می‌آید که پس از آن در شرایط پاستوریزاسیون نابود خواهند شد. توصیه شده شیر ترمیزه شده در کمتر از ۲۴ ساعت، تحت فرایند پاستوریزاسیون قرار گیرد.

پاستوریزاسیون کند^۲

این روش بیشتر در سیستم‌های حرارتی ناپیوسته اعمال می‌شود. در این حالت شیر به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۳ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد و معمولاً عملیات حرارتی در شرایط محیط انجام می‌شود. نکته مهم در این سیستم ثابت نگه داشتن دما در طول مدت فرایند و همزدن شیر برای توزیع یکسان حرارت است.

پاستوریزاسیون سریع^۳

معمولاً این روش با استفاده از تبادل‌کننده‌های حرارتی صفحه‌ای انجام می‌شود و شیر به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه در دمای ۷۲-۷۵ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد. این عملیات به صورت پیوسته و در شرایط کاملاً بسته انجام می‌شود، در نتیجه کمترین کاهش را روی اجزای

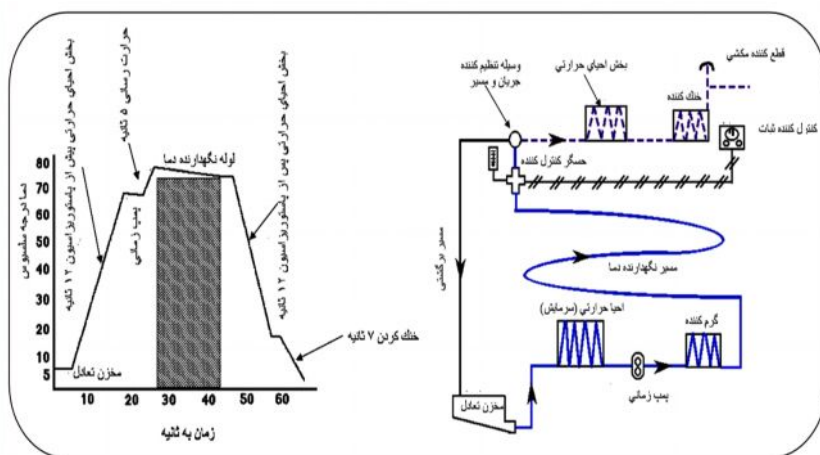
1. Termisation

2. Low Temperature Long Time=LTLT

3. High Temperature Short Time=HTST

مغذی شیر دارد و باعث حفظ کیفیت آن خواهد شد. در شکل ۱۹ نمای عملیات پاستوریزه کردن سریع و ترتیب انجام فرایندها نشان داده شده است.

شیر پاستوریزه با هر روشی که فراوری شده باشد (کند یا سریع) در هنگام مصرف به حرارت دادن مجدد نیاز ندارد و فقط در صورت تمایل مصرف‌کننده به نوشیدن شیر گرم، می‌توان آن را تا دمای مناسب گرم نمود.



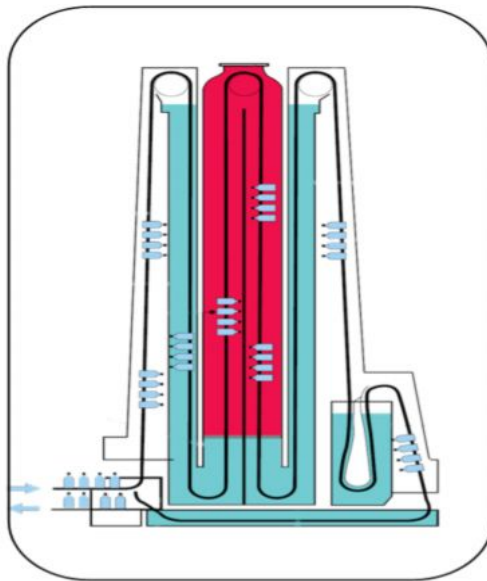
شکل ۱۹ نمای عملیات در پاستوریزاسیون HTST

فراپاستوریزاسیون^۱

این فرایند حرارتی در دمای ۱۳۸-۱۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴-۲ ثانیه انجام می‌شود. شیرهایی را که این نوع عملیات حرارتی روی آن‌ها صورت می‌گیرد شیرهای ESL^۲ می‌نامند. و بسته به کیفیت شیر خام ماندگاری فراورده پاستوریزه در این سیستم افزایش یافته و تا ۴۰-۲۰ روز در شرایط یخچال قابل نگهداری است. باید در نظر داشت کیفیت شیر خام برای تولید این گروه از محصولات باید در حد بسیار بالا باشد. در ضمن، چرخه کامل سرما در تمام طول مدت نگهداری این فراورده کاملاً رعایت گردد و همواره در دمای پایین تر از ۷+ درجه سانتیگراد نگهداری شود.

استریل کردن کند

این روش استریل کردن که هنوز هم در برخی صنایع کاربرد دارد معمولاً به صورت استریل کردن در ظرف پس از بسته بندی، در دمای ۱۲۰-۱۱۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰-۳۰ دقیقه است. در این روش پس از استاندارد کردن، شیر را تقریباً تا ۸۰+ درجه سانتیگراد حرارت داده و بسته بندی می نمایند، سپس آن را در حالی که هنوز گرم است به داخل اتوکلاو یا برج هیدرواستاتیک هدایت کرده تا به مدت لازم در معرض دمای استریل کردن در مدت لازم قرار گیرد. این روش امروزه برای شیر کاربرد ندارد، زیرا باعث کاهش شدید مواد مغذی شیر و ایجاد رنگ قهوه‌ای در آن می شود (شکل ۲۰).



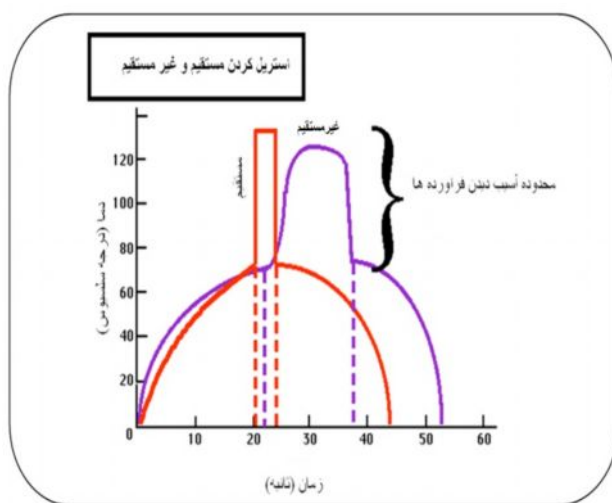
شکل ۲۰ برج استریل کننده هیدرواستاتیک

فرا دما^۱ UHT

این فناوری برای تولید انواع فراورده‌های لبنی با ماندگاری طولانی ابداع شده است. در این روش شیر با کیفیت بالا بعد از اعمال فرایند حرارتی اولیه و هموژنیزاسیون به مدت چند ثانیه در معرض دمای ۱۴۰-۱۳۵ درجه سانتیگراد قرار می گیرد و بلافاصله خنک می شود و

سپس در شرایط کاملاً استریل (آسپتیک) بسته بندی می شود. ماندگاری این فراورده ها در دمای محیط ۴-۶ ماه است. دو روش برای فرایند فرادما وجود دارد:

- حرارت دادن و سرد کردن غیرمستقیم در تبادل کننده های صفحه ای یا لوله ای،
- حرارت دادن مستقیم با تزریق بخار به داخل شیر یا وارد نمودن شیر در داخل بخار داغ و سپس سرد کردن در تحت خلأ.



شکل ۲۱ نمای عملیات UHT به صورت مستقیم و غیرمستقیم

روش مستقیم امروزه کاربرد ندارد، زیرا امکان دارد در این روش مواد خارجی داخل شیر شود و همچنین، کیفیت تغذیه ای شیر کاهش می یابد. در شکل ۲۱ نمای عملیات و دامنه کاهش مواد مغذی نشان داده شده است.

نمونه سؤالات این فصل

۱. اندیس D و Z به چه معناست؟
۲. برای تشخیص کفایت عملیات حرارتی در فرایند پاستوریزاسیون و استریلیزاسیون از اندازه‌گیری چه آنزیم‌هایی استفاده می‌شود؟
۳. عوامل موثر در ایجاد رسوب در دستگاه پاستوریزاتور را نام ببرید؟
۴. ترمیزاسیون چیست؟

فصل ششم

تولید شیر آشامیدنی

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با روش تنظیم درصد چربی شیر،
- عملکرد تجهیزات تنظیم‌کننده چربی،
- اصول کار دستگاه هموژن‌کننده چربی،
- عملیات جانبی مانند حذف هوا،
- انتخاب بسته‌بندی مناسب.

شیر آشامیدنی فراوان‌ترین محصول تولیدی در کارخانه‌های شیر است. در اغلب کشورها مصرف شیر آشامیدنی سهم بزرگی از فراورده‌های لبنی را تشکیل می‌دهد. برای مثال، حدود ۸۰ درصد شیر تولید شده در هند به صورت شیر آشامیدنی به مصرف می‌رسد.

فرایندهای عمومی

شیر خام پس از آزمایش‌های معمول مانند اسیدیته، pH، درصد چربی، دانسیته، درصد آب و ... توسط کارخانه دریافت می‌شود. هنوز اندازه‌گیری چربی به عنوان معیار پرداخت بهای شیر اهمیت بالایی دارد. برخی آزمایش‌ها برای پرداخت جواز بهداشتی به دامدار تولیدکننده شیر انجام می‌شود که از جمله می‌توان به آزمایش شمارش بار میکروبی کل اشاره نمود. شیر پس از دریافت در کارخانه‌های لبنی، تحت یک سری فرایندهای عمومی قرار می‌گیرد که هدف آن‌ها ارتقای کیفیت بهداشتی شیر و آماده‌سازی آن برای دیگر فراورده‌های شیری است. این فرایندها با توجه به نوع عملیات ممکن است به صورت پیوسته یا غیرپیوسته باشد. در هر یک از این فرایندها از ماشین‌آلات خاصی استفاده می‌شود. در ادامه به تعدادی از دستگاه‌های فراوری عمومی شیر اشاره می‌شود.

جداکننده‌های گریز از مرکز

شیر سیالی کلونیدی است که در آن سرم شیر به صورت فاز پیوسته اجزای دیگر آن از جمله چربی را در بر می‌گیرد. چربی شیر به شکل گویچه‌هایی تا قطر پانزده میکرون به صورت فاز پراکنده در سرم شیر وجود دارد. در شیر فاز سومی نیز وجود دارد که عمدتاً شامل ذرات جامد معلق مانند سلول‌های بافت پستانی، ذرات ریز کاه، مو و غیره است. هر فاز، چگالی مخصوص به خود دارد، مثلاً چگالی ذرات جامد بیشتر از چگالی گویچه‌های چربی است. تفاوت چگالی‌ها منشأ انتخاب سیستمی برای جداسازی آن‌ها از یکدیگر است. از این ویژگی برای جداسازی اجرام خارجی و جداسازی مقداری از چربی شیر به منظور استاندارد کردن درصد چربی محصولات استفاده می‌شود.

چگالی^۱

چگالی یک خصوصیت فیزیکی است و آن اندازه سنگینی واحد حجم مواد است که به صورت کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. برای مثال، اگر یک مترمکعب آهن وزن شود ترازو عدد ۷۸۶۰ را نشان می‌دهد، این عدد یعنی چگالی آهن ۷۸۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. چگالی آب، گرانیت، چوب‌پنبه و جیوه در دمای اتاق به ترتیب برابر ۱۰۰۰، ۲۷۰۰، ۱۸۰ و ۱۳۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

هرگاه شیئی در مایعی قرار گیرد و چگالی شیء بالاتر باشد آن شیء در مایع فرو خواهد رفت اما اگر چگالی آن کمتر از مایع باشد در آن شناور می‌ماند. چگالی را معمولاً با حرف یونانی رو (ρ) نشان می‌دهند. بنابراین، وضعیت فیزیکی یک شیء در درون سیال حاصل اختلاف دو چگالی (ρ_p و ρ_l) است.

سرعت ته‌نشینی - تعلیق

ذرات جامد یا قطرات مایع موجود در یک سیال تحت تأثیر نیروی وزن خود با سرعت‌های مختلفی به سمت پایین ظرف حرکت می‌نمایند که آن را سرعت ته‌نشینی^۲ می‌نامند. اگر چگالی ذرات از سیال محاط‌کننده پایین‌تر باشد، ذرات در داخل سیال با سرعت تعلیق^۳ شناور خواهند ماند. این سرعت‌ها که به نیروی ثقل وابسته است با V_g نشان داده می‌شود. رابطه سرعت ته‌نشینی - تعلیق با مقادیر فیزیکی زیر قابل اندازه‌گیری است:

- قطر ذرات (d) بر حسب متر

- چگالی ذرات (ρ_p) بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

- چگالی فاز پیوسته (ρ_l) بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

- ویسکوزیته فاز پیوسته (η) بر حسب کیلوگرم بر متر، ثانیه

- شتاب ثقل (g) بر حسب متر بر مجذور ثانیه ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

با جاگذاری مقادیر فوق در رابطه (۱) می‌توان سرعت ته‌نشینی - تعلیق ذرات یا قطره‌ها را در هر سیال محاسبه نمود. این رابطه به قانون استوک^۴ معروف است.

1. density

2. sedimentation Velocity

3. flotation velocity

4. stoke's law

$$V_g = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \times g \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که سرعت ته‌نشینی - تعلیق ذرات به عامل‌های زیر بستگی دارد:

- سرعت ته‌نشینی - تعلیق با افزایش قطر ذرات افزایش می‌یابد، زیرا سرعت ته‌نشینی با مجذور قطر رابطه مستقیم دارد.
- سرعت ته‌نشینی - تعلیق با افزایش اختلاف چگالی فازها افزایش می‌یابد.
- سرعت ته‌نشینی - تعلیق با کاهش ویسکوزیته فاز پیوسته افزایش می‌یابد.

بررسی سرعت تعلیق گویچه‌های چربی

در یک ظرف گویچه‌های چربی شیر تازه تمایل به روی سطح آمدن دارند. سرعت تعلیق یا بالا آمدن را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) محاسبه نمود:

مثال ۱: سرعت بالا آمدن گویچه چربی با قطر ۳ میکرون چقدر است؟

داده‌های مورد نیاز:

قطر گویچه (d): ۳ میکرون یا 3×10^{-6} متر

چگالی چربی (فاز پراکنده) (ρ_p): ۹۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب

چگالی فاز پیوسته (ρ_l): ۱۰۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب

($\rho_p - \rho_l$): ۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب

ویسکوزیته شیر (η): ۱/۴۲ سانتی پواز 1.42×10^{-3} کیلوگرم بر متر ثانیه

با جاگذاری داده‌ها در رابطه (۱)

$$V_g = \frac{(3 \times 10^{-6})^2 \times 48}{18 \times 1.42 \times 10^{-3}} \times 9.81 \cong 10^{-6} m/s \cong 0.166^{-3} mm/s \cong 0.597 mm/h$$

مشخص می‌شود که گویچه چربی با قطر ۳ میکرون با سرعت تعلیقی ۰/۶ میلی‌متر در

ساعت بالا می‌آید.

مثال ۲: اگر در مثال یک، قطر گویچه چربی دو برابر شود سرعت بالا آمدن چقدر است؟

$$2^2 \times 0.6 = 2.4 mm/h$$

بنابراین، سرعت بالا آمدن گویچه چربی افزایش می‌یابد یعنی هرچه اندازه گویچه‌های

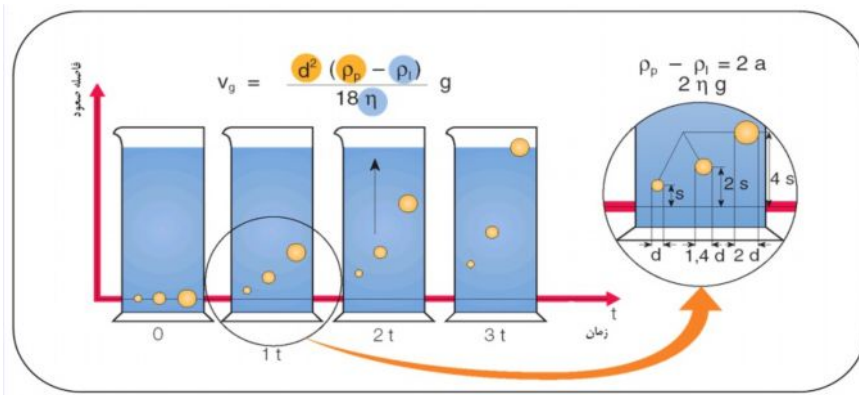
چربی بزرگ‌تر باشد سرعت بالا آمدن چربی افزایش می‌یابد. در شکل ۱ نمای شماتیک این

فرایند نشان داده شده است.

ته‌نشینی یا رسوب

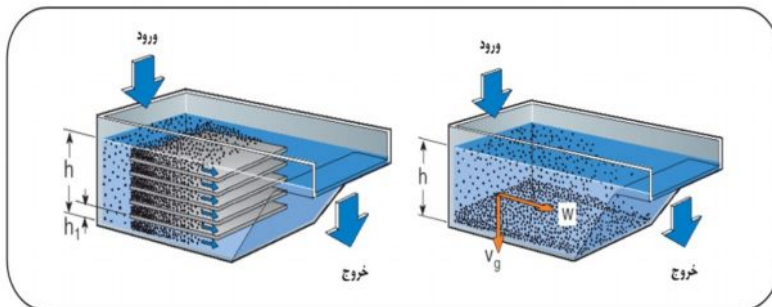
همان‌طور که گفته شد رفتار ذرات در سیال به چگالی و اندازه آن‌ها بستگی دارد، ذرات سنگین‌تر در سیالات تمایل به رسوب یا ته‌نشینی دارند. اگر سوسپانسیونی با ذرات مختلف مدتی به حال خود رها شود، ذرات موجود در آن به تدریج ته‌نشین می‌شود.

فاصله رسوبی: ارتفاع سطح سیال تا ته ظرف را فاصله رسوبی می‌نامند، هرچه فاصله رسوبی کمتر باشد، زمان رسوب نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۱ نمای شماتیک ارتباط قطر گویچه‌های چربی با سرعت بالا آمدن

ظرفیت رسوبی: هر چه سطح قابل رسوب بزرگ‌تر باشد، ظرفیت رسوبی افزایش می‌یابد. یعنی مواد بیشتری در زمان کمتری در سطوح رسوبی ته‌نشین می‌شوند. در شکل ۲ فاصله رسوبی (h) و ظرفیت رسوبی که با افزایش دادن طبقاتی در ظرف حاوی سیال پدید آمده، نشان داده شده است.

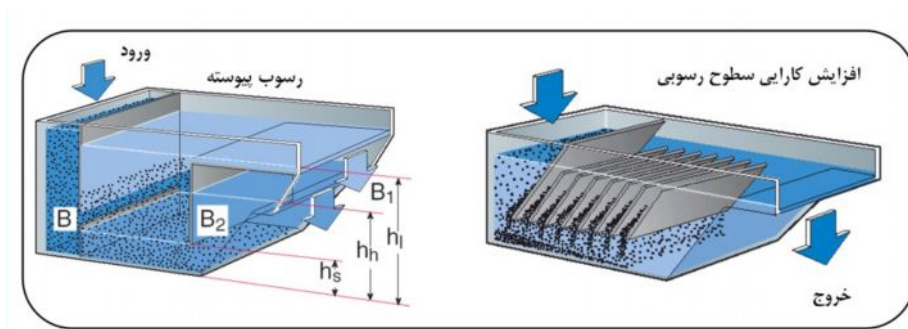


شکل ۲ نمای شماتیک رسوب مواد

اگر در ظرفی که با جاگذاری طبقات ظرفیت رسوبی آن افزایش یافته است، حالت طبقات از افقی به مایل تبدیل شود مواد پس از رسوب روی این سطوح بر اثر نیروی ثقل به طرف پایین لغزیده و به ظرفیت رسوبی سیستم می‌افزایند. با جاگذاری صفحات عمودی در ظرف می‌توان جریان رسوبی را به شکل پیوسته هدایت نمود (شکل ۳).

افزایش سرعت ته‌نشینی

حرکت ذرات رسوبی بر اساس نیروی ثقل، فرایند کندی است و هرچه وزن ذره کوچک‌تر باشد، فرایند رسوبی کندتر می‌شود زیرا در این حالت فقط نیروی ثقل باعث حرکت ذرات می‌شود. برای افزایش سرعت ته‌نشینی می‌توان از نیروی گریز از مرکز استفاده نمود.



شکل ۳ نمای شماتیک افزایش کارایی سطوح رسوبی و رسوب مداوم (پیوسته)

شتاب گریز از مرکز که می‌توان آثار آن را در یک سطل پر از مایع که حول محور عمودی می‌چرخد مشاهده نمود در مقایسه شتاب ثقل زمین پدیده ثابتی نیست و مقدار آن با شعاع چرخش (r) و سرعت چرخش زاویه‌ای (ω) تغییر می‌نماید. شتاب را می‌توان از رابطه (۲) محاسبه کرد.

$$a = r\omega^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

با جاگذاری این رابطه در معادله استوک سرعت ته‌نشینی در شرایط بکارگیری نیروی گریز از مرکز به دست می‌آید.

$$V_c = \frac{d^2(\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \times r\omega^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

مثال ۳: با توجه به داده‌های مثال ۱ سرعت بالا آمدن گویچه چربی با قطر ۳ میکرون در سانتریفوژی با شعاع ۰/۲ متر و با سرعت چرخش (rpm) ۴۵۰۰ چقدر است؟
سرعت زاویه‌ای را می‌توان با رابطه زیر به دست آورد:

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} \quad (\text{rad/s})$$

در این رابطه

2π یک دوران

n دوران در دقیقه (rpm)

با توجه به رابطه فوق مقدار سرعت زاویه‌ای برابر (rad/s) ۵۶۴/۴۹ خواهد بود سرعت ته‌نشینی با جاگذاری این مقدار در رابطه استوک برابر:

$$V = \frac{(3 \times 10^{-6} \times 48)}{18 \times 1.42 \times 10^{-3}} \times 0.2 \times 564.49^2 = 0.108 \times 10^{-2} \quad (\text{متر بر ثانیه})$$

یا $1/0.8$ m/s یا 3896 mm/h است. برای مقایسه سرعت ته‌نشینی در اثر جاذبه و مقایسه آن با کارایی سپراتور سانتریفوژی از تقسیم این دو داده به هم استفاده می‌شود.

$$\left(\frac{3896}{0.6} \cong 6500 \right)$$

یعنی سپراتور شش هزار و پانصد بار سریع‌تر عمل جداسازی را به انجام می‌رساند.

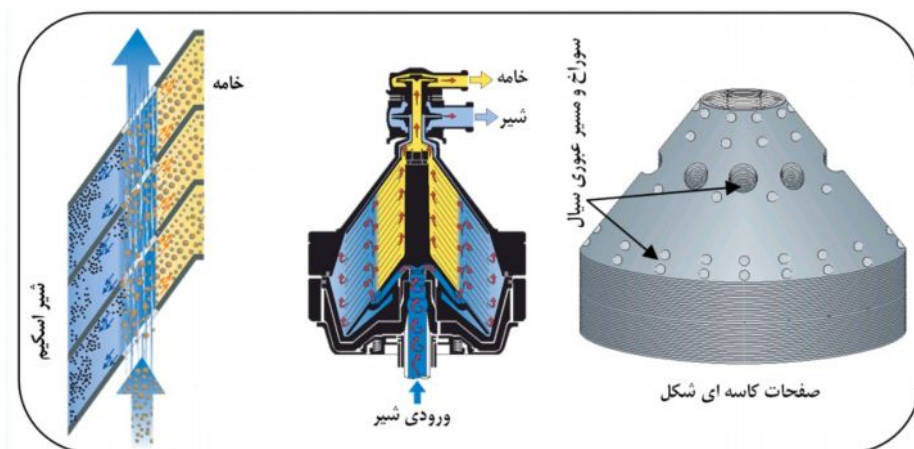
خامه‌گیر (سپراتور)

برای جداسازی اجزای مختلف شیر که چگالی مختلفی دارند از دستگاه خامه‌گیر استفاده می‌شود. اصول کار این دستگاه همان‌گونه که بیان شد بر اساس استفاده از نیروی گریز از مرکز است. شیر معمولاً از بخش زیرین دستگاه وارد و بر اساس تفاوت در چگالی از خروجی مخصوص که در بخش فوقانی دستگاه قرار دارد خارج می‌شود، قبلاً برای جداسازی ذرات خارجی و چربی از سپراتورهای جداگانه‌ای استفاده می‌شد اما امروزه با تلفیق عملکرد این دستگاه‌ها با هم دیگر، عملیات جداسازی ذرات خارجی و چربی هم‌زمان انجام می‌پذیرد و هریک از خروجی خاصی که در دستگاه تعبیه شده خارج می‌گردند. خامه‌گیر از تعدادی صفحه کاسه‌ای شکل تشکیل شده که در سطح آن‌ها سوراخ‌های جداکننده‌ای تعبیه شده است این مجموعه روی یک محور عمودی به صورت کاملاً فشرده روی هم جاسازی شده‌اند، (شکل ۴).

شیر از بین ردیف سوراخ‌های تقسیم‌کننده عمودی صفحه‌ها در فاصله معینی از لبه وارد توده صفحه‌ها می‌شود و تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز عمل جداسازی انجام می‌شود و گویچه‌های چربی به طور شعاعی در مسیر خارجی یا داخلی مجاری دستگاه بر اساس اختلاف چگالی به سمت بالا حرکت می‌نمایند. در این سیستم ناخالصی‌های جامد مانند ذرات کاه، مو، سلول‌های پستانی، گویچه‌های سفید خون و جز اینها با چگالی بالا به سمت بیرونی و محیطی متمایل و در محفظه رسوبات جمع‌آوری می‌شوند. مقدار این مواد متفاوت است و تقریباً حدود یک کیلوگرم به ازای هر ده هزار لیتر شیر می‌باشد. حجم محفظه جمع‌آوری رسوبات نیز متفاوت است و معمولاً حدود ۲۰-۱۰ لیتر است. در دستگاه‌های جدید محتویات این محفظه در فاصله‌های زمانی از قبل تعیین شده به سیستم فاضلاب تخلیه می‌شود.

بازده خامه‌گیری

مقدار چربی که هر خامه‌گیر می‌تواند از شیر جدا نماید به طراحی خامه‌گیر، سرعت جریان شیر و اندازه گویچه‌های چربی بستگی دارد. گویچه‌های با قطر کمتر از ۱ میکرومتر نمی‌توانند در شرایط عادی به وسیله دستگاه از شیر جدا شوند. بنابراین، آن‌ها همراه شیر پس‌چرخ از دستگاه خارج می‌شوند. معمولاً مقدار چربی باقی مانده در شیر پس‌چرخ حدود ۰/۰۷ - ۰/۰۴ درصد است. اگر سرعت جریان سیال در داخل دستگاه کاهش یابد گویچه‌های چربی زمان بیشتری برای بالا آمدن دارند، در نتیجه کارایی سیستم افزایش می‌یابد و به عکس.



شکل ۴ اجزای خامه‌گیر

شیر کامل پس از ورود به داخل خامه‌گیر در دو مسیر شیر پس‌چرخ و خامه جریان می‌یابد. ۱۰ درصد کل جریان خروجی سپراتور را خامه تشکیل می‌دهد. میزان چربی خامه از روی مقدار خامه خروجی از سیستم و دانستن مقدار درصد چربی شیر ورودی قابل تخمین است. اگر چربی شیر ۴ درصد فرض شود با عبور ۲۰۰۰۰ لیتر شیر در ساعت مقدار کل چربی عبوری از خامه‌گیر عبارت است از:

$$\frac{4 \times 20000}{100} = 800 \quad (\text{l/h})$$

اگر هدف تولید خامه با میزان چربی ۴۰ درصد باشد، باید مقدار چربی خالص به‌دست آمده از رابطه فوق با شیر پس‌چرخ رقیق گردد:

$$\frac{800 \times 100}{40} = 2000 \quad (\text{l/h})$$

بنابراین، لازم است در هر ساعت ۸۰۰ لیتر چربی با ۱۲۰۰ لیتر شیر پس‌چرخ به وسیله دریچه کنترل‌کننده با هم مخلوط تا مقدار ۲۰۰۰ لیتر خامه با چربی ۴۰ درصد به دست آید.

استاندارد کردن شیر از نظر درصد چربی

هر چند امروزه دستگاه‌های خامه‌گیر پیشرفته قادر به تنظیم خودکار چربی شیر و یا خامه هستند و این کار در کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت عملیات فراوری نقش بسزایی دارد اما آشنایی با اصول کار بخصوص در هنگامی که قرار است با استفاده از پودر شیر اسکیم و چربی بدون آب شیر یا پودر خامه انواع شیرهای با چربی استاندارد تهیه گردد، ضروری است.

مثال: چند کیلوگرم خامه با چربی ۴۰ درصد (A) باید با چه مقدار شیر پس‌چرخ با چربی ۰/۰۵ درصد (B) مخلوط شود تا محصولی با چربی ۳ درصد (C) به‌دست آید؟

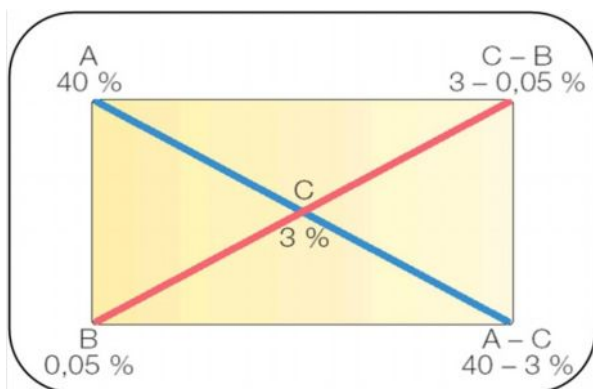
با جاگذاری داده‌ها در معادلات ۱ و ۲ مقدار هریک از مواد اولیه برای تهیه محصول نهایی به‌دست می‌آید.

$$\frac{X \times (C - B)}{(C - B) + (A - C)} \quad \text{kg(A)} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$\frac{X \times (A - C)}{(C - B) + (A - C)} \quad \text{kg(B)} \quad \text{معادله (۲)}$$

X مقدار محصول مورد نظر است.

راه دیگر برای حل مسئله فوق استفاده از مربع پیرسون (شکل ۵) است. با جاگذاری اعداد چهار گوشه مربع مقادیر خامه، شیر پس‌چرخ و محصول نهایی به دست می‌آید.



شکل ۵ مربع پیرسون برای تهیه محصولی با چربی استاندارد شده

A = میزان چربی خامه: ۴۰ درصد

B = میزان چربی شیر: ۰/۰۵ درصد

C = میزان چربی محصول نهایی: ۳ درصد

$$2/95 = C - B$$

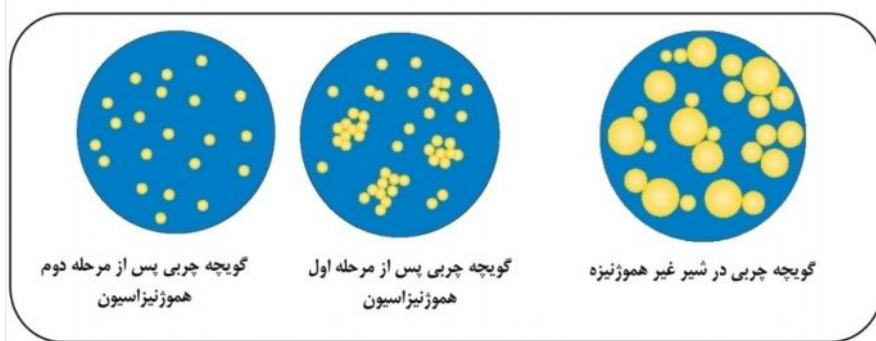
$$37 = A - C$$

هموژنیزاسیون

هموژن کردن فرایندی است که در آن با استفاده از فشار، گویچه‌های چربی به اندازه‌های کوچک‌تر در می‌آید تا عمل رویه بستن خامه در شیر کاهش یابد. برای این کار شیر را با فشار از میان یک گذرگاه باریک عبور می‌دهند. در نتیجه، قطر گویچه‌های چربی تا محدوده یک میکرون کاهش یافته و سطح تماس چربی با سرم شیر چهار تا شش برابر افزایش می‌یابد. در این حالت ترکیب غشای گویچه‌های جدید نیز تغییر می‌یابد و پروتئین‌های جذب شده از فاز سرمی شیر در ساختار جدید غشا دخالت دارند. ادعا شده حدود ۵۰ درصد پروتئین موجود در ساختار غشا از کازئین است.

عملیات هموژن کردن باید در شرایط دمایی مناسب انجام پذیرد، زیرا در شیر سرد، چربی حالت جامد دارد و بازده هموژنیزاسیون روی آن پایین است، برای دستیابی به بازده بالای هموژنیزاسیون باید فاز چربی به صورت مایع و با غلظت مناسب در شیر وجود داشته باشد. مثلاً خامه با چربی بیشتر از ۱۲ درصد را نمی‌توان به طور عادی هموژنیزه کرد، زیرا چربی در آن شکل توده‌ای به خود گرفته است. برای انجام هموژنیزاسیون موفق باید مواد غشایی به‌قدر کافی در دسترس باشد. به بیانی دیگر، باید به ازای هر گرم چربی حداقل ۰/۲ گرم کازئین وجود داشته

باشد. دمای معمول برای انجام هموژنیزاسیون (۷۵-۵۵) درجه سانتیگراد و فشار ۱۰۰ تا ۲۵۰ بار است. شکل ۶ نمای شماتیک گویچه‌ها را در مراحل مختلف هموژنیزاسیون نشان می‌دهد.



شکل ۶ نمای شماتیک گویچه چربی در مراحل هموژنیزاسیون

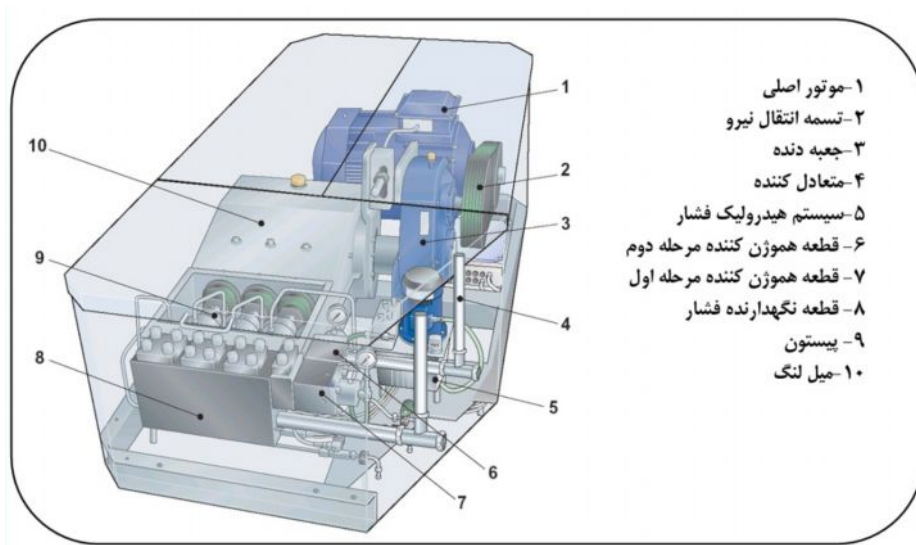
دستگاه هموژن کننده

دستگاه هموژن کننده از تعدادی پمپ‌های پیستونی که با جریان الکتریکی کار می‌کنند تشکیل شده است. نیروی موتور از طریق میل لنگ و دسته به صورت حرکت‌های رفت و برگشتی به پیستون انتقال داده می‌شود (شکل ۷).

پیستون‌ها (۹) در داخل سیلندرها و در یک محفظه با فشار بالا کار می‌کنند. پیستون‌ها از مواد مقاوم در برابر فشار ساخته شده و با درزبندی مضاعف در داخل دستگاه کار گذاشته شده‌اند. برای خنک کردن پیستون‌ها از گردش آب به دور آن‌ها استفاده می‌شود.

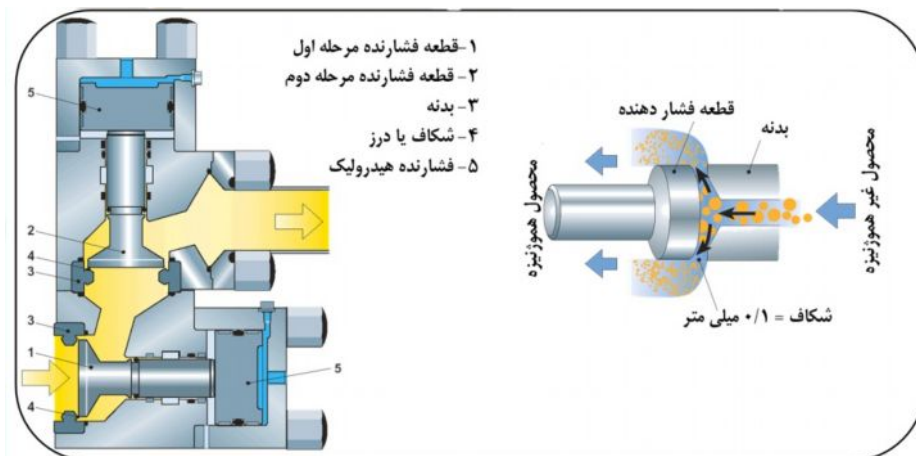
قطعه هموژن کننده (۶ و ۷) در مقابل مسیر خروج شیر قرار دارد. پمپ پیستونی شیر را با فشار تقریباً ۳ "بار" به طرف قطعه هموژن کننده جلو می‌برد. فشار ورودی مرحله اول قبل از رسیدن به قطعه هموژن کننده به طور خودکار ثابت نگه‌داشته می‌شود، فشار روغن در پیستون هیدرولیکی عامل تعادل فشار است. هموژن کننده‌ها اغلب مجهز به مخزن روغن هستند و فشار با پیستون‌های هیدرولیکی روغنی تامین می‌شود.

در ساختمان قطعه هموژن کننده یا هد (head) ظرافت خاصی به کار رفته است. این بخش متشکل از سه قطعه فولادی است که به طور فشرده در کنار هم قرار می‌گیرند به طوری که شیار بسیار باریکی بین آن‌ها وجود دارد. سطح داخلی این اجزا نسبت به شکاف خروجی دارای شیب است. مایع پس از ورود به یک مسیر کوتاه با زاویه ۸ درجه شتاب می‌گیرد و در مسیر کنترل شده هدایت می‌گردد.



شکل ۷ دستگاه هموژن کننده

پهنای شکاف عبوری تقریباً $0/1$ میلی متر است و شیر با سرعت $400-100$ متر بر ثانیه از شکاف عبور می نماید و زمان هموژنیزاسیون حدود $15-10$ صدم ثانیه است. در شکل ۸ قطعه هموژن کننده یک مرحله ای و دو مرحله ای نشان داده شده است.



شکل ۸ اجزای قطعه هموژن کننده یا هید

هموژن کردن دو مرحله‌ای

دستگاه هموژن کننده ممکن است به صورت یک یا دو مرحله‌ای عمل نماید. در هموژن کردن یک مرحله‌ای تمام فشار روی یک سیستم عمل می‌نماید ولی در هموژن کردن دو مرحله‌ای فشار کل در بین مرحله اول (P_1) و مرحله دوم (P_2) تقسیم می‌گردد، معمولاً در مرحله اول ۷۵ درصد و در مرحله دوم ۲۵ درصد فشار وارد می‌شود.

هموژن کردن یک مرحله‌ای برای موارد زیر به کار می‌رود:

- محصول با محتوای چربی پایین،
 - فراورده‌هایی که بخواهیم ویسکوزیته بالا داشته باشند.
- هموژن کردن دو مرحله‌ای در موارد زیر کاربرد دارد:
- فراورده‌هایی با محتوای چربی بالا،
 - فراورده‌هایی با ماده خشک بالا،
 - فراورده‌هایی که بخواهیم ویسکوزیته پایین داشته باشند،
 - بسیار ریز کردن ذرات.
- از مزایای هموژن کردن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- مانع رویه‌بستن چربی در شیر می‌شود،
 - رنگ فراورده‌ها را سفیدتر و اشتها برانگیزتر می‌نماید،
 - کاهش حساسیت چربی به اکسیداسیون،
 - پخش یکنواخت مواد معطر در شیر،
 - هموژنیزاسیون چربی باعث ثبات طعم و بهبود قوام در فراورده‌های تخمیری شیر می‌شود.
- از معایب هموژن کردن نیز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- چربی شیر هموژنیزه را نمی‌توان به طور کامل از آن جدا کرد،
 - باعث افزایش حساسیت شیر به نور خورشید و نور فلورسنت می‌شود و اگر شیر در معرض این نورها قرار گیرد باعث بروز طعم آفتاب^۱ در شیر می‌شود،
 - پایداری حرارتی شیر خصوصاً در سیستم هموژنیزاسیون یک مرحله‌ای کاهش می‌یابد،
 - از شیر هموژنیزه نمی‌توان پنیر سخت و نیمه‌سخت تولید کرد.

حذف هوا از شیر

شیر همیشه حاوی مقداری هوا و دیگر گازهاست، به طور طبیعی مقدار اکسیژن موجود در شیر کم است ولی مقدار دی اکسیدکربن بیشتر است. کل حجم هوا در شیر داخل پستان حدود ۶-۴/۵ درصد است که از این مقدار سهم اکسیژن حدود ۱/۰ درصد، نیتروژن ۱ درصد و گاز کربنیک ۴/۹-۳/۵ درصد است.

پس از شیردوشی هوا نیز - که دارای اکسیژن است - داخل شیر می شود. مقدار انحلال هوا در شیر به دمای آن بستگی دارد، اصولاً سرما باعث افزایش حلالیت گازها می شود. وجود هوای اضافی در شیر باعث بروز مشکلاتی در فرایند تولید می شود که از جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بروز اشتباه در اندازه گیری حجمی شیر،
 - ایجاد پوسته در سطوح تبادل کننده های حرارتی دستگاه پاستوریزاتور و سوختگی شیر،
 - کاهش بازده خامه گیری،
 - کاهش دقت سیستم خودکار استاندارد کننده شیر،
 - افزایش آب انداختگی فراورده های شیری،
 - افزایش اکسیداسیون خود به خودی چربی شیر.
- برای جلوگیری از افزایش مقدار هوا در شیر باید موارد زیر مراعات گردد:
- شیر خام در مخزن در بسته و کاملاً پر حمل شود،
 - هنگام حمل شیر خام با تانکر، خانه های داخل مخزن به طور کامل پر شود تا از تلاطم شیر هنگام انتقال جلوگیری شود،
 - هنگام تخلیه شیر خام از ریزش آزاد شیر جلوگیری شود،
 - از پمپ های مناسب برای انتقال شیر استفاده شود،
 - شیر قبل از عملیات سالم سازی تحت فرایند خلأ قرار گرفته تا از محتوای هوای شیر کاسته شود.

بسته بندی

یکی از مهم ترین بخش های فرایند تولید، بسته بندی مناسب است. حدود ۲۰-۱۵ درصد هزینه تولید، به بسته بندی اختصاص دارد. بسته بندی عامل مهم انتخاب مشتری و ارتباط با اوست، امروزه بخش مهمی از فعالیت ها در زمینه های تولیدی به انتخاب، طراحی و نوآوری در بسته بندی اختصاص دارد.

وظایف اساسی و اصولی بسته‌بندی عبارت است از:

- توزیع ماده غذایی را آسان سازد،
- ماده غذایی را بهداشتی نگه دارد،
- مواد مغذی و طعم موجود در ماده غذایی را حفظ کند،
- غذا را از آسیب و آلودگی دور نگه دارد،
- دسترسی به ماده غذایی را آسان سازد،
- اطلاعات مربوط به ماده غذایی را در بر داشته باشد.

سابقه استفاده از بطری شیشه‌ای برای شیر به ابتدای قرن بیستم برمی‌گردد. هر چند استفاده از بطری شیشه‌ای از دیدگاه بهداشتی و اقتصادی تا مدت‌ها مطلوب بوده است اما زیان‌های بسیاری نیز دارد. معمولاً شیشه سنگین و شکننده است و به علت امکان ساییدگی ظاهر مطلوبی نخواهد داشت. باید قبل از استفاده مجدد کاملاً شسته و بهداشتی شود که این امر مشکلاتی را برای کارخانه ایجاد می‌نماید. از سال ۱۹۶۰ انواع دیگر بسته‌بندی در صنعت شیر متداول شد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به بسته‌بندی با مقوا، بطری‌های پلاستیکی و کیسه‌های پلاستیکی اشاره نمود.

یک بسته‌بندی مناسب باید بتواند ضمن محافظت از محصول مانع کاهش یا از بین رفتن ارزش مواد مغذی موجود در آن تا هنگام رسیدن به دست مصرف‌کننده شود. مواد غذایی مایع احتمال فسادپذیری بالاتری دارند. بنابراین، به کارگیری یک بسته‌بندی بهداشتی و بدون بو امری اساسی است. همچنین، بسته‌بندی باید محافظ محصول در برابر ضربه‌های مکانیکی، نور و اکسیژن باشد.

شیر محصول بسیار حساسی است و اگر در معرض نور آفتاب و یا نور مصنوعی قرار گیرد بعضی ویتامین‌های آن تخریب شده و تغییرات نامطلوبی در طعم شیر پدید می‌آید.

در بسته‌بندی فراورده‌های لبنی که با مواد طعم‌دهنده یا ویتامین‌ها تقویت یا غنی شده‌اند باید از ورود اکسیژن به داخل بسته جلوگیری شود زیرا این فراورده‌ها بشدت مستعد اکسیداسیون‌اند.

بسته‌بندی مقوایی شامل مقوا و یک لایه پلاستیکی (پلی اتیلن) است. مقوا چون از چوب ساخته می‌شود به آسانی قابل بازیافت است. مقوا استقامت خاصی را به بسته‌بندی می‌دهد و آن را به خوبی در برابر ضربه‌های مکانیکی مقاوم و نفوذ نور به داخل بسته‌بندی را غیرممکن می‌سازد. یک لایه نازک از پلی اتیلن نوع مجاز برای ماده غذایی در داخل و خارج مقوای بسته‌بندی کشیده می‌شود و بدین وسیله آن را در مقابل تراوش مایع به بیرون مقاوم می‌سازد. لایه پلاستیکی موجود در سطح بیرونی مقوا آن را از خیس خوردگی و جمع شدن

ناشی از آب کندانس (وقتی محصول خنک از انبار خارج می‌گردد) محافظت می‌کند. به علت خلوص این نوع پلی‌اتیلن وقتی ضایعات یا بقایای بسته‌بندی سوزانیده یا در زمین دفن شود، حداقل آلودگی را در محیط زیست ایجاد می‌نماید.

برای افزایش مدت ماندگاری شیر غیر یخچالی و یا فراورده‌های بسیار حساس یک لایه نازک آلومینیم در بین لایه‌های پلی‌اتیلن، لایه‌گذاری می‌شود. این کار باعث می‌شود بسته‌بندی در برابر نور و نفوذ اکسیژن کاملاً ایمن شود. تمام بسته‌بندی‌ها در پایان دور ریخته می‌شوند و این امر موجب افزایش حجم زباله خانگی و در نتیجه یک مشکل زیست‌محیطی در جوامع شهری می‌شود.

برای کاهش این گونه مشکلات زیست محیطی می‌توان از اصول زیر کمک گرفت:

- انتخاب مواد بسته‌بندی بی‌خطر یا کم‌خطر: کاهش استفاده از مواد خام و انتخاب موادی که برای محیط زیست خطرناک نباشند، می‌تواند به ابقا و احیای منابع طبیعی کمک نماید.

- بازگشت چرخه‌ای مواد: مواد بسته‌بندی بهتر است قابلیت جمع‌آوری، بازیافت و استفاده مجدد را داشته باشد. اما باید به خاطر داشت که در نهایت مواد بسته‌بندی مجدداً به صورت زباله برگشت می‌نمایند.

- بازیافت مواد: مواد بسته‌بندی باید بتواند پس از جمع‌آوری برای تولید و ساخت محصولات نو قابل استفاده باشد.

- بازیافت انرژی: تمام مواد اولیه بسته‌بندی‌ها انرژی دارند و می‌توان آن را با سوزانیدن استخراج نمود مقدار آن به نوع مواد موجود در ماده بسته‌بندی بستگی دارد.

- دفن زباله: می‌توان زباله ناشی از مواد بسته‌بندی را در زمین دفن نمود و از سطح این زمین‌ها برای کاربردهای مختلف مانند احداث زمین‌های ورزشی و غیره استفاده کرد.

مقوای بسته‌بندی بسیار سبک است. برای مثال، یک بسته یک لیتری تتراپک^۱ وزنی برابر ۲۷ گرم دارد. در عین حال، اجزای اصلی آن از مواد قابل بازیافت تشکیل شده است. بنابراین، در مقایسه با دیگر انواع بسته‌بندی مقدار زباله تولید شده این نوع بسته‌بندی بسیار کمتر است. از مقوای بسته‌بندی می‌توان به طور گسترده‌ای به منظور بازیافت انرژی سود جست. چوب و روغن (مواد خام برای پلاستیک) منابع مرسوم برای تولید انرژی‌اند. سوزاندن دو تن مواد بسته‌بندی به اندازه یک تن نفت انرژی تولید می‌نماید.

دفن ضایعات این نوع بسته‌بندی هر چند راه حل ضعیف استفاده از این منابع را نشان می‌دهد اما آن‌ها به علت نداشتن مواد سمی باعث آلودگی آب‌های سطحی زمین نخواهند شد.

کنترل کیفیت و ماندگاری شیر آشامیدنی

ماندگاری شیرهای پاستوریزه کوتاه است و به کنترل‌های شدیدی در حین تولید و همچنین کنترل کیفیت محصول نهایی نیاز دارد. به طور خلاصه کنترل‌های لازم روی شیر پاستوریزه را به صورت زیر می‌توان بیان نمود:

۱- کنترل منحنی‌های ثبت دما و زمان حرارت‌دهی (ترموگراف) نصب شده روی دستگاه و نگهداری آن در سوابق کنترل کیفیت،

۲- ارزیابی و کنترل کفایت فرایند حرارتی پاستوریزاسیون با آزمایش بررسی وجود فسفاتاز قلیایی در خروجی دستگاه پاستوریزاتور،

۳- کنترل دمای سردخانه محل نگهداری شیر پاستوریزه شده تا هنگام توزیع،

۴- انجام آزمایش‌های اسیدیته، درصد چربی، درصد آب در محصول پاستوریزه،

۵- انجام آزمایش‌های میکروبی برای تعیین احتمال بروز آلودگی‌های ثانویه شامل شمارش تعداد کل باکتری‌ها، کلی فرم و اشرشیاکلی،

در مورد شیرهای UHT و استریل که معمولاً ماندگاری طولانی‌تری دارند آزمایش‌های اولیه روی کیفیت و ثبات شیر خام ضروری است. علاوه بر آن، باید محصول دوره قرنطینه را همراه با تکمیل آزمون‌های گرمخانه‌گذاری و آزمایش‌های میکروبی طی نماید. به طور کلی، کنترل‌های زیر روی شیر استریل انجام می‌پذیرد:

۱- آزمایش روی شیر خام شامل: آزمایش پایداری الکل، آزمایش میکروب‌های سرما دوست و اسپورها،

۲- کنترل‌های حین تولید بر محصول و پاکت به منظور اطمینان از انجام کار در شرایط آسپتیک و عدم امکان آلودگی ثانویه،

۳- گرمخانه‌گذاری در دماهای ۳۰+ و ۵۵+ درجه سانتیگراد به ترتیب به مدت ۱۰ و ۷ روز و آزمایش روی نمونه‌ها بعد از گرمخانه‌گذاری،

۴- کنترل نمونه‌های گرمخانه‌گذاری شده از نظر باکتریدگی و بروز نشتی،

۵- آزمایش‌های شیمیایی و میکروبی لازم (مثل شمارش کلی) روی محصول نهایی پس از دوران گرمخانه‌گذاری.

به‌طور کلی، ماندگاری شیرهای پاستوریزه در کشورهای مختلف از یک روز تا دو هفته (در کانادا) و شیرهای استریل UHT از یک ماه تا شش ماه است و هر تولیدکننده‌ای متناسب با شرایط ماده اولیه، نوع فراوری، نوع بسته‌بندی، شرایط حمل و نقل و نگهداری و توزیع و دیگر عوامل موثر با آزمایش‌های لازم بر مبنای روش‌های استاندارد، میزان ماندگاری محصول خود را تعیین و این مدت را به عنوان زمان ماندگاری روی محصول خود درج می‌نماید.

نمونه سؤالات این فصل

۱. سرعت ته‌نشینی ذرات در سیال به چه عواملی بستگی دارد؟
۲. چند کیلوگرم خامه با چربی ۳۰ درصد باید با چه مقدار شیر پس‌چرخ با چربی ۰/۱ درصد مخلوط گردد تا ۳۰۰ کیلوگرم محصول با چربی ۳ درصد (C) حاصل گردد؟
۳. کاربردهای هموژن کردن دو مرحله‌ای را نام ببرید؟
۴. وجود هوای اضافی در شیر باعث بروز چه مشکلاتی در فرایند تولید می‌شود؟

فصل هفتم

شیرهای طعم‌دار^۱

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با شیرهای طعم‌دار
- روش تولید شیرکاکائو
- نقش مواد پایدارکننده و قوام‌دهنده در شیر میوه‌ای
- آشنایی با کنترل کیفی مواد اولیه و محصول نهایی شیرکاکائو

1. Flavored milk

مصرف شیرهای پاستوریزه به دلیل وجود طعم پختگی در آن با ذائقه برخی از مصرف‌کنندگان سازگاری ندارد، این حالت باعث عدم تمایل به مصرف شیر در بین کودکان می‌شود در حالی که بیشترین نیاز را به آن دارند. برای ایجاد علاقه به مصرف شیر و رفع این نقیصه، بخش بزرگی از تولید شیرهای آشامیدنی به تولید شیرهای طعم‌دار اختصاص یافته است. طبق تعریف استاندارد ملی شماره ۱۵۲۷ شیر طعم‌دار به شیری گفته می‌شود که با افزودن مواد طعم‌دهنده مجاز طبیعی خوراکی تهیه شده باشد. این شیرها را می‌توان از مخلوط کردن شیر تازه یا بازساخته، شیر پس‌چرخ، شیر کم‌چربی، شیر پرچرب با شکر و در صورت لزوم با افزودن مواد پایدارکننده تهیه کرده و پس از فرایندهای حرارتی سالم‌سازی، بسته‌بندی و توزیع نمود. از ترکیبات مختلفی برای طعم‌دار کردن شیر استفاده می‌شود که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- پودر کاکائو، پودر قهوه، پودر یا کنسانتره میوه‌هایی مانند موز، نارگیل، توت فرنگی و خرما،

۲- مواد طعم‌دهنده مختلف مانند انواع اسانس‌های طبیعی و یا مصنوعی مجاز،

۳- انواع عرقیات گیاهی مثل گلاب و همچنین عسل.

هر چند از نظر مصرف‌کننده استفاده از مواد طعم‌دهنده طبیعی بر مواد مصنوعی^۱ مجاز برتری دارد، اما اثر طعم‌دهندگی این ترکیبات در مقایسه با مواد مصنوعی کمتر است و قیمت آن‌ها نیز بسیار بالاتر است در نتیجه، به جز در مورد محصولاتی مانند شیر کاکائو و شیر قهوه که از کاکائو یا قهوه طبیعی استفاده می‌شود، فقط بخش کوچکی از شیرهای طعم‌دار با ترکیبات یا طعم‌دهنده‌های طبیعی تولید می‌شود. امروزه، مقدار زیادی از شیرهای طعم‌دار را با استفاده از طعم‌دهنده‌های بر پایه طبیعی^۲ تولید می‌کنند و بکارگیری طعم‌دهنده‌های مصنوعی در بسیاری از کشورها محدودیت دارد. طعم‌دهنده‌های بر پایه طبیعی مانند دی‌استیل ترکیباتی شیمیایی شناخته‌شده‌ای هستند که به طور طبیعی در برخی مواد غذایی تشکیل شده و باعث ایجاد عطر و طعم خاص می‌گردند. این ترکیبات را می‌توان به همین صورت در آزمایشگاه تولید کرد و در مواد غذایی به کار برد، ولی طعم‌دهنده‌های مصنوعی

1. Synthetics

2. Natural identical

اساساً با ساختار شیمیایی آلی یا ارگانیک دارای عطر و طعمی شبیه به مواد طبیعی‌اند و برای ایجاد برخی طعم‌ها در مواد غذایی استفاده می‌شوند مانند ساکارین با نام شیمیایی آنهیدرید اورتو سولفومید بنزوئیک اسید که یک شیرین‌کننده مصنوعی است. از آن‌جا که استفاده از پودر کاکائو و قهوه در تولید شیرهای طعم‌دار رایج‌تر است، بنابراین، در ادامه توضیح مختصری در ارتباط با فرآیند تولید شیر کاکائو داده می‌شود که بسیاری از اصول ذکر شده را می‌توان برای تولید سایر شیرهای طعم‌دار که از پودر یا کنسانتره میوه در آن‌ها استفاده می‌شود نیز به کار برد. چنانچه شیر طعم‌دار صرفاً با استفاده از مواد طعم‌دهنده تولید شود، در بافت و ساختار شیر به عنوان محیط پایه تغییرات قابل توجهی ایجاد نخواهد شد.

شیر کاکائو

ویژگی کیفی شیر کاکائو فقط به مزه و طعم محدود نمی‌شود و معمولاً مصرف‌کننده به ویژگی‌های دیگری مانند رنگ، شکل ظاهری، میزان ذرات معلق، ویسکوزیته، میزان ژله‌ای بودن و عدم وجود عیوبی نظیر مرمری شدن^۱، لخته شدن و جداسدن سطح رویی از بخش زیرین توجه می‌کند. بنابراین، باید در تولید آن به تمام عوامل فوق توجه شود تا محصولی با بافت، رنگ، ظاهری مطلوب و نیز طعم مناسب و دلپذیر به دست آید.

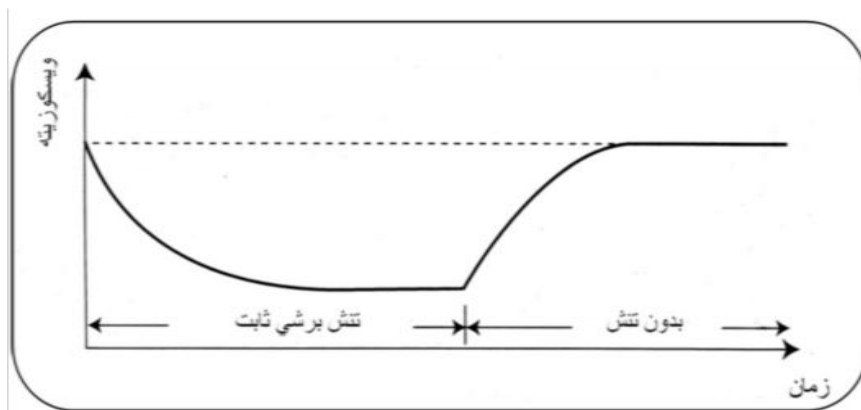
در تولید شیر کاکائو به میزان ۳-۱ درصد از پودر کاکائو استفاده می‌شود. به طور معمول ذرات کاکائو نامحلول هستند و اگر تدابیر لازم در هنگام تولید صورت نگیرد آن ذرات ته‌نشین می‌شوند، در این حالت ذرات رسوب شده محکم و به هم چسبیده و به سختی قابل پخش شدن خواهند شد.

همان‌طور که قبلاً بیان شد بر اساس قانون استوک می‌توان با کاهش قطر ذرات یا افزایش ویسکوزیته سرعت رسوب شدن را به حداقل ممکن رساند. به همین منظور، در تولید شیر کاکائو باید از پودر کاکائو با اندازه ذرات مناسب استفاده شود و برای افزایش ویسکوزیته بایستی از مواد پایدارکننده و امولسیون‌کننده مناسب استفاده شود. بهترین شرایط حالتی است که این مواد بتوانند شبکه‌ای با رفتار تیکسوتروپیک^۲ در محصول ایجاد کنند. در رفتار تیکسوتروپیک هنگامی که سیال (در اینجا شیر کاکائو) بی حرکت می‌ماند ژل ضعیفی را تشکیل می‌دهد. اگر این ژل با عملیاتی مانند هم زدن، پمپ کردن یا حتی نوشیدن شکسته

1. Marbling
2. Thixotropic

شود ویسکوزیته ظاهری محصول کاهش یافته و رقیق به نظر می‌رسد، حال اگر دوباره سیال مدتی بی حرکت باقی بماند ژل یکنواخت و پایدار اولیه مجدداً شکل می‌گیرد. در نمودار یک نمودار رفتار سیستم‌های تیکسوتروپیک نشان داده شده است.

پایدارکننده‌های مورد استفاده معمولاً ترکیبی از مواد مختلف نظیر کاراگینان، گوآر، منو و دی‌گلیسیریدها، آلژینات‌ها، پکتین، پودر ثعلب، آمیدون (نشاسته خالص) و یا هر یک از این مواد به تنهایی است. امروزه ترکیبات خاصی از پایدارکننده‌ها و اموسیفاورها را شرکت‌های مختلف تولید و عرضه می‌کنند که معمولاً با بکارگیری نسبت‌های مناسب و با توجه به آثار خاص هر یک از مواد فوق همراه با مواد پرکننده تهیه می‌شوند، هر چند ماده مؤثر اصلی اغلب آن‌ها کاراگینان است.



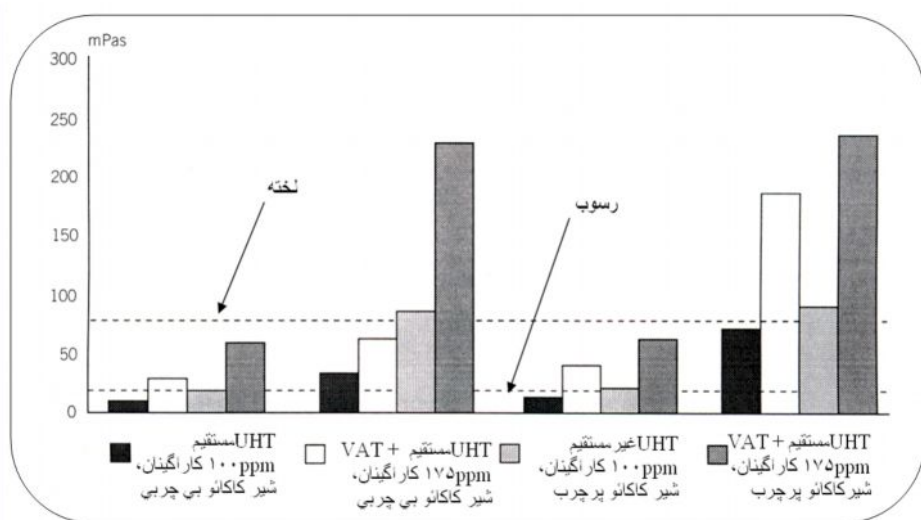
نمودار ۱ نمودار رفتار سیستم‌های تیکسوتروپیک

یک نوع پایدارکننده علاوه بر خصوصیت اصلی یعنی حفظ ثبات ذرات کاکائو و جلوگیری از ته‌نشینی باید دارای شرایط زیر نیز باشد:

- ۱- حلالیت مناسبی را در شیر داشته باشد و پس از افزودن، حالت کلوخه‌ای ایجاد ننماید.
 - ۲- هیچگونه طعم و مزه‌ای خارجی در محصول ایجاد نکند.
 - ۳- به پایداری پروتئین‌ها و چربی‌های موجود در شیر لطمه نزند.
- میزان مصرف پایدارکننده‌ها باید بر اساس توصیه سازنده آن باشد، زیرا مصرف بیش از حد سبب بروز حالت ژله‌ای در شیرکاکائو می‌شود و به شکل و بافت آن صدمه می‌زند، مقدار مصرف کمتر نیز از بروز ته‌نشینی در محصول جلوگیری نخواهد کرد.

به علت این که از پایدارکننده‌ها نمی‌توان به تنهایی در شیر استفاده کرد زیرا به آسانی حل نمی‌شوند بهتر است آن‌ها را با مقداری از شکر مصرفی و یا پودر کاکائو مخلوط نمود و سپس به شیر اضافه کرد تا از کلوخه‌ای شدن آن جلوگیری شود.

هموژنیزاسیون اثری در خرد کردن ذرات کاکائو ندارد و فقط اندازه گویچه‌های چربی را کاهش می‌دهد و از هم پیوستگی‌های احتمالی اجزاء جلوگیری می‌نماید. زمانی که شیر کاکائو هموژنیزه می‌شود گویچه‌های چربی شکسته شده و با یک غشای جدید که شامل پروتئین‌هاست پوشش داده می‌شوند. این غشا با ذرات پودر کاکائو و مواد پایدارکننده مثل کاراگینان، پیوند می‌خورد که در نهایت شبکه سه بعدی ایجاد خواهد شد. از این رو، انجام دادن صحیح هموژنیزاسیون بسیار مهم است (نمودار ۲).



نمودار ۲ ارتباط مقدار چربی و فشار هموژنیزاسیون و بروز ته‌نشینی در شیر کاکائوی UHT

فشار هموژنیزاسیون بالا به تولید محصول یکنواخت‌تر با حالتی مرمرین منجر می‌شود که رسوب کمتری دارد و کمتر دوفاز می‌شود. فشار توصیه شده در حدود ۲۰۰ - ۱۸۰ بار است، پایین بودن دما در حین فرایند هموژنیزاسیون سبب کاهش کارایی سیستم می‌شود، دمای توصیه شده برای هموژنیزاسیون ۷۰-۸۰ درجه سانتیگراد است. شکل هد هموژنایزر نیز بسیار اهمیت دارد، توصیه می‌شود از هموژن با هد نوع چرخنده مخصوص مایعات^۱ استفاده شود.

استفاده از هید معیوب نیز سبب کاهش کارایی فرایند هموژنیزاسیون می‌شود و بالاخره اینکه استفاده از سیستم هموژنیزاسیون پایین دستی^۱ که بعد از فرایند حرارتی محصول انجام می‌شود، توصیه شده است، در این وضعیت ذرات منعقد شده (آگلومره) به اندازه‌های ریزتری شکسته شده، یکنواختی و پایداری شبکه افزایش یافته و دو فاز شدن محصول کاهش می‌یابد.

مشخصات پودر کاکائو

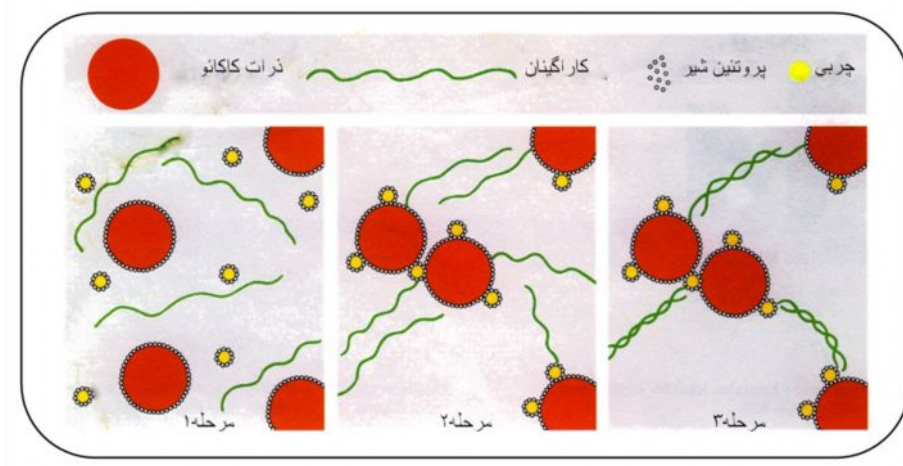
پودر کاکائو مصرفی باید طعم و رنگ مناسب شکلاتی داشته باشد و معمولاً برای تولید شیر کاکائو انواع قلیایی (آلکالیزه) پودر ترجیح داده می‌شود. هر قدر درجه قلیایی کاکائو بیشتر باشد رنگ آن کدرتر و طعم آن تندتر (شدیدتر) خواهد بود. همچنین، درجه بالای قلیایی بودن بیشتر باعث افزایش قدرت پیوندهای تشکیل شده بین ذرات کاکائو و میسل‌های کازئین می‌شود. تشکیل پیوندهای قوی‌تر سبب تجمع (آگلومریزه شدن) کازئین‌ها می‌شود و احتمال بروز حالت ژله‌ای یا دلمه‌ای شدن را در شیر کاکائو افزایش می‌دهد. بنابراین، در صورت استفاده از چنین پودری، باید در انجام فرایندهای حرارتی بیشتری دقت شود، زیرا پایداری حرارتی این نوع مخلوط شیر کاکائو کمتر است.

پودر کاکائو از لحاظ وضعیت میکروبی باید در حد مناسب و استاندارد باشد و حاوی اسپور باکتری‌ها نباشد، زیرا در صورت وجود اسپور، حتی فرآیند UHT نیز نمی‌تواند آن‌ها را به‌طور کامل نابود کند و در طی دوره ماندگاری، سبب فساد آن می‌شود. همچنین، در پودر کاکائو نباید آنزیم‌های لیپاز و پروتئاز وجود داشته باشد، زیرا احتمال فعال باقی ماندن آن‌ها پس از عملیات حرارتی وجود دارد و باعث تجزیه پروتئین‌ها و چربی‌های شیر خواهد شد.

مقدار پوسته در پودر کاکائو باید کمتر از ۱/۵ درصد باشد، پوسته حاوی هیچ ماده طعم‌دار یا رنگ‌دهنده‌ای نیست و اغلب ناخالصی‌ها از جمله اسپور باکتری‌ها و ذرات بدن حشرات از طریق پوسته به پودر منتقل می‌شود. وجود درصد بالاتر پوسته در پودر سبب افزایش میزان رسوب در شیر کاکائو می‌شود. همچنین، ممکن است صدماتی به تجهیزات خط تولید بخصوص هید دستگاه هموژنایزر وارد شود. قطر ذرات پودر کاکائو باید تا حد امکان ریز باشد به گونه‌ای که مقدار ذرات با قطر بیش از ۷۵ میکرون نباید از ۵ درصد بیشتر باشد. همان‌گونه که اشاره شد ریز بودن قطر ذرات به رسوب کمتر کاکائو کمک خواهد کرد.

پودر کاکائو با دو میزان چربی ۱۱ و ۲۳ درصد در دسترس می‌باشد (که به ترتیب پودر کاکائوی ۱۰-۱۲ و ۲۲-۲۴ درصد چربی معروف‌اند)، معمولاً در تولید شیر کاکائو از پودر کاکائوی ۱۱ درصد چربی استفاده می‌شود.

تشکیل شبکه و تعلیق ذرات کاکائو در فرایند تولید شیر کاکائو در سه مرحله، صورت می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱ مراحل تشکیل شبکه و تعلیق ذرات در فرایند تولید شیر کاکائو

- **مرحله اول:** شامل مخلوط کردن پودر کاکائو، شکر و پایدارکننده با شیر و سپس گرم کردن و هموژنیزه کردن آن است که در این مرحله ضمن شکل‌گیری مخلوط اجزای تشکیل‌دهنده، گویچه‌های چربی خرد می‌شود و در صورت تجمع ذرات کازئین، آن‌ها نیز از هم جدا خواهند شد. در این مرحله کازئین‌ها جذب سطوح غشای گویچه‌های ریز چربی شده، به صورت نوعی امولسیفایر عمل خواهند نمود. این غشای پروتئینی جدید می‌تواند در اطراف ذرات کاکائو نیز تشکیل شود.
- **مرحله دوم:** در این مرحله شیر کاکائو تحت فرایند حرارتی قرار می‌گیرد و از آن‌جا که مواد پایدارکننده مانند کاراگینان، در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد حل می‌شود و با میسل‌های کازئین، ذرات کاکائو و گویچه‌های ریز چربی اتصال می‌یابد و از طرف دیگر پروتئین‌های آب پنیر (محلول) تغییر ماهیت یافته (دناتوره) نیز با میسل‌های کازئین پیوند برقرار می‌سازند که در مجموع سبب آگلومره شدن پروتئین‌هایی که ذرات کاکائو و چربی را پوشش داده‌اند شده، شبکه تشکیل می‌شود.

- **مرحله سوم:** در این مرحله شیر کاکائو تا دمای کمتر از ۳۵+ درجه سانتیگراد خنک می‌شود در این حالت، شبکه سه‌بعدی رفتار تیسکوتروپیک را نشان می‌دهد که ناشی از اتصالات اجزای شبکه (کاراگینان، میسل کازئین، پروتئین‌های آب پنیر، ذرات کاکائو و گویچه‌های چربی) است. در اثر عمل تیکسوتروپیک ذرات کاکائو به صورت معلق مانده و رسوب نمی‌کنند.

جدول ۱ مقایسه ترکیب اجزای شیر کاکائو با درصد چربی مختلف

تغییرات %	نوع شیر کاکائو با درصد چربی متفاوت			اجزای شیر کاکائو
	پرچرب	کم چرب	بدون چربی	
۳/۵ - صفر	۳/۵	۱/۵	صفر	چربی
۴ - ۸	۶	۶	۶	شکر
۰/۵ - ۳	۰/۸ - ۱/۵	۰/۸ - ۱/۵	۰/۸ - ۱/۵	پودر کاکائو
۰/۱ - ۰/۳	۰/۱ - ۰/۲	۰/۱۵ - ۰/۲۵	۰/۲ - ۰/۳	پایدارکننده
۷ - ۹	۷/۷	۸	۸/۳	ماده خشک بدون چربی
۱۶-۱۹	۱۸/۹	۱۷/۲۵	۱۶/۱	ماده خشک

فرمولاسیون شیر کاکائو

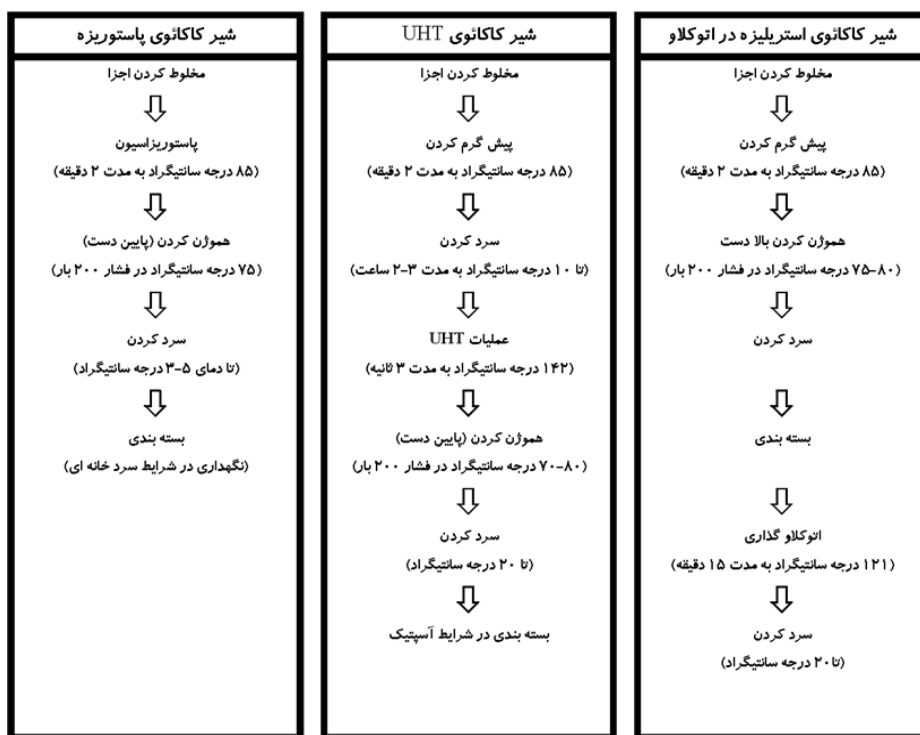
شیر کاکائو در انواع بدون چربی، کم‌چرب و پرچرب تولید می‌شود. برای تولید آن می‌توان از شیر پس‌چرخ، کم‌چرب و یا شیر کامل استفاده نمود که در صورت تفاوت در مقدار درصد چربی، میزان مصرف پایدارکننده نیز کمی تغییر می‌کند؛ هر چه مقدار درصد چربی کمتر باشد پایدارکننده بیشتری لازم خواهد بود. در جدول ۱ به عنوان نمونه مقایسه ترکیب و فرمول سه نوع شیر کاکائو از لحاظ درصد چربی آورده شده است و در جدول ۲ مواد لازم برای تهیه یکصد کیلوگرم شیر کاکائو نشان داده شده است.

جدول ۲ فرمول نمونه برای تولید ۱۰۰ کیلو گرم شیر کاکائو

مقدار (کیلوگرم)	اجزا
۴۲/۹	شیر کامل (با چربی ۳/۵٪)
۴۹/۴	شیر پس چرخ
۶	شکر
۱/۵	پودر کاکائو
۰/۲	پایدارکننده
۱۰۰	جمع

فرایند تولید شیر کاکائو

شیر کاکائو به دو صورت پاستوریزه و استریلیزه تولید می‌شود که خلاصه‌ای از فرایند تولید آن به دو روش اخیر به شرح زیر است:



دمای پر کردن و بسته‌بندی

مهم‌ترین عامل در محدود کردن رسوب پودر کاکائو دمای پر کردن (بسته‌بندی) است. وقتی که شیر تا حدود ۳۵ درجه سانتیگراد خنک شود کاراگینان شروع به تشکیل ژل می‌کند و سرد کردن شیر تا دمای پایین‌تر، قدرت ژلی شدن را افزایش می‌دهد. بنابراین، شیر کاکائو نباید در دمای بالاتر از ۲۰ درجه سانتیگراد بسته‌بندی شود. دمای بالاتر با ممانعت از بروز رفتار تیکسوتروپیک از پایداری کامل جلوگیری می‌کند و ممکن است موجب رسوب پودر کاکائو شود. با کاهش دمای بسته‌بندی به کمتر از ۵+ درجه سانتیگراد کیفیت و یکنواختی شیر کاکائوی UHT به مقدار زیادی بهبود می‌یابد، هر چند که معمولاً این نوع شیر کاکائو در دمای محیط نگهداری می‌شود. اگر پیش از اینکه شیر کاکائو کاملاً ساکن شود، دما تا ۲۵ درجه

سانتیگراد یا کمتر کاهش داده شود و شروع به رسوب کردن می‌کند. در این حالت می‌توان مقادیر جزئی کربوکسی متیل سلولز، گوآر یا نشاسته به آن اضافه کرد. پس از آن ویسکوزیته افزایش می‌یابد و ذرات کاکائو خیلی آهسته رسوب می‌کند. در مناطق گرمسیری یعنی جاهایی که دما ممکن است به بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد برسد ممکن است افزودن تغلیظ‌کننده اضافی مطلوب باشد، هر چند که احتمال سوختگی را در حین فراوری افزایش می‌دهد. اگر شیر کاکائو در دمای پایین‌تر از دمای ژله‌ای شدن کاراگینان (حدود ۳۵ درجه سانتیگراد) نگهداری شود، نباید به طور مداوم هم زده شود. این کار باعث پارگی شبکه کاراگینان می‌شود و برای رفع آن باید عملیات حرارتی تکرار شود. ویسکوزیته شیر کاکائو وابسته به دماست به طوری که در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد سیالی پایدار با ویسکوزیته مناسب است و در دمای ۵+ درجه سانتیگراد به یک محصول کاملاً غلیظ و ویسکوز تغییر خواهد کرد.

ارزیابی شیر کاکائو

از عوامل زیر برای ارزیابی شیر کاکائو استفاده می‌شود:

- **ارزیابی ظاهری:** شامل رسوب، مرمری شدن، تشکیل لایه، جدا شدن چربی، حالت ژلی شدن، جداسدن بخش فوقانی (تشکیل لایه قهوه‌ای فوقانی در شیشه)، دلمه‌ای شدن و ویژگی‌های رنگ.
- **ارزیابی حسی (ارگانولپتیک):** شامل بافت، خامه‌ای بودن، طعم و رهاسازی طعم.
- **قوام و ویسکوزیته:** با استفاده از ویسکوزیمتر بروک فیلد شماره ۱، با ۶۰ دور در دقیقه در دمای ۵ درجه سانتیگراد.

مشکلات کیفی شیر کاکائو

عیوب مختلف شیر کاکائو و علت‌های آن به شرح زیر است:

تشکیل لایه فوقانی شبیه به آب پنیر قهوه‌ای: این مشکل اغلب در شیر کاکائوی ناپایدار با شبکه کاراگینان ضعیف اتفاق می‌افتد. در این حالت شبکه نمی‌تواند آب را در داخل خود نگه دارد و لایه فوقانی شکل می‌گیرد.

جدا شدن چربی: جدا شدن چربی به صورت یک حلقه چربی در بالای ظرف دیده می‌شود و اغلب با رسوب پودر کاکائو همراه است.

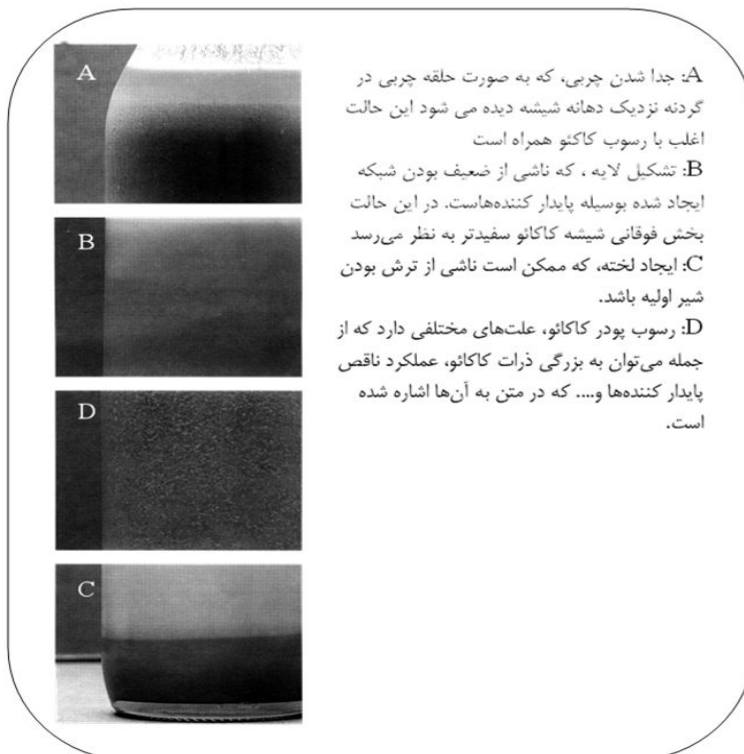
تشکیل لایه: اگر شبکه خیلی ضعیف باشد، این حالت بروز می‌نماید. چربی با وزن مخصوص کمتر از آب به سمت بالا سوق پیدا می‌کند و باعث سفیدتر شدن بخش فوقانی و کدورت بخش تحتانی می‌شود.

دلمه‌ای شدن: شیر کاکائوی دلمه شده شبیه شیر ترش دلمه شده است و حالتی ژله‌ای نیز دارد.

ژله‌ای شدن: اگر ویسکوزیته خیلی بالا باشد، محصول شبیه مایع غلیظ شده به نظر می‌رسد. این حالت اغلب در شیر کاکائوی پرچرب که شبکه آن خیلی قوی باشد دیده می‌شود، در این وضعیت شبکه تشکیل شده حتی در هنگام پمپ کردن شیر کاکائو هم تخریب نمی‌شود.

رسوب پودر کاکائو: رسوب پودر کاکائو در ته ظرف به علت عدم تشکیل سوسپانسیون مناسب است. این مشکل اغلب به همراه عیوب دیگری مانند تشکیل لایه و مرمرین شدن دیده می‌شود.

مرمرین شدن: این حالت وقتی که شبکه به طور یکنواخت توزیع نمی‌شود اتفاق می‌افتد. مایع آزاد به صورت خطوط تاریک قابل رویت است و باعث می‌شود که شیر کاکائو مثل سنگ مرمر به رگه‌های قهوه‌ای دیده شود. در نمودار ۳ حالت‌های مختلف دوفاز شدن شیر کاکائو نشان داده شده است.

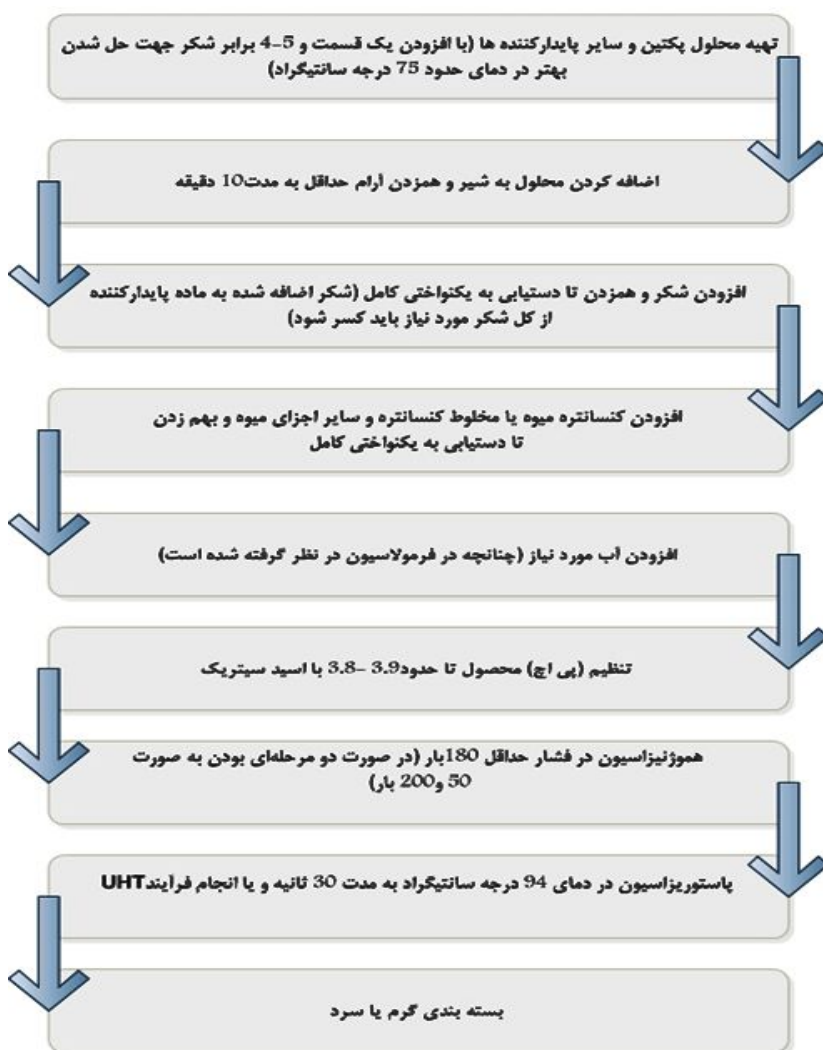


نمودار ۳ حالت‌های مختلف دو فاز شدن شیر کاکائو بسته‌بندی در شیشه

شیر میوه‌ای

شیر میوه‌ای معمولاً به صورت مخلوطی از کنسانتره میوه، ترکیبات پایدارکننده و درصد‌های متفاوتی از شیر (۲۰ تا ۹۰ درصد) است. ترکیبات پایدارکننده مجاز نظیر پکتین ممکن است در داخل کنسانتره میوه یا به صورت جداگانه اضافه شوند. معمولاً در فرمولاسیون شیر میوه‌ای مقادیری شکر نیز افزوده می‌شود. به طور خلاصه نمودار تولید شیر میوه‌ای در نمودار ۴ آورده شده است.

نمودار ۴ نمودار تولید شیر میوه‌ای



گفتنی است چنانچه مقدار درصد شیر در محصول نهایی غالب باشد فراورده را شیرمیوه‌ای وگرنه نوشیدنی شیری^۱ می‌گویند. نوشیدنی‌های شیری را می‌توان با استفاده از آب‌پنیر یا پساب (پرمیت) حاصل از تولید پنیر سفید فرایالایشی نیز تولید نمود که در این صورت مراحل تولید آن به شرح زیر است:

- ۱- آماده‌سازی آب‌پنیر که شامل تبخیر آب‌پنیر شیرین، جداسازی چربی و ذرات ریز با استفاده از سپراتور و یا در صورت استفاده از پودر آب‌پنیر، تهیه محلول استاندارد از آن است،
- ۲- تهیه محلول ماده پایدارکننده،
- ۳- مخلوط‌کردن محلول پایدارکننده با آب‌پنیر آماده‌سازی شده،
- ۴- افزودن سایر اجزاء نظیر کنسانتره میوه و شکر و تهیه مخلوط نهایی،
- ۵- هموژن کردن مخلوط در فشار ۲۰۰ تا ۲۵۰ بار،
- ۶- انجام فرایند سالم‌سازی حرارتی،
- ۷- بسته‌بندی.

نمونه سؤالات این فصل

۱. چهار نوع پایدارکننده نام ببرید؟
۲. سه ویژگی یک پایدارکننده مناسب را بیان کنید؟
۳. برای شیرکائو از هموژنیزاسیون چند مرحله‌ای استفاده می‌شود؟
۴. سیستم هموژنیزاسیون پایین‌دستی را تعریف کنید؟

فصل هشتم

تولید شیرهای تغلیظ شده

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با انواع شیرهای تغلیظ شده،
- روش‌های استاندارد کردن چربی و ماده خشک بدون چربی در تولید شیر تغلیظ شده،
- تنظیم اجزای ترکیبی در شیر تغلیظ شده شیرین،
- سیستم‌های تبخیرکننده در تهیه شیر تغلیظ شده،
- بسته‌بندی و کنترل کیفی محصولات تغلیظ شده.

برای جلوگیری از فساد شیر و افزایش مدت زمان ماندگاری آن بسیار تلاش شده است که از جمله می‌توان به روش استریل کردن و بسته‌بندی در شرایط آسپتیک در ظروف کاملاً مسدود از ابتدای سال ۱۸۸۰ میلادی اشاره نمود. در سال ۱۸۵۰ میلادی روش نگهداری شیر تبخیر شده با افزودن شکر به آن را یک امریکایی ابداع کرد که بعدها در تولید صنعتی این فراورده مورد توجه قرار گرفت.

شیر مایع تقریباً حاوی ۸۸ درصد آب است. این مقدار در شیر تغلیظ شده به طور چشمگیری کاهش یافته و در شیر خشک به کمتر از ۴ درصد می‌رسد. از فواید کاهش آب در شیر می‌توان به افزایش زمان ماندگاری، سهولت در نگهداری، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و ذخیره‌سازی آسان آن اشاره نمود.

امروزه تولید شیرهای تغلیظ‌شده بخش مهمی از فراورده‌های لبنی را تشکیل می‌دهد که به دلیل‌های گوناگونی مورد توجه مصرف‌کنندگان در سراسر جهان قرار دارد. شیر تغلیظ‌شده به دو صورت مختلف تولید می‌شود:

– شیر تغلیظ‌شده معمولی^۱ (غیر شیرین)،

– شیر تغلیظ‌شده شیرین^۲

شیر تغلیظ‌شده معمولی که گاهی شیر دوبار غلیظ شده نیز نامیده می‌شود، فراورده‌ای استریل با رنگ روشن و ظاهر خامه‌ای است. این محصول بازار مصرف و فروش گسترده‌ای در کشورهای حاره‌ای، مسافرت‌های دریایی و مصارف نیروهای نظامی دارد. معمولاً در مکان‌هایی که امکان دسترسی به شیر تازه وجود ندارد از آن بیشتر استفاده می‌نمایند. گاهی اوقات از شیر غلیظ شده به جای شیر، در تغذیه کودک استفاده می‌شود که در این موارد، مقداری ویتامین D به آن می‌افزایند. این محصول را مانند خامه می‌توان به قهوه و دیگر مواد مشابه افزود و آن را می‌توان از شیر کامل، شیر پس‌چرخ یا شیر بازساخته تولید کرد.

1. Unsweetened condensed milk

2. Sweetened condensed milk

نکات عمده در تولید شیر تغلیظ‌شده

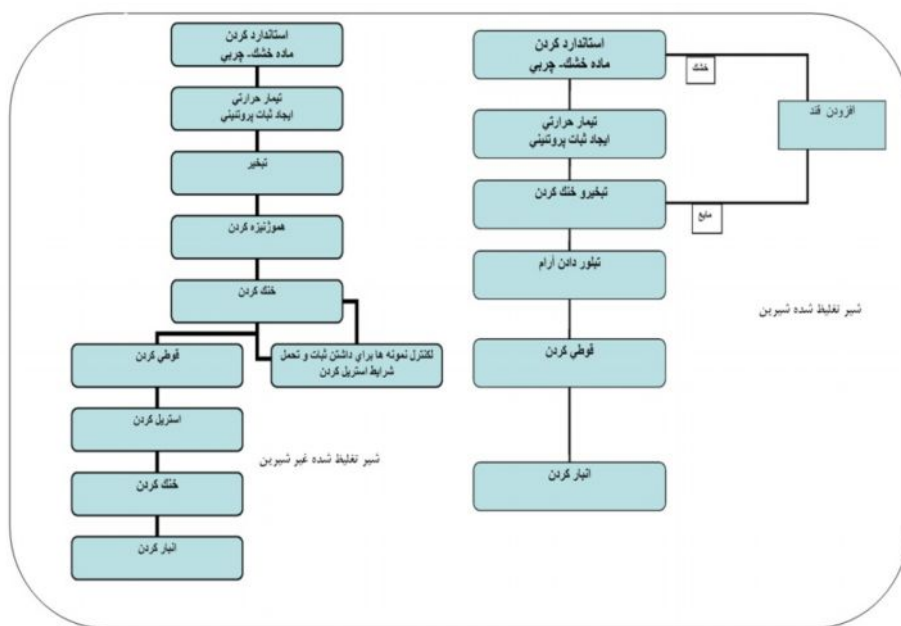
شیر تغلیظ‌شده معمولی (غیر شیرین) را معمولاً در داخل قوطی بسته‌بندی و سپس در اتوکلاو^۱ یا استریل‌کننده‌های افقی استریل می‌نمایند. شیر باز ساخته تغلیظ‌شده را هم می‌توان در قوطی استریل نمود و یا پس از عملیات UHT در شرایط آسپتیک داخل بسته‌های چند لایه مقوایی بسته‌بندی کرد. شیر تغلیظ‌شده شیرین فراورده‌ای است که مقداری ساکارز (شکر) به آن اضافه شده است. با افزودن شکر زمان ماندگاری شیر تغلیظ شده افزایش می‌یابد. ساکارز ممکن است به شکل پودر یا مایع (شربت) به شیر افزوده شود. این فرایند با افزایش فشار اسمزی باعث نابودی یا غیر فعال شدن میکروارگانیسم‌های اسموفیل (غلظت‌دوست) و گرمادوست، غیر فعال شدن آنزیم‌های لیپاز و پروتئاز، جلوگیری از جدا شدن چربی و مانع بروز اکسیداسیون می‌شود. این عمل همچنین باعث افزایش ویسکوزیته و مانع بروز پدیده ژل بستن در محصول نهایی می‌شود. محصول نهایی ظاهری زردرنگ و شبیه به سس مایونز دارد. مقدار قند در فاز آبی آن باید $62/5 - 64/5$ درصد باشد. در صورت بیشتر بودن درصد قند، باعث اشباع شدن آن در محصول و تشکیل بلور خواهد شد. بلورها باعث بروز بافت شنی در فراورده نهایی یا در آن ته‌نشین می‌شود. شیر تغلیظ‌شده شیرین را می‌توان از شیر کامل یا شیر پس‌چرخ یا شیر باز ساخته تولید کرد.

شیر تغلیظ‌شده شیرین تهیه شده از شیر کامل ۸ درصد چربی، ۴۵ درصد قند، ۲۰ درصد ماده جامد بدون چربی و ۲۷ درصد آب دارد. این محصول را در داخل بشکه‌های بزرگ برای مصارف صنعتی (در کارخانجات بستنی و شکلات‌سازی) و یا در قوطی برای مصارف خرده فروشی و خانگی در آب و هوای گرمسیری بسته‌بندی می‌کنند. اخیراً این فراورده در بسته‌بندی‌های مقوایی آسپتیک نیز عرضه شده است.

فرایند تولید دو نوع شیر تغلیظ‌شده در نمودار ۱ نشان داده شده است. در مرحله اول برای هر دو محصول چربی و ماده خشک بدون چربی شیر استاندارد می‌شود، سپس شیر تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد. هدف از فرایند حرارتی نابودی میکروارگانیسم‌ها و تثبیت پروتئین‌های شیر است که در حین فرایند استریل کردن لخته نشود. مواد خام مورد نیاز و عملیات حرارتی مقدماتی هر دو محصول یکسان‌اند. پس از این مرحله اندکی تفاوت در فرایندها وجود دارد.

در تولید شیر تغلیظ‌شده معمولی (غیر شیرین)، شیر پس از عملیات حرارتی مقدماتی برای تغلیظ با پمپ به تبخیرکننده فرستاده می‌شود. شیر پس از تغلیظ، هموژنیزه و خنک شده و قبل از بسته‌بندی از لحاظ وجود لخته بازرسی می‌شود. در صورت لزوم ممکن است از یک ماده تثبیت‌کننده مانند دی یا تری‌سدیم فسفات استفاده شود. محصول پس از بسته‌بندی در قوطی با اتوکلاو استریل و پس از خنک‌شدن در انبار ذخیره می‌شود.

در فرایند تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین قند را بر اساس ماده خشک محاسبه و به صورت پودری قبل از تبخیر به شیر اضافه می‌کنند، شیر پس از طی عملیات حرارتی در تبخیرکننده، تغلیظ می‌شود. پس از تغلیظ آن را به آرامی خنک می‌نمایند تا اندازه بلورهای قند در محلول فوق اشباع بسیار کوچک باشد. اندازه این بلورها باید کوچک‌تر از ۱۰ میکرون باشد تا نتوان با زبان آن‌ها را حس نمود. پس از خنک‌کردن و تبلور، شیر تغلیظ‌شده شیرین را در قوطی بسته‌بندی و انبار می‌نمایند.



نمودار ۱ - نمودار تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین و غیر شیرین

ماده اولیه برای تولید شیر تغلیظ شده

کیفیت مواد اولیه برای تولید شیر تغلیظ شده، اساساً همانند دیگر فراورده‌های معمولی شیر است ولی باید به دو نکته مهم توجه شود:

- تعداد اسپور و باکتری‌های مقاوم به حرارت در شیر خام کم باشد،
- مقاومت حرارتی شیر بالا باشد تا شیر بتواند بدون ایجاد لخته فرایندهای حرارتی بالا را تحمل نماید.

کیفیت باکتریایی ماده خام

تبخیر تحت شرایط خلأ و در دمای زیر ۶۵ درجه سانتیگراد انجام می‌پذیرد. در این دما اسپور و باکتری‌های مقاوم به حرارت در شرایط مناسب رشد و تکثیر خواهند داشت که نتیجه آن ایجاد فساد در فراورده خواهد بود. کنترل دقیق وضعیت میکروبی مواد اولیه از نکات مهم در تولید شیر تغلیظ شده است.

ثبات حرارتی ماده خام

توانایی شیر در تحمل عملیات حرارتی بالا به مقدار اسیدیته و تعادل املاح در آن مربوط است. تعادل املاح شیر در فصول مختلف سال بسته به نوع تغذیه و مرحله شیردهی تغییر می‌کند. می‌توان توانایی شیر به تحمل فرایند حرارتی را ارتقا داد.

فرایند حرارتی مقدماتی

فرایند حرارتی مقدماتی اساساً برای هر دو نوع شیر تغلیظ شده شیرین و غیر شیرین یکسان است.

استاندارد کردن

شیر تغلیظ شده با تاکید بر یک محتوای خاص از چربی و ماده خشک به فروش می‌رسد. استانداردهای رعایت شده برای این فراورده متفاوت است. اما معمولاً آن را با ۸ درصد چربی و ۱۸ درصد ماده خشک بدون چربی (SNF) عرضه می‌نمایند. بنابراین، نسبت بین چربی به ماده خشک بدون چربی ۱۸:۸ یا ۲/۲۵ خواهد بود. این مقادیر به حداقل درصد لازم این مواد در شیر تغلیظ شده اشاره دارد. معمولاً بنا به دلایل اقتصادی مقدار این مواد از یک مرز

منطقی فراتر نمی‌رود. برای اطمینان بیشتر، مقدار این مواد را در محدوده ۸/۰۵ درصد چربی و ۱۸/۱ درصد برای ماده جامد بدون چربی تنظیم می‌کنند.

در سیستم‌های استانداردکننده خودکار، امکان استاندارد کردن پیوسته هر دو عامل چربی و نسبت محتوای چربی و ماده خشک بدون چربی وجود دارد. برای دستیابی به ترکیب استاندارد در شیرهای تغلیظ شده باید ترکیب شیر اولیه را استاندارد نمود که این کار معمولاً بعد از تصفیه فیزیکی انجام می‌شود. برای این منظور، حالات مختلفی را در نظر می‌گیرند و در هر حالت بسته به وضعیت در صورتی که چربی شیر اولیه کم باشد با افزودن خامه و در صورت بالا بودن چربی شیر اولیه با افزودن شیر پس‌چرخ این کار انجام می‌شود.

محاسبه تهیه شیر استاندارد

اگر M وزن شیر مورد استفاده بر حسب کیلوگرم و g مقدار چربی در یک کیلوگرم شیر بر حسب گرم و C ماده خشک بدون چربی یک کیلوگرم از همان شیر بر حسب گرم باشد، می‌توان R_1 را که نسبت ماده خشک بدون چربی به چربی در شیر اولیه است محاسبه نمود.

$$R_1 = \frac{C}{g} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در صورتی که G میزان ماده چرب یک کیلوگرم شیر غلیظ بر حسب گرم و E ماده خشک بدون چربی یک کیلوگرم از همین شیر باشد می‌توان R_2 را از طریق رابطه ۲ محاسبه نمود.

$$R_2 = \frac{E}{G} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه R_2 نسبت ماده خشک بدون چربی به چربی شیر غلیظ است.

در مقایسه R_1 با R_2 سه حالت ممکن است روی دهد.

حالت اول $R_1 = R_2$

در این صورت نیازی به اضافه نمودن خامه یا شیر بدون چربی به شیر اولیه نیست و می‌توان شیر را با همان ترکیب طبیعی خود تا حد لازم تغلیظ نمود. در این حالت اگر ماده خشک بدون چربی شیر ۹ درصد باشد و ماده خشک شیر تغلیظ شده ۲۳ درصد، فاکتور تغلیظ برابر $(\frac{23}{9} = 2.55)$ خواهد بود یعنی شیر به نسبت ۲/۵۵ تغلیظ خواهد شد و چربی شیر

نیز به همین نسبت افزایش خواهد یافت.

حالت دوم $R_1 > R_2$ در این حالت مقدار ماده خشک بدون چربی نسبت به چربی در شیر اولیه بالاست و باید مقداری خامه به شیر اولیه اضافه گردد، مقدار خامه مورد نیاز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = \frac{M(e - R_2 g)}{R_2 g_1 - e_1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه

M وزن شیر

e ماده خشک بدون چربی شیر اولیه بر حسب (gr/kg)

g چربی شیر اولیه بر حسب (gr/kg)

g_1 چربی خامه بر حسب (gr/kg)

e_1 ماده خشک بدون چربی خامه بر حسب (gr/kg)

حالت سوم $R_1 < R_2$ این حالت نشان‌دهنده بالا بودن درصد چربی شیر اولیه است و برای استاندارد کردن باید مقداری شیر بدون چربی به آن اضافه شود، مقدار شیر بدون چربی از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$S_{kim.milk} = \frac{M(R_2 g - e)}{e_2 - R_2 g_2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه g_2 مقدار ماده چرب یک کیلوگرم شیر پس‌چرخ (اسکیم) و e_2 ماده خشک بدون چربی یک کیلوگرم شیر پس‌چرخ مورد استفاده برای استاندارد کردن است.

مثال: می‌خواهیم از شیری که چربی آن ۳۵ و SNF^۱ آن ۹۰ گرم در کیلوگرم است، شیر غلیظی با ماده خشک ۲۴ درصد و با چربی ۸ درصد تهیه کنیم. برای استاندارد کردن یک تن از این شیر چند کیلوگرم شیر بدون چربی یا خامه باید اضافه شود. ماده خشک بدون چربی شیر پس‌چرخ ۹۰ گرم و چربی آن ۲ گرم در کیلوگرم است. ماده خشک بدون چربی خامه ۶۰ گرم و چربی آن ۳۰۰ گرم در کیلوگرم است.

چربی=۳۵ گرم	شیر اولیه	چربی=۸۰ گرم	شیر غلیظ	چربی=۲ گرم	شیر پس‌چرخ	چربی=۳۰۰ گرم	خامه
۹۰=SNF		۲۴۰=SNF		۹۰=SNF		۶۰=SNF	

واحدها بر حسب گرم در کیلوگرم است

$$R_1 = 90 \div 35 = 2.57$$

$$R_2 = 240 \div 80 = 3 \longrightarrow R_1 < R_2 \longrightarrow \text{پس باید شیر پس چرخ اضافه شود}$$

مقدار شیر پس چرخ از رابطه (۴) به دست می آید.

$$S_{kim.milk} = \frac{1000(3 \times 35 - 90)}{90 - (3 \times 2)} = 178.57$$

عملیات حرارتی اولیه

به شیر استاندارد شده قبل از استریل شدن فرایند حرارتی اولیه داده می شود تا میکروارگانسیم های آن نابود شوند و پایداری حرارتی شیر بهبود یابد. این عملیات حرارتی اغلب در سیستم لوله ای-پوسته ای یا تبادل کننده حرارتی صفحه ای در دمای ۱۲۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳-۱ دقیقه انجام می پذیرد و محصول پس از خنک شدن تا دمای ۷۰ درجه سانتیگراد روانه تبخیر کننده ها می گردد.

هنگام بکارگیری عملیات حرارتی بخش عمده پروتئین های سرمی شیر دناتوره شده و نمک های کلسیم رسوب می نمایند. این کار باعث افزایش پایداری پروتئین های شیر برای تحمل دمای استریل شدن می شود که متعاقباً در هنگام انبارگذاری ایجاد لخته ننماید. این نوع عملیات حرارتی تا حدی ویسکوزیته محصول نهایی را افزایش داده و در ارتقای کیفیت محصول مهم است. به طور کلی، می توان نتایج حاصل از عملیات حرارتی اولیه را به صورت زیر خلاصه نمود:

- افزایش ثبات شیر تغلیظ شده در هنگام بکارگیری فرایند استریل کردن و کاهش بروز لخته در هنگام انبارگذاری،
 - کاهش بار میکروبی اولیه،
 - بهبود ویسکوزیته در محصول نهایی،
 - گرم بودن شیر هنگام ورود به واحد تبخیر کننده.
- پایداری حرارتی شیر تغلیظ شده را می توان با افزودن پایدارکننده هایی مانند دی یا تری سدیم فسفات ارتقا داد.

ملاحظات اقتصادی تغلیظ کردن

عملیات تغلیظ شیر با تبخیر آب در شرایط جوش روی می‌دهد. انرژی مصرفی سهم عمده‌ای در قیمت تمام شده عملیات تغلیظ‌سازی دارد. به منظور کاستن از هزینه عملیات تبخیر و همچنین جلوگیری از آثار مخرب درجه حرارت بالا بر اجزای مغذی شیر استفاده از تبخیرکننده‌های چند بدنه‌ای در صنعت رایج شده است. این تبخیرکننده‌ها با ایجاد خلأ نسبی دمای جوش آب را کاهش داده و آب در شرایط دمایی نسبتاً پایین جوشیده و بخار تولید می‌نماید. در این تبخیرکننده‌ها بخار حاصل از بدنه اول وارد بدنه دوم که در شرایط خلأ پایین‌تری نسبت به بدنه قبلی قرار دارد، شده و در نتیجه موجب جوشیدن مایع در دمای پایین‌تر می‌شوند، در بدنه‌های سوم و چهارم نیز این ترتیب رعایت می‌شود. به این طریق در مقایسه تبخیرکننده تک بدنه‌ای حدود ۵۰ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود.

استفاده از تبخیرکننده‌های ۵ بدنه‌ای در صنعت قند رایج است. افزودن بدنه بیشتر، اقتصادی نیست در صنعت شیر از تبخیرکننده‌های ۴-۲ بدنه‌ای استفاده می‌شود. در اولین بدنه تبخیرکننده، بخار با دمای ۱۰۲ درجه سانتیگراد وارد می‌شود و خلأ داخل بدنه باعث جوشیدن آب در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد می‌شود. بخار این مرحله با دمایی حدود ۹۵ درجه سانتیگراد وارد بدنه دوم می‌شود، در این بدنه به دلیل پایین‌تر بودن شرایط خلأ آب در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به جوش می‌آید، بخار خروجی این مرحله دمایی در حدود ۷۵ درجه سانتیگراد دارد که وارد بدنه سوم می‌شود. به طور نسبی هر کیلوگرم بخار ۱۰۲ درجه می‌تواند ۲ کیلوگرم آب را در دو بدنه بخار نماید. هر چند به نظر می‌رسد می‌توان با افزایش تعداد بدنه‌ها صرفه‌جویی بیشتری کرد اما از نظر اقتصادی سرمایه‌گذاری برای بیش از ۵ بدنه مقرون به صرفه نیست. راه دیگر صرفه‌جویی در مصرف انرژی فشردن بخار حاصل از هر بدنه در هنگام انتقال به بدنه دیگر است. مثلاً ۱ کیلوگرم بخار ۱۰۲ درجه سانتیگراد ۶۳۷ کالری انرژی دارد و پس از طی عبور از بدنه اول مقدار ۱ کیلوگرم بخار ۶۰ درجه سانتیگراد تولید خواهد کرد، انرژی ۱ کیلوگرم از این بخار ۶۲۵ کالری است. بنابراین، به صورت نظری اگر به بخار آب ۶۰ درجه سانتیگراد ۱۲ کالری اضافه کنیم می‌توان ۱ کیلوگرم بخار ۶۳۷ کالری به دست آورد که بتواند ۱ کیلوگرم آب را در ۶۰ درجه سانتیگراد بخار نماید. از این رو، کافی است بخار خارج شده از قسمت فوقانی تبخیرکننده را از کمپرسور مکانیکی یا حرارتی عبور دهیم تا کالری لازم به آن افزوده شود، بدین وسیله می‌توان با چرخش مقدار معینی بخار به طور مداوم آب شیر را تبخیر نمود.

در شکل ۱ نمای شماتیک تبخیرکننده سه بدنه نشان داده شده است. در این تبخیرکننده دمای آب ورودی در بدنه اول ۹۵ درجه سانتیگراد و دمای خروجی آب از بدنه سوم ۲۷ درجه سانتیگراد است. دمای جوشش آب به ترتیب در بدنه‌ها ۸۰ و ۶۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد است.

به طور کلی، سیستم‌های تغلیظ‌کننده باید دارای شرایط زیر است:

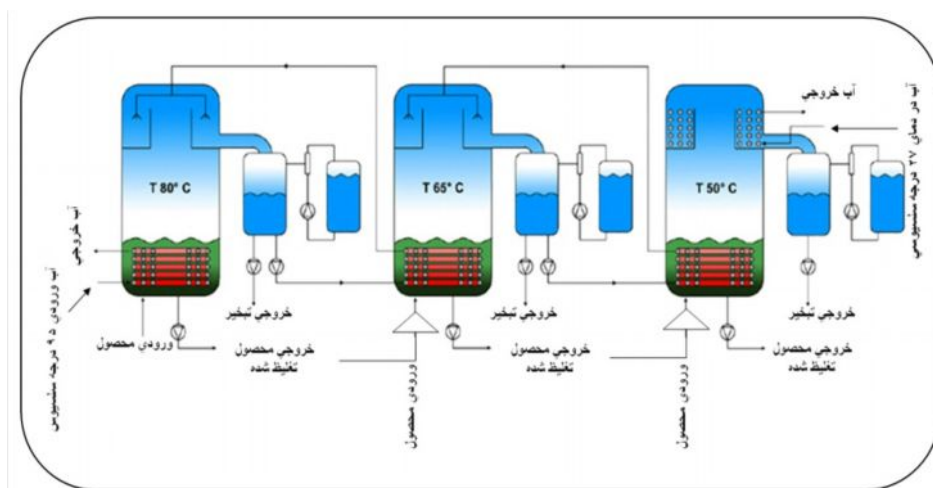
۱- با کاهش زمان تماس شیر با ماده گرمازا به کمتر از یک دقیقه کیفیت شیر حفظ شود.

۲- کار با دستگاه ساده و به راحتی قابل کنترل باشد.

۳- ضایعات شیر در هنگام کار و مراحل انتهایی و شستشوی دستگاه در حداقل باشد.

۴- به سادگی قابلیت شستشو و تمیزکردن را داشته باشد.

۵- امکان توسعه سیستم وجود داشته باشد.



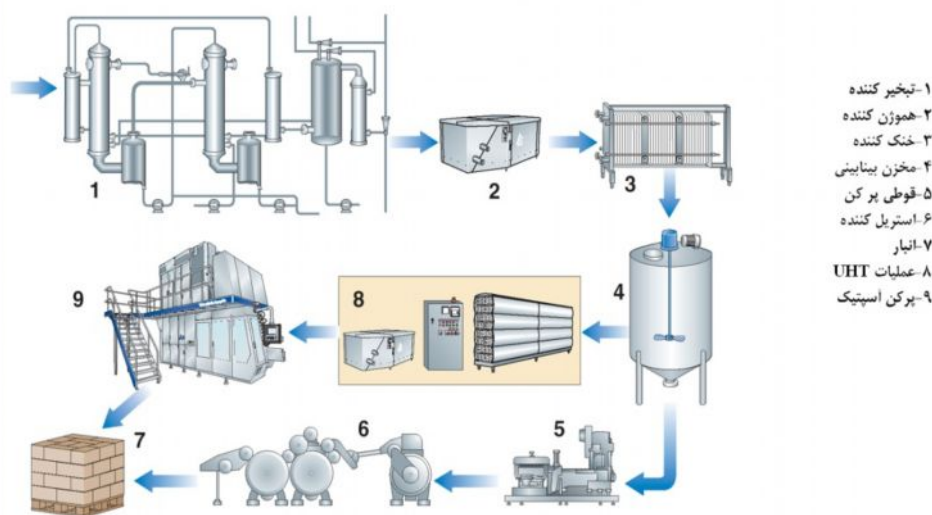
شکل ۱ نمای شماتیک تبخیرکننده سه بدنه‌ای

شیر تغلیظ‌شده معمولی

در شکل ۲ مراحل مختلف تولید شیر تغلیظ‌شده معمولی نشان داده شده است. ماده خام تولید این نوع محصول معمولاً شیر تازه است.

تغلیظ و تبخیر

عملیات تبخیر و تغلیظ شیر در سیستم‌های چند مرحله‌ای از نوع لایه ریز^۱ انجام می‌پذیرد. برای این کار شیر را از میان لوله‌هایی که با بخار داغ شده و تحت خلأ نسبی قرار دارند عبور می‌دهند. در این حالت شیر در دمای ۷۰-۶۵ درجه سانتیگراد می‌جوشد که در این دما طعم پختگی در شیر حرارت دیده ایجاد نمی‌شود. همراه با جوشش، مقداری آب از شیر خارج شده و در نتیجه درصد ماده خشک آن افزایش می‌یابد. چگالی فراورده در ضمن فرایند به طور پیوسته تحت کنترل قرار دارد. تغلیظ ماده جامد خشک تا دستیابی به چگالی ۱/۰۷ ادامه می‌یابد. به طور معمول ۲/۱ کیلوگرم شیر خام با محتوای چربی ۳/۸ درصد و ماده جامد بدون چربی ۸/۵۵ درصد، می‌تواند ۱ کیلوگرم شیر تغلیظ‌شده معمولی با ۸ درصد چربی و ۱۸ درصد ماده جامد بدون چربی تولید نماید.



شکل ۲ نمای خط تولید شیر تغلیظ‌شده معمولی

هموزن کردن

شیر تغلیظ‌شده پس از طی مراحل تبخیر با پمپ به هموزن‌کننده وارد می‌شود. هموزن کردن در فشار ۲۵-۱۲/۵ مگاپاسکال (۲۵۰-۱۲۵ بار) انجام می‌پذیرد. این کار باعث توزیع یکسان چربی در شیر می‌شود و از به هم چسبیدگی گویچه‌های چربی پس از استریل

شدن می‌کاهد. به طور معمول، استفاده از سیستم هموژن دو مرحله‌ای برای تولید این فراورده توصیه شده است.

باید در نظر داشت در این فراورده‌ها نباید از هموژن کردن در فشار خیلی بالا استفاده شود، زیرا ممکن است به پایداری پروتئینی آسیب وارد سازد و خطر لخته شدن را در هنگام استریل کردن افزایش دهد. بنابراین، لازم است فشار مناسب برای هموژن کردن تا حدی که بتواند به توزیع یکسان چربی در فراورده کمک نماید، افزایش یافته و بیشتر از آن افزایش نیابد تا خطر لخته شدن شیر در اثر فرایند حرارتی را کاهش دهد. به طور کلی می‌توان اهداف هموژن کردن را به صورت زیر خلاصه نمود:

- افزایش رنگ سفید در محصول،

- افزایش ویسکوزیته،

- کاهش احتمال لخته شدن محصول.

بسته‌بندی و استریل کردن

شیر را پس از هموژن کردن تقریباً تا دمای ۱۴ درجه سانتیگراد خنک و بلافاصله بسته‌بندی می‌نمایند، یا دمای آن را تا ۸-۵ درجه سانتیگراد خنک می‌کنند و تا رسیدن نتیجه نمونه استریل شده از آزمایشگاه آن را ذخیره می‌نمایند. معمولاً در این مرحله یک کنترل نهایی روی محتوای چربی و ماده جامد بدون چربی انجام می‌پذیرد. ماشین بسته‌بندی، قوطی‌ها را از شیر تغلیظ‌شده پر می‌کند و در آن‌ها را می‌بندد. دمای قوطی کردن باید به گونه‌ای انتخاب شود تا از کف کردن محصول جلوگیری نماید. قوطی‌های پر و دربندی شده به اتوکلاو مداوم یا غیر مداوم برای استریل شدن هدایت می‌شوند. در سیستم اتوکلاو غیر مداوم قوطی‌ها را ابتدا داخل سبدهای مخصوص می‌چینند و سپس آن‌ها را در داخل اتوکلاو قرار می‌دهند. در اتوکلاو مداوم، قوطی‌ها با تسمه نقاله با کنترل دقیق سرعت از داخل بخش حرارتی استریل‌کننده عبور داده می‌شوند.

در هر دو نوع روش اتوکلاو کردن برای کمک به توزیع بیشتر و بهتر حرارت، قوطی‌ها را حرکت می‌دهند، این عمل علاوه بر فوائد فوق مانع رسوب احتمالی پروتئین‌ها بر جداره قوطی می‌شود. پس از رسیدن دمای شیر داخل قوطی به ۱۲۰-۱۱۰ درجه سانتیگراد دما را به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه ثابت نگه می‌دارند و سپس آن را تا دمای انبار خنک و ذخیره می‌نمایند. به کارگیری عملیات حرارتی شدید ممکن است به ایجاد رنگ قهوه‌ای ملایم در فراورده منجر شود که از بروز واکنش شیمیایی بین پروتئین و لاکتوز شیر (واکنش میلارد) ناشی می‌شود.

عملیات UHT را نیز می‌توان برای شیر تغلیظ شده به کار برد، در این حالت شیر پس از نمونه‌گیری و کنترل شرایط عملیات پس از افزودن یک پایدارکننده، برای استریل شدن به واحد UHT پمپ می‌شود. در آنجا شیر تحت دمای ۱۴۰ درجه سانتیگراد به مدت تقریباً ۳ ثانیه در معرض حرارت قرار داده می‌شود. شیر را پس از خنک کردن به طور آسپتیک در بسته‌های مقوایی چند لایه بسته‌بندی و انبار می‌نمایند.

انبار کردن و کنترل کیفیت

قبل از کارتن‌گذاری، قوطی‌ها و بسته‌های مقوایی حاوی شیر تغلیظ شده را بر چسب می‌زنند، شیر تغلیظ‌شده را تا زمان فروش در انبار با دمای ۱۲-۶ درجه سانتیگراد نگهداری می‌کنند. اگر دمای انبار بالا باشد باعث بروز رنگ قهوه‌ای در شیر خواهد شد و انبار خیلی سرد نیز باعث رسوب پروتئین شیر می‌شود.

شیر تغلیظ‌شده باید رنگ شفاف و ظاهر خامه‌ای داشته باشد. معمولاً از هر محموله چندین نمونه قوطی برای کنترل کیفیت برداشته و آن‌ها را در سه دمای، ۲۵ درجه (دمای محیط)، ۳۰ درجه و ۳۸ درجه سانتیگراد قرنطینه می‌نمایند. قوطی‌ها را پس از ۱۴-۱۰ روز برای تعیین کیفیت هر محموله آزمایش می‌کنند. آزمایش‌های درصد چربی، مقدار ماده خشک بدون چربی، ویسکوزیته، شمارش باکتری و اسپور، رنگ، بو و مزه روی شیر تغلیظ شده انجام می‌پذیرد. تعدادی از قوطی‌ها برای تکمیل ارزیابی و آزمایش‌های مشابه تا یکسال نگهداری می‌نمایند.

شیر تغلیظ‌شده شیرین

در شکل ۳ خط تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین با استفاده از شیر تازه نشان داده شده است. قبل از انجام تبخیر مقدار چربی و ماده جامد بدون چربی شیر مانند روش تولید شیر تغلیظ شده معمولی (غیر شیرین) استاندارد می‌گردد. عملیات حرارتی اولیه روی شیر برای نابودسازی میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌هایی که ممکن است سبب بروز مشکل و عدم ثبات پروتئین‌های شیر گردند، با دقت انجام می‌پذیرد. در ضمن، عملیات حرارتی باعث بهبود ویسکوزیته محصول می‌شود که ویژگی مهم در شیر تغلیظ شده شیرین است. معمولاً شیر را برای به‌دست آوردن محصولی با ویسکوزیته تقریباً بالا در دمای ۸۲ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه عملیات حرارتی می‌دهند. اگر هدف تولید فراورده‌ای با ویسکوزیته پایین باشد،

ترکیب دما و زمان به صورت ۱۱۶ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ ثانیه انتخاب می‌شود. عملیات حرارتی خیلی شدید باعث شکل‌گیری حالت ژلی در فرآورده می‌شود. افزودن شکر یک مرحله مهم در تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین است. به کار بردن مقدار مناسب شکر نقش مهمی بر ماندگاری و ایجاد فشار اسمزی بالا در شیر دارد. محتوای ۶۲/۵ درصد قند در فاز آبی می‌تواند فشار اسمزی لازم را که مانع رشد باکتری‌ها می‌شود، ایجاد نماید.

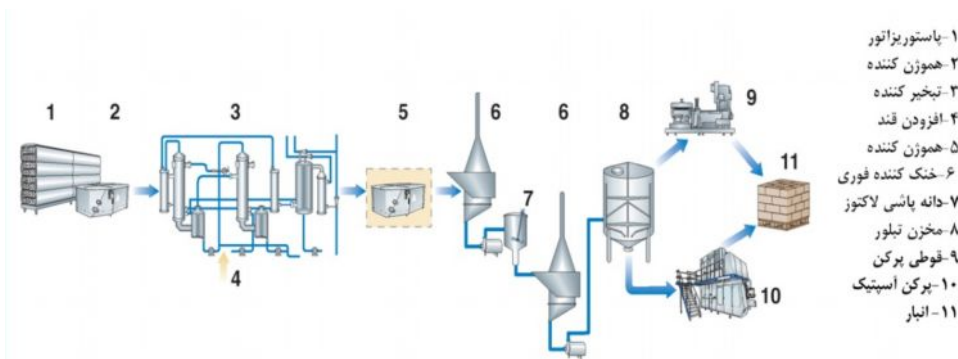
دو روش برای افزودن شکر وجود دارد:

- افزودن شکر قبل از عملیات حرارتی،

- افزودن شربت شکر به شیر در داخل واحد تبخیرکننده.

برای محاسبه مقدار شکر مورد نیاز از رابطه تجربی $S = KF$ استفاده می‌شود در این رابطه S مقدار شکر مورد نیاز، K نسبت قند به چربی در فرمول نهایی شیر تغلیظ‌شده و F مقدار چربی کل در شیر استاندارد شده مورد استفاده است.

مرحله‌ای که شکر به شیر اضافه می‌شود در بروز ویسکوزیته در محصول نهایی موثر است، یک فرض این است که افزودن زود هنگام شکر باعث افزایش ویسکوزیته محصول در هنگام نگهداری می‌شود.



شکل ۳ نمای خط تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین

تبخیر کردن

مراحل تبخیر کردن در تولید شیر تغلیظ‌شده شیرین اساساً مانند عملیات شیر تغلیظ‌شده معمولی است. در روشی که شکر در مرحله تبخیر به شیر افزوده می‌شود شربت را اواسط مرحله فرایند تبخیر به داخل تبخیرکننده می‌فرستند و با شیر مخلوط می‌نمایند و سپس تبخیر کردن به طور پیوسته تا دستیابی به ماده خشک مورد نظر، ادامه می‌یابد. ماده خشک

این مخلوط تا دستیابی به چگالی لازم با چگالی‌سنج خودکار کنترل می‌شود. چگالی لازم برای رسیدن ماده خشک مورد نظر برای شیر کامل شیرین تقریباً $1/3 \text{ g/cm}^3$ و برای شیر پس‌چرخ شیرین $1/35 \text{ g/cm}^3$ است. از مقدار $2/5$ کیلوگرم شیر با چربی $3/2$ درصد همراه با $0/44$ کیلوگرم شکر، یک کیلوگرم شیر تغلیظ شده شیرین با 8 درصد چربی، 45 درصد شکر و 27 درصد آب تولید می‌شود.

بعضی از تولیدکنندگان، شیر تغلیظ شده شیرین را بلافاصله پس از مرحله تبخیر برای تنظیم ویسکوزیته در فشار $5-7/5$ مگاپاسکال ($50-75$ بار) هموژن می‌نمایند.

خنک کردن و بلورین سازی

شیر تغلیظ شده شیرین باید پس از عملیات تبخیر، خنک شود، این مرحله بحرانی‌ترین قسمت عملیات فرایند است. آب موجود در شیر تغلیظ شده فقط می‌تواند نیمی از لاکتوز شیر را به حالت محلول در خود نگه دارد و بقیه به شکل بلور رسوب می‌نماید. اگر لاکتوز غیر محلول رسوب کند، دانه‌های بلور بزرگی تشکیل می‌شود و به محصول حالت شنی می‌دهد و این حالت برای مصرف کننده غیر مطلوب است. لذا باید تبلور لاکتوز تحت شرایط کنترل شده باشد تا بلورهای بسیار کوچک تولید شوند. اندازه بزرگ‌ترین بلورها در شیر درجه یک فقط 10 میکرون است. بلورهایی با این اندازه در دمای معمولی $15-25$ درجه سانتیگراد در داخل شیر پخش می‌شوند و با زبان قابل حس نیستند.

بلورین سازی باید همراه با هم زدن قوی بدون ورود هوا به مخلوط انجام پذیرد. وقتی که شیر تا دمای بلورین شدن (تقریباً 30 درجه سانتیگراد) خنک شد دانه پاشی به شکل افزودن دانه‌های ریز پودری یا به صورت محلول (شربت) برای تسریع و شروع مرحله تبلور به مقدار تقریباً $0/05$ درصد انجام می‌شود. سپس مخلوط با حداکثر سرعت تا دمای $15-18$ درجه سانتیگراد خنک و به طور پیوسته با یک همزن قوی به مدت تقریباً یک ساعت هم زده می‌شود. ویسکوزیته شیر تغلیظ شده شیرین بسیار بالاست، بنابراین وجود همزن بسیار قوی در مخزن بلورین سازی ضرورت دارد. شیر تغلیظ شده خنک را با پمپ به مخزن نگهداری انتقال می‌دهند و در آنجا برای تکمیل تبلور تا روز بعد از فرایند نگهداری می‌نمایند.

جدول ۱ ترکیبات شیر تغلیظ شده شیرین

استاندارد انگلیس	استاندارد امریکا	ترکیبات
۹	۸	درصد چربی
۲۲	۲۰	درصد ماده خشک بدون چربی
۱۱/۴	۱۰/۳	درصد لاکتوز
۴۳/۵	۴۵	درصد ساکارز
۲۵/۵	۲۷	درصد آب
۴۴/۶	۳۸/۳	لاکتوز (گرم در ۱۰۰ گرم آب)
۱۷۱	۱۶۷	ساکارز (گرم در ۱۰۰ گرم آب)
۵	۴/۶۰	فاکتور تغلیظ

بسته‌بندی و کنترل کیفیت

رنگ شیر تغلیظ‌شده شیرین باید زرد فام و شفافیت سس مایونز را داشته باشد. معمولاً آن را در داخل قوطی بسته‌بندی می‌نمایند. قوطی‌های مورد استفاده باید از قبل تمیز و استریل شده باشند. زیرا پس از پرکردن هیچ فرایند حرارتی روی آن انجام نمی‌پذیرد. به دلیل مصرف زیاد شیر تغلیظ شده شیرین در اروپا برای آن دو نوع استاندارد را مشخص کرده اند که در جدول ۱ نشان داده شده است.

امروزه، همچنین شیر تغلیظ‌شده شیرین در ظروف مقوایی چند لایه بسته‌بندی می‌شود. بسته‌بندی در بشکه‌های چوبی با ظرفیت تقریباً ۳۰۰ کیلوگرم برای استفاده در مقیاس‌های بزرگ صنعتی نیز رایج است. تولیدکننده شیر تغلیظ‌شده شیرین، باید تعدادی از نمونه‌های بسته‌بندی شده را برای بیشتر از یکسال جهت کنترل و نظارت بر آن‌ها نگهداری نماید. تمام آزمایش‌های لازم روی شیر تغلیظ‌شده شیرین مانند شیر تغلیظ‌شده معمولی است، علاوه بر آن باید کنترل خاصی برای اندازه‌گیری اندازه بلورها نیز انجام پذیرد.

نمونه سوالات این فصل

۱. دو ویژگی کیفی شیر را برای تولید شیر تغلیظ شده نام ببرید؟
۲. دنا توره شدن پروتئین‌های سرمی شیر چه تاثیری بر کیفیت شیر تغلیظ شده دارد؟
۳. هدف از هموژنیزاسیون شیر تغلیظ شده چیست؟
۴. دمای خیلی بالا و دمای خیلی پایین انبار به ترتیب چه تاثیری بر کیفیت شیر تغلیظ شده دارند؟

فصل نهم

تولید پودر شیر

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با روش‌های تولید پودر شیر،
- معرفی سیستم‌های مختلف خشک کردن،
- کاربرد انواع پودر شیر،
- ویژگی‌های انحلال.

مقدمه

محافظت از مواد غذایی با حذف آب و خشک کردن سابقه‌ای به اندازه تمدن بشری دارد. در سفرنامه مارکوپولو آمده است که مغول‌ها شیر را در آفتاب خشک می‌کرده‌اند، امروزه تولید پودر شیر و پودر دیگر فراورده‌های شیری امری رایج در کارخانه‌های شیر است. حداکثر ماندگاری برای پودر شیر بدون چربی تقریباً سه سال و برای پودر شیر کامل شش ماه است، دلیل این تفاوت بروز اکسیداسیون چربی پودر شیر کامل در مدت زمان نگهداری آن است. البته نگهداری در شرایط مطلوب تا شش ماه از نظر اکسیداسیون مشکل خاصی ایجاد نخواهد کرد.

خشک کردن

خشک کردن^۱ به معنی حذف آب از ماده غذایی آبدار (در اینجا شیر) است که در آن صورت محصول به شکل جامد در خواهد آمد. آب باقی مانده در پودر شیر معمولاً در حدود ۵ - ۲/۵ درصد است که در این شرایط هیچ‌گونه قارچ یا باکتری رشد نمی‌کند. خشک کردن علاوه بر افزایش عمرماندگاری شیر باعث کاهش وزن و حجم آن می‌شود و از هزینه‌های حمل و نقل و انبار کردن نیز می‌کاهد.

از روش خشک کردن در انجماد برای تولید پودر با کیفیت بسیار بالا استفاده می‌شود. در این فرایند آب تحت شرایط خلاء از شیر جدا و تبخیر می‌شود. در این روش به دلیل آسیب ندیدن پروتئین‌ها، کیفیت محصول بسیار بالا خواهد بود. روش خشک کردن در انجماد به علت نیاز به انرژی بالا هنوز برای خشک کردن شیر به طور تجاری گسترش پیدا نکرده است. پودر شیر تولید شده تحت فرایندهای حرارتی، همیشه از شرایط ناشی از خشک کردن متأثر می‌شود. استفاده از فرایندهای حرارتی شدید باعث کاهش کیفیت و محدودیت کاربرد پودر شیر تولیدی خواهد شد. روش‌های تجاری خشک کردن استفاده از فرایندهای حرارتی است. در این شرایط آب تبخیری به صورت بخار از محصول حذف می‌شود و باقیمانده به صورت محصول خشک در می‌آید. در خشک کردن معمولاً شیر ابتدا با تبخیرکننده‌ها غلیظ و سپس در برج پاششی خشک می‌شود. تبخیر آب در فرایند خشک کردن در دو مرحله انجام

می‌پذیرد: در مرحله اول، آبی که به صورت آزاد در بین ذرات قرار دارد تبخیر و در مرحله بعد آب موجود در منافذ و مجاری موئینه تبخیر می‌شود.

اولین مرحله خشک کردن، به طور نسبی سریع است در حالی که مرحله آخر به انرژی و زمان بیشتری نیاز دارد. آثار سوء ناشی از گرما روی محصول به طور قابل توجهی در خشک کردن با سطوح داغ، مانند خشک کردن به روش استوانه غلتکی افزایش می‌یابد. وجود ذرات سوخته در پودر شیر نشانه کاهش کیفیت محصول است.

در صنایع لبنی از دو روش اصلی برای خشک کردن فرآورده‌ها استفاده می‌شود:

- خشک کردن غلتکی،^۱

- خشک کردن پاششی،^۲

تولید پودر شیر

در تولید شیر خشک غلتکی، شیر پیش‌فرایند شده وارد خشک‌کن غلتکی می‌شود و کل فرایند خشک کردن در یک مرحله انجام می‌شود. به طور کلی، یکی از مزیت‌های تغلیظ قبل از خشک کردن صرفه‌جویی در مصرف انرژی است، در روش خشک کردن غلتکی هم اگر تغلیظ اولیه داشته باشیم در مصرف انرژی صرفه‌جویی خواهد شد.

در تولید پودر شیر با روش پاششی، شیر ابتدا تحت خلأ، تبخیر و تغلیظ می‌شود تا ماده خشک آن به حدود ۵۵-۴۵ درصد برسد، سپس ادامه مرحله خشک کردن در داخل برج خشک‌کن انجام می‌پذیرد. پودر شیر پس‌چرخ تولید شده با روش پاششی بر پایه دو نوع کیفیت تولید می‌شود:

- محصول معمولی،

- محصول انباشته^۳ برای تهیه پودر شیر فوری، با روش‌های گوناگون خشک‌کن پاششی.

در نهایت، محصول هر دو نوع خشک‌کن را (غلتکی و پاششی) در قوطی، مقوا، بسته‌های چند لایه یا کیسه‌های پلاستیکی با توجه به کیفیت و نیازمندی‌های مصرف‌کننده بسته‌بندی می‌نمایند.

مواد اولیه

برای تولید پودر شیر بر کیفیت شیر بسیار تأکید می‌شود. در بعضی از کشورها شمارش کل میکروبی در هر گرم از پودر نباید از مقدار ۵۰۰۰۰ یا حتی ۳۰۰۰۰ عدد تجاوز نماید،

1. Roller drying

2. Spray drying

3. Agglomerated Product

(جدول ۱). این مقدار تقریباً معادل ۵۰۰۰ - ۳۰۰۰ باکتری در هر لیتر از شیر است، مشروط به آن که هیچ‌گونه آلودگی ثانویه در خلال تولید روی نداده باشد. از آن‌جا که تولید پودر شیر با روش پاششی یک مرحله تبخیر در خلأ دارد (حرارت پایین است) باید تعداد باکتری‌های مقاوم به حرارت در محصول تغلیظ شده در حداقل ممکن باشد که در هنگام تبخیر فرصت تکثیر بیش از حد فراهم نشود. عملیات باکتوفوگاسیون و یا ریزپالایش^۱ شیر برای حذف اسپور باکتری‌ها کیفیت میکروبی محصول را ارتقا می‌بخشد.

شیر مورد استفاده برای تولید پودر شیر هرگز نباید در معرض فرایند شدید حرارتی (قبل از ورود به واحد تولید پودر شیر) قرار گیرد. چون باعث انعقاد پروتئین‌های آب‌پنیر در شیر می‌شود و از قابلیت انحلال شیر خشک و حفظ مواد معطر فرار در آن می‌کاهد. با استفاده از آزمایش پراکسیداز یا آزمایش پروتئین‌های آب‌پنیر می‌توان شدت عملیات حرارتی مقدماتی را روی شیر اندازه‌گیری کرد. اگر شیر تحت فرایند حرارتی شدید قرار گرفته باشد در نتایج هر دو آزمایش فوق مشخص خواهد شد.

جدول ۱ درجه‌بندی پودر شیر پس چرخ بر اساس ADMI ☆

ویژگی	خشک‌کن پاششی (حداکثر)	خشک‌کن غلتکی (حداکثر)
میزان چربی	۱/۲۵ درصد	۱/۲۵ درصد
میزان رطوبت	۴ درصد	۴ درصد
اسیدیته قابل تیتراسیون	۰/۱۵ درصد	۰/۱۵ درصد
ضریب حلالیت	۱/۲۵ میلی لیتر ☆☆	۱۵ میلی لیتر
شمارش کل میکروبی	۵۰۰۰۰ در هر گرم	۵۰۰۰۰ در هر گرم
ذرات سوخته	دیسک B (۱۵ میلی گرم)	دیسک C (۲۲/۵ میلی گرم)

☆ ADMI (American Dry Milk Institute) اینستیتو شیر خشک امریکا
☆☆ بجز پودر خشک شده در حرارت بالا، برای آن تا حداکثر ۲ میلی لیتر اجازه داده شده است.

پیش‌فرایند عمومی شیر

در تولید پودر شیر پس‌چرخ، ابتدا باید چربی شیر با روش گریز از مرکز (سانتریفوژی) از آن جدا شود. اگر هدف تولید پودر شیر کامل باشد، ممکن است فرایند استاندارد کردن چربی شیر در استانداردکننده خودکار انجام پذیرد. اگر چربی شیر استاندارد شده برای تولید پودر شیر کامل، هموزن نشود مقدار چربی در محصول نهایی یکنواخت نخواهد بود.

اگر از شیر پس چرخ برای تولید پودر استفاده شود باید آن را تا مرحله منفی شدن آزمایش فسفاتاز پاستوریزه کرد. در صورت استفاده از شیر کامل عملیات حرارتی شدیدتری باید اعمال شود تا بتواند لیپاز را غیر فعال سازد. منفی شدن آزمایش پراکسیداز شیر نشانه کفایت فرایند حرارتی برای این نوع شیر است.

خشک کن استوانه‌ای یا غلتکی

در روش خشک کردن غلتکی، شیر از بالا بر سطح داغ استوانه‌های دوران شونده جاری می‌شود، آب موجود در شیر بر اثر حرارت بالای سطح استوانه‌ها به سرعت تبخیر و با جریان هوا از سطح استوانه دور می‌شود. در سمت زیرین، تیغه‌هایی شیر خشک شده را از سطح استوانه‌ها می‌تراشند. دمای زیاد سطح داغ استوانه‌ها باعث کاهش قدرت انحلال پروتئین‌های شیر و تغییر رنگ محصول نهایی می‌شود.

عملیات حرارتی شدید پیوندهای آبی بین ذرات پودر را افزایش می‌دهد و این ویژگی در صنعت تولید غذاهای آماده سودمند است زیرا باعث ترکیب بهتر پودر با دیگر اجزای موجود در فرمولاسیون خواهد شد.

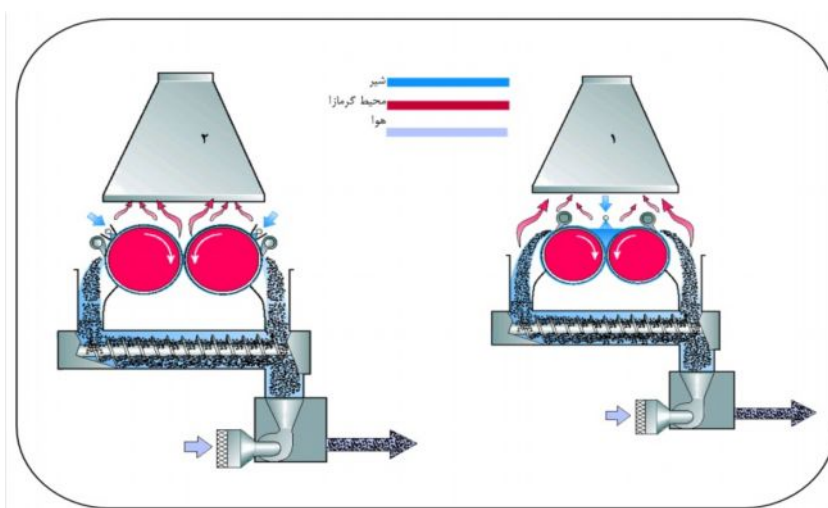
تفاوت بین خشک کن‌های غلتکی با تغذیه به صورت ریزشی^۱ و تغذیه به صورت پاششی^۲ مبتنی بر روشی است که شیر روی سطح داغ غلتک‌ها قرار می‌گیرد.

در شکل ۱ (۱) استوانه غلتکی با تغذیه ریزشی در سطح غلتک خشک کن نشان داده شده است. شیر پس از عملیات حرارتی مقدماتی روی سطح استوانه‌های چدنی و دیواره انتهایی آن‌ها ریخته می‌شود. آب موجود در لایه نازک شیر بر اثر تماس با سطح داغ استوانه به سرعت بخار و لایه شیر در روی سطح استوانه‌ها خشک می‌شود. این لایه خشک شده به طور پیوسته با تیغه‌های مماس با سطح هر استوانه تراشیده می‌شود.

شیر خشک شده به صورت پوسته پوسته روی یک نقاله پیچی شکل (حلزونی) می‌ریزد و پس از جدا کردن ذرات سخت و سوخته به یک آسیاب مخصوص انتقال می‌یابد.

معمولاً استوانه‌ها به طول ۶-۱ متر و قطر ۳-۰/۶ متر هستند. اندازه استوانه‌ها با توجه به ظرفیت، ضخامت جدار استوانه‌ها، دما، سرعت دوران استوانه‌ها و درصد ماده خشک مورد نیاز در محصول نهایی تعیین می‌شود.

ضخامت لایه خشک شده را می‌توان با فاصله شکاف بین استوانه‌ها تنظیم کرد. در شکل ۱ (۲) تغذیه پاششی به غلتک خشک‌کن نشان داده شده است. پاشنده‌ها^۱ مایع را به صورت ذرات ریز و به شکل یک لایه نازک روی سطح داغ استوانه‌ها پخش می‌کنند. در این حالت بازده انتقال حرارت در سطح استوانه‌ها ۹۰ درصد است در حالی که بازده در غلتک با تغذیه ریزشی ۷۵ درصد است.



شکل ۱ خشک‌کن‌های غلطکی: ۱- ریزشی ۲- پاششی

ضخامت لایه با میزان اعمال فشار به پاشنده‌های ذرات ریز^۲ تعیین می‌شود. زمان خشک‌کردن را بسته به ویژگی مورد انتظار از پودر شیر می‌توان با تنظیم دما و سرعت دوران استوانه‌ها کنترل نمود. اگر تمام عوامل درست انتخاب شوند، لایه شیر وقتی از سطح استوانه‌ها تراشیده می‌شود تقریباً خشک است. لایه شیر خشک تراشیده شده از سطح استوانه‌ها در غلتک پاششی، مانند روش قبلی روی نقاله حلزونی ریخته می‌شود و پس از جداکردن ذرات سوخته به آسیاب مخصوص انتقال می‌یابد.

خشک‌کن پاششی

عملیات در خشک‌کن پاششی در دو بخش انجام می‌پذیرد: در بخش نخست، شیر تحت عملیات حرارتی اولیه قرار می‌گیرد و در شرایط خلأ تا دستیابی به ماده خشک ۴۵-۵۵ درصد

1. Nozzles

2. Spray nozzles

تغلیظ می‌شود. در بخش دوم مایع تغلیظ شده با پمپ به برج خشک‌کن انتقال می‌یابد. ادامه فرایند در برج خشک‌کن در سه مرحله انجام می‌شود:

- پخش مایع تغلیظ شده به صورت قطرات بسیار ریز،
 - مخلوط کردن ذرات ریز با جریان هوای داغ (این عمل باعث بخارشدن سریع آب موجود در ذرات می‌شود)،
 - جداسازی ذرات شیر خشک از هوای داغ.
- عملکرد بخش نخست یعنی تغلیظ شیر قبل از ورود به برج خشک‌کن بسیار مهم است و نقش اساسی در ارتقای کیفیت پودر شیر دارد. بدون انجام این کار ذرات پودر تولید شده بسیار ریز و میزان هوای محبوس در آن بیشتر و خواص رطوبت‌پذیری^۱ و عمر ماندگاری آن کمتر خواهد بود. همچنین این فرایند توجیه اقتصادی لازم را ندارد.
- عموماً از تبخیر کننده لایه ریز^۲ برای تغلیظ اولیه استفاده می‌شود. در این تغلیظ‌کننده‌ها شیر طی دو یا چند مرحله به ماده جامد ۴۵-۵۵ درصد می‌رسد. لوازم به‌کار رفته همانند سیستم تولید شیر تغلیظ شده است.

سیستم‌های متداول در خشک کردن به روش پاششی

برای خشک کردن شیر به روش پاششی می‌توان از سیستم‌های یک‌مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و یا سه مرحله‌ای استفاده کرد. ساده‌ترین سیستم برای تولید پودر شیر خشک معمولی، خشک‌کن پاششی با سیستم انتقال‌دهنده پنوماتیکی است، (شکل ۲). این سیستم بر اساس خشک کردن یک مرحله‌ای عمل می‌نماید، به بیانی دیگر حذف تمامی رطوبت از شیر تغلیظ شده در برج خشک‌کن پاششی (۱) انجام می‌پذیرد. پس از آن سیستم حمل‌کننده پنوماتیکی کار جمع‌آوری پودر خارج شده از قسمت مخروطی برج را انجام می‌دهد. جداسازی هوا از پودر در سیکلون اصلی (۶) انجام می‌شود، سپس پودر از طریق سیکلون نهایی (۷) و ناودانک مخصوص به ماشین بسته‌بندی انتقال می‌یابد.

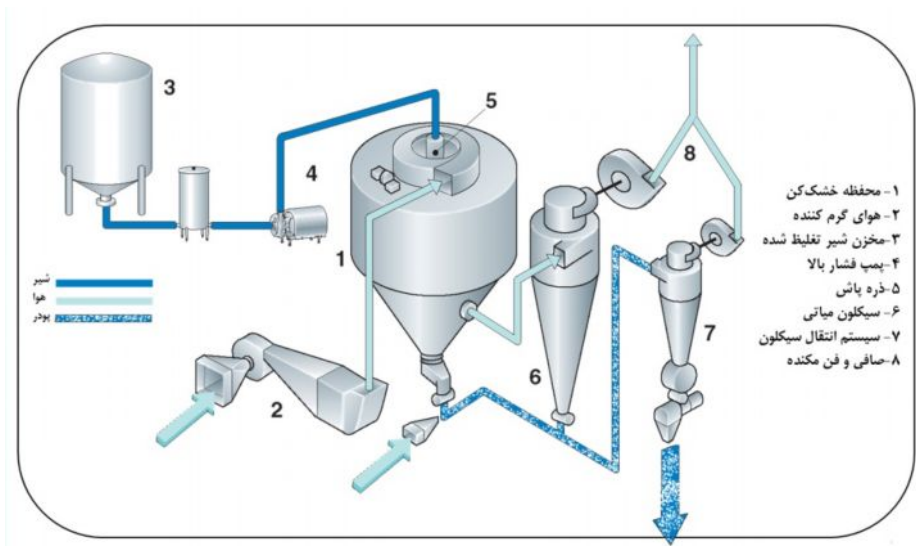
در سیستم خشک‌کن دو مرحله‌ای روش تولید مانند حالت یک مرحله‌ای است و فقط به جای نوار نقاله پنوماتیکی، خشک‌کن بستر سیال^۳ جانشین آن شده است.

1. Wettability
2. falling film
3. Fluid bed dryer

خشک کردن سه مرحله‌ای، حالت توسعه یافته خشک کردن دومارحله‌ای برای دستیابی به صرفه‌جویی بیشتر در هزینه‌های عملیاتی است.

خشک کردن یک مرحله‌ای یا مستقیم

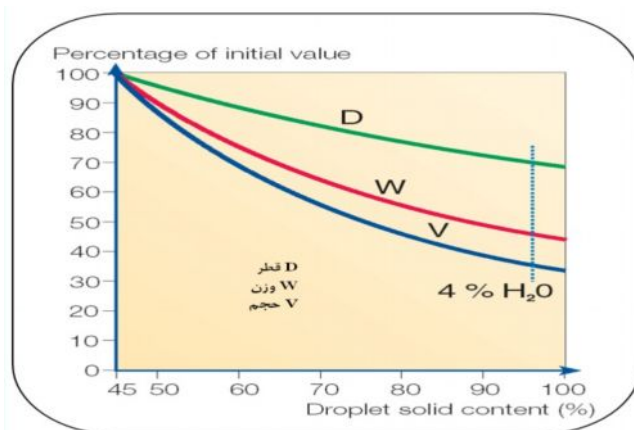
در شکل ۲ نمای شماتیک واحد خشک کن یک مرحله‌ای نشان داده شده است. شیر تغلیظ شده با پمپ فشار بالا (۴) به‌طور پیوسته به داخل قطعه ذره‌پاش^۱ (۵) در داخل محفظه خشک کن (۱) انتقال می‌یابد. قطرات بسیار ریز خروجی از ذره‌پاش با هوای داغ داخل محفظه مخلوط می‌شود. هوای داغ فیلتر شده با دمای ۱۵۰-۲۵۰ درجه سانتیگراد به کمک دمنده به داخل برج وارد و با ذرات شیر مخلوط و گرمای هوا باعث تبخیر سریع آب موجود در ذرات شیر می‌شود.



شکل ۲ خشک کن پاششی یک مرحله‌ای

قطرات ریز شیر که با سرعت بالا از ذره‌پاش رها می‌شوند در برخورد با هوای داغ، بر اثر تماس از سرعت آن‌ها کاسته می‌شود. آب آزاد موجود در ذرات به سرعت بخار می‌شود و آب موجود در بین مجاری مویینه، ابتدا به سطح ذره می‌آید و سپس بخار می‌شود. در این حالت ذره

به آرامی در داخل برج پاششی ته‌نشست می‌نماید. ذرات شیر در این شرایط فقط ۷۰-۸۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌بینند، زیرا بیشتر دمای هوا برای بخار کردن آب همراه ذره مصرف می‌شود. با حذف آب از قطرات ریز شیر به‌طور قابل توجهی از وزن، حجم و قطر آن‌ها کاسته می‌شود. در شرایط مناسب خشک کردن، تقریباً ۵۰ درصد وزن، ۶۰ درصد حجم و ۲۵ درصد قطر قطرات در مقایسه با اندازه اولیه در شیر تغلیظ‌شده کاهش می‌یابد، (نمودار ۱). ذرات شیر خشک به صورت پودر در برج خشک‌کن ته‌نشین و از دریچه ته برج تخلیه می‌شود. انتقال به صورت پنوماتیکی و با استفاده از جریان هوای خنک انجام می‌پذیرد. مخلوط هوا و پودر پس از جدا سازی هوا، به واحد بسته‌بندی منتقل می‌شود. بعضی از ذرات کوچک و سبک ممکن است همراه هوا از محفظه خشک‌کن خارج شود، این ذرات پودری در یک یا چند سیکلون جمع‌آوری شده و مجدداً به جریان اصلی پودر شیر وارد می‌شود. هر چه شیر به ذرات یا قطرات ریزتر تقسیم شود سطح ویژه^۱ آن افزایش خواهد یافت (نسبت کل سطح به حجم افزایش می‌یابد) که این امر در فرایند خشک کردن موثر است. یک لیتر شیر مساحتی برابر ۰/۰۵ مترمربع دارد. اگر این مقدار شیر در برج پاششی به صورت ذره درآید، هر ذره آن مساحتی برابر ۰/۱۵ - ۰/۰۵ میلی مترمربع خواهد داشت. مجموع مساحت تمام ذرات یک لیتر شیر در این حالت تقریباً برابر ۳۵ مترمربع خواهد شد. بنابراین، ذره‌ای شدن مساحت را تقریباً ۷۰۰ برابر افزایش می‌دهد.



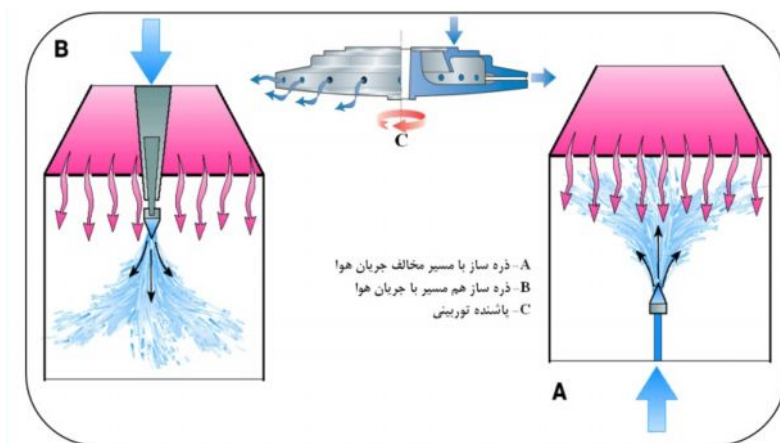
نمودار ۱ تغییرات اندازه وزن، حجم و قطر ذرات در هنگام خشک شدن در برج خشک‌کن پاششی

طراحی ذره‌پاش به ویژگی‌های پودر شیر (اندازه ذرات، بافت، حلالیت، چگالی و رطوبت‌پذیری) بستگی دارد. خشک‌کن‌ها معمولاً ذره‌ساز^۱ ثابت و غیرمتحرک دارند (شکل ۳). در این شکل (A) ترتیب ساختمانی برج پاششی با قرارگرفتن ذره‌پاش در مسیر مخالف جریان هوا نشان داده شده است. در این حالت اندازه ذرات به طور نسبی بزرگ خواهد بود. در شکل ۳ (B) ذره‌پاش به طور هم مسیر با هوای داغ تعبیه شده است. در این حالت فشار تزریق شیر به سیستم اندازه ذرات را معین می‌نماید. بکارگیری فشار بالا (بیشتر از ۳۰ مگاپاسکال یا ۳۰۰ بار) پودر بسیار ریزی با چگالی بالا تولید می‌نماید. در فشار پایین (۲۰-۵ مگاپاسکال یا ۲۰۰-۵۰ بار) اندازه ذرات بزرگ‌ترند و ذرات بسیار ریز را که اصطلاحاً غبار می‌نامند، به وجود نخواهد آمد.

ذره‌پاش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- **پاشنده‌های توربینی یا متحرک:** شامل یک صفحه چرخان^۲ با مجاری خروج سیال است که با سرعت بسیار بالا حول محور خود می‌چرخد. در این سیستم خواص مورد نظر محصول با سرعت صفحه چرخان کنترل می‌شود، سرعت صفحه ۲۵۰۰-۵۰۰ دور در دقیقه متغیر است (شکل ۳).

۲- **پاشنده‌های نازلی یا غیر متحرک:** در این سیستم سیال (شیر) بر اثر فشار پمپ از طریق روزنه‌های بسیار ریز به داخل محفظه خشک‌کن پاشیده می‌شود. کاربرد هر یک از سیستم‌های فوق به ویژگی‌های ماده اولیه و خصوصیات محصول نهایی بستگی دارد.



شکل ۳ ذره‌پاش نازلی یا ثابت (A و B) و توربینی یا متحرک (C)

خشک کردن دومرحله‌ای

حذف آخرین مولکول‌های آب بسیار مشکل است و نیازمند دمای بالا در خشک‌کن و تجهیزات لازم برای جریان کافی هواست. بالا بودن دمای خشک‌کن اثر تعیین‌کننده‌ای بر کیفیت پودر دارد. البته لازم است برای فراورده‌های لبنی از حرارت پایین‌تری استفاده شود. اگر مقدار رطوبت باقی‌مانده در پودر بالا باشد، مرحله خشک‌کردن دیگری را پس از خشک‌کن پاششی انجام می‌دهند که این سیستم، خشک‌کردن دو مرحله‌ای نامیده می‌شود. مرحله دوم با استفاده از خشک‌کن بستر سیال انجام می‌گیرد (شکل ۴) وقتی پودر شیر با حدود ۳-۲ درصد رطوبت اضافی از خشک‌کن پاششی خارج می‌شود در خشک‌کن بستر سیال این رطوبت اضافی حذف شده و پودر خنک می‌گردد.

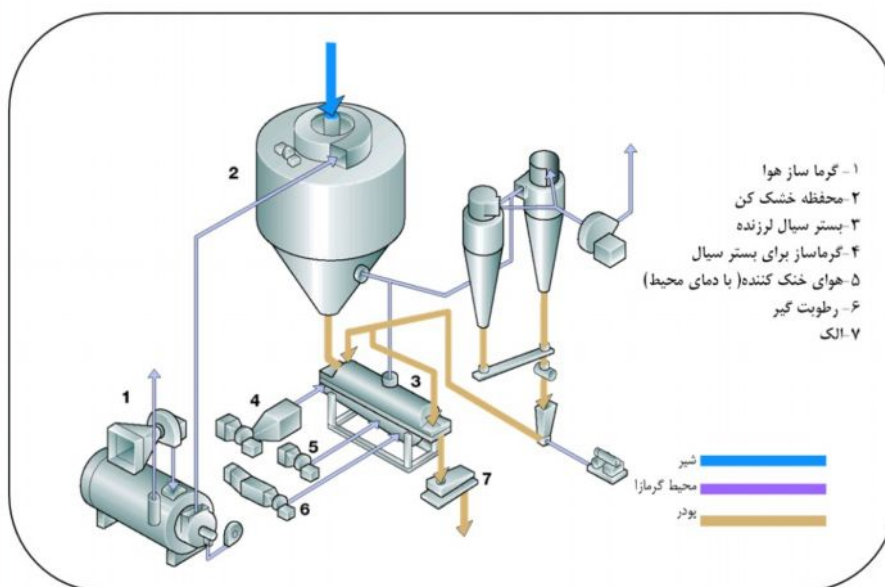
خشک‌کردن دومرحله‌ای که برای به‌دست آوردن پودر فشرده یا انباشته (آگلومره) توسعه یافته بود در اوایل دهه ۷۰ برای تولید پودر شیر معمولی غیر فشرده نیز متداول شد. در این حالت، محصول با کیفیت بالاتر و اقتصادی‌تر تولید شد.

پودرهای به‌دست آمده از فرایند خشک‌کردن یک و دومرحله‌ای به طور قابل توجهی دارای ذرات غبار مانند می‌باشند که این ذرات در هنگام بازسازی شیر مشکل ایجاد می‌نمایند. پودر خشک شده در شرایط دومرحله‌ای ذرات زبرتر و وزن حجمی^۱ بیشتری دارد که ناشی از بزرگ‌تر بودن ذرات آن است و چون ذرات غباری کمتری دارد بازسازی آن آسان‌تر است، پس، اختلاف در ویژگی‌های این پودرها به مرحله دوم خشک کردن مربوط می‌شود که ویژگی متمایزی به محصول می‌دهد.

از ویژگی‌های ذکر شده می‌توان به شاخص حلالیت، مقدار هوای جذب شده و وزن حجمی اشاره نمود. دمای ذرات شیر هنگام خروج از ذره‌پاش پایین است اما در عین حال به طور جزئی بالاتر از دمای تر^۲ هوا در برج خشک‌کن است (برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا یا محفظه‌های بزرگ از دو دماسنج به طور هم‌زمان استفاده می‌شود یکی از دماسنج‌ها را با فتیله‌ای که انتهای آن در آب قرار دارد پوشش می‌دهند در نتیجه این دماسنج دمای پایین‌تری را نشان می‌دهد که با رطوبت موجود در هوا متناسب است این دما را دمای تر می‌نامند). به تدریج با تبخیر آب، دمای ذرات افزایش یافته و سرانجام بسته به مقدار رطوبت با دمایی پایین‌تر از دمای هوای خروجی، برج را ترک می‌کنند. سیستم خشک‌کن یک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای در جدول ۲ مقایسه شده‌اند.

1. bulk density

2. Wet Bulb



شکل ۴ خشک کن پاششی با بستر سیال دو مرحله‌ای

خشک کردن سه مرحله‌ای

در خشک کن سه مرحله‌ای علاوه بر خشک کن پاششی از دو نوع خشک کن دیگر برای کاهش بیشتر رطوبت و خنک کردن محصول استفاده می‌شود که معمولاً این واحد در بیرون محفظه خشک کن اصلی قرار داده می‌شود.

۱- خشک کن بستر سیال،

۲- خشک کن تسمه نقاله‌ای.^۱

سطح تماس محصول با هوای داغ در خشک کن‌های پاششی مجهز به خشک کن تسمه نقاله‌ای بیشتر است.

جدول ۲ مقایسه سیستم خشک‌کن یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای

سیستم خشک‌کن		یک مرحله‌ای	دو مرحله‌ای	
		با دمای ورودی ۲۰۰ درجه سانتیگراد	با دمای ورودی ۲۰۰ درجه سانتیگراد	با دمای ورودی ۲۳۰ درجه سانتیگراد
<u>خشک‌کن پاششی (اولین مرحله)</u>				
تبخیر در محفظه، kg/h		۱۱۵۰	۱۴۰۰	۱۷۲۰
پودر به دست آمده از محفظه با رطوبت ۶ درصد kg/h		-	۱۴۶۰	۱۷۹۰
پودر به دست آمده از محفظه با رطوبت ۳/۵ درصد، kg/h		۱۱۴۰	-	-
مصرف انرژی کل خشک‌کن پاششی، Mcal		۱۸۱۸	۱۸۲۳	۲۱۲۰
انرژی به ازای هر کیلوگرم پودر، kcal		۱۵۹۵	۱۲۵۰	۱۱۸۴
<u>بستر سیال (مرحله دوم)</u>				
هوای خشک‌کن kg/h		-	۳۴۳۰	۴۲۹۰
دمای هوای ورودی، درجه سانتیگراد		-	۱۰۰	۱۰۰
تبخیر در بستر سیال، kg/h		-	۴۰	۴۵
پودر به دست آمده از بستر سیال با رطوبت ۳/۵ درصد، kg/h		-	۱۴۲۰	۱۷۴۵
مصرف انرژی کل در بستر سیال، Mcal		-	۹۵	۱۱۵
<u>جمع کل عملیات</u>				
کل مصرف انرژی، Mcal		۱۸۱۸	۱۹۱۸	۲۲۳۵
انرژی به ازای تولید هر کیلو پودر، kcal		۱۵۹۵	۱۳۵۰	۱۲۸۰
مقایسه مصرف انرژی مراحل با یکدیگر		۱۰۰	۸۵	۸۰

اندازه: محفظه خشک‌کن‌ها همسان با جریان هوای ورودی = ۳۱۵۰۰ kg/h

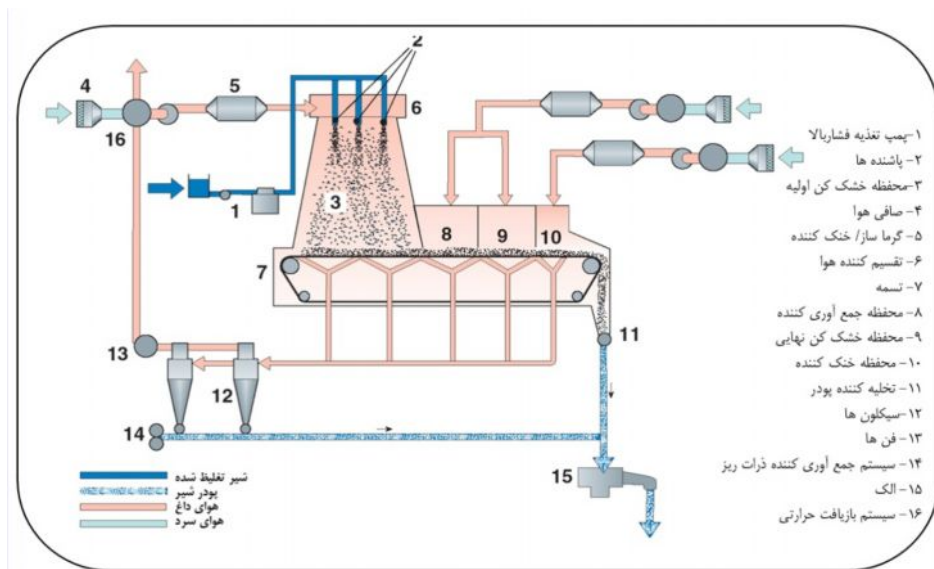
محصول: شیر پس چرخ تغلیظ شده با ماده جامد ۴۸ درصد.

دستگاه خشک‌کن فیلترمات^۱ که در شکل ۵ نشان داده شده، دارای برج خشک‌کن (۳) و سه محفظه کوچک‌تر برای بلورین‌سازی (به طور مثال در تولید پودر آب‌پنیر برای تبلور لاکتوز)، خشک‌کن نهایی و خنک‌کننده (۱۰ و ۹ و ۸) است.

ذره‌پاش بالای برج، محصول را به صورت ذرات ریز در می‌آورد محصول به ذره‌پاش با استفاده از پمپ فشار بالا منتقل می‌شود، فشار بیشتر از ۲۰۰ بار است. دمای هوای برج حدود ۲۸۰ درجه سانتیگراد است.

در مرحله اول ذرات در هنگام ریزش از ذره‌پاش (۲) در ته برج خشک می‌شوند روی تسمه متحرک قرار می‌گیرند (۷). پودر ذرات در روی تسمه به صورت لایه‌ای نازک با خلل و فرج فراوان است.

در مرحله دوم خشک کردن، هوای خشک کننده از میان لایه ها به طرف پایین مکش می شود. رطوبت موجود در پودر روی تسمه (۷) حدود ۲۰-۱۲ درصد است که با توجه به نوع محصول متفاوت است. رطوبت پودر پس از عبور از این مرحله ۱۰-۸ درصد می شود. روند کاهش رطوبت محصول در دستیابی دقیق به درجه تراکم و تخلخل نهایی محصول (پودر شیر) بسیار مهم است. سومین و آخرین مرحله خشک کردن برای تهیه پودر از شیر پس چرخ و شیر کامل تغلیظ شده در دو محفظه ۹ و ۸ انجام می پذیرد.



شکل ۵ خشک کن پاششی سه مرحله ای با صافی فیلتر مات

در این محل هوای داغ با دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد از میان لایه های پودر و تسمه مکش می شود. پودر را در محفظه نهایی تا ۱۰ درجه سانتیگراد خنک می کنند. از محفظه (۸) برای موادی که به بلورین سازی (لاکتوز در آب پنیر) نیاز دارند، استفاده می شود. در این حالت هوا به دلیل داشتن بیشتر از ۱۰ درصد رطوبت به محفظه برگشت داده نمی شود و سومین مرحله خشک کردن در محفظه (۹) دنبال می شود، برای خنک کردن از محفظه (۱۰) استفاده می شود. در این فرایند مقدار کمی از ذرات کوچک پودر همراه با هوای خشک کننده و یا خنک کننده از محفظه خارج شده که در سیکلون (۱۲) از هوا جدا می شوند. این پودرها را به برج یا در قسمت مناسبی از فرایند، بسته به نوع محصول وارد می کنند. پودر خروجی از خشک کن بسته به نوع محصول با استفاده از الک (۱۵) یا آسیاب به اندازه لازم تبدیل می شود.

تولید پودر فوری

پودر شیری را که به سرعت و بدون نیاز به هم‌زدن در آب سرد حل شود پودر فوری شده^۱ می‌نامند. این نوع پودر با استفاده از فناوری خاصی تهیه می‌شود، در این حالت ذرات پودر شیر تحت فرایند خاصی قرار می‌گیرد تا خلل و فرج بیشتری داشته باشد. برای دستیابی به تخلل لازم در ذرات، ابتدا باید آن‌را تا مرحله‌ای که بیشترین آب موجود در منافذ و موئینه‌ها تبخیر شوند، تحت فرایند خشک‌کردن قرار داد در این حالت هوا جای رطوبت را می‌گیرد. سپس، مجدداً این ذرات را مرطوب می‌کنند که باعث تورم سریع سطح ذرات می‌شود و مسیر موئینه‌ها را مسدود می‌نماید و همچنین در اثر چسبناک شدن سطح ذرات آن‌ها به طور متراکم به هم می‌پیوندند.

یک روش دیگر تولید پودر فوری، گردش دادن دوباره ذرات شیر خشک به عقب است، یعنی وارد کردن آن به برج که حاوی هوای داغ و ذرات ریز شیر است. به محض ورود این ذرات به داخل برج، سطح آن‌ها با آب (تبخیری) مرطوب و متورم می‌شود که باعث انسداد موئینه‌ها و منافذ و چسبناک شدن سطح ذرات و تراکم و تخلل لازم برای تولید پودر شیر فوری فراهم می‌شود.

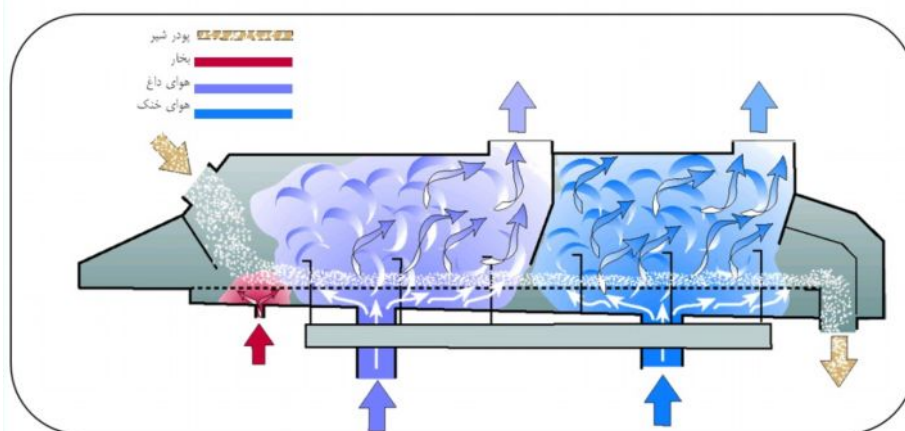
خشک‌کن با بستر سیال

با استفاده از بستر سیال، پودر فوری با کارایی بیشتری تولید می‌شود، (شکل ۶). بستر سیال را در پایین برج خشک‌کن قرار می‌دهند که شامل یک محفظه با سوراخ‌هایی در ته آن است. محفظه به وسیله یک موتور حالتی لرزان به خود می‌گیرد. وقتی که لایه پودر بر سطح منفذدار پخش می‌شود، لرزش دستگاه پودر را در امتداد طول مسیر به‌طور یکسان منتقل می‌کند.

پودر شیر پس از خروج از برج خشک‌کن وارد اولین بخش بستر سیال می‌شود که در این محل آن را با بخار رطوبت می‌دهند. لرزش پودر را به سمت بخش انتهایی دستگاه منتقل می‌کند و به تدریج جریان هوا از دما و رطوبت محصول می‌کاهد. با کاهش رطوبت و چسبیدن ذرات به هم تراکم لازم ایجاد می‌شود که در انتهای مسیر رطوبت محصول مقدار از قبل تعیین شده خواهد بود.

ذرات بزرگ‌تر را در خروجی بستر، با غربال جدا و مجدداً به ورودی مسیر هدایت می‌کنند. ذرات پودر فوری پس از عبور از الک با هوای خنک‌کننده به سیکلون مخروطی

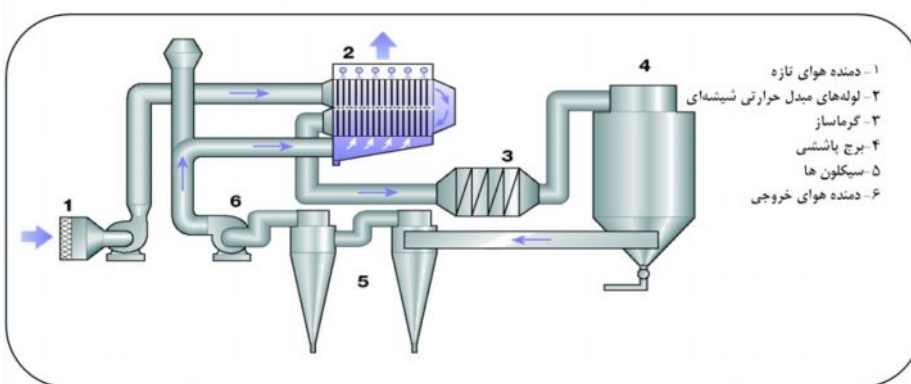
انتقال و پس از حذف هوا بسته‌بندی می‌شود. هوای داغ بستر سیال همراه با هوای برج پاششی برای بازیافت ذرات شیر به داخل سیکلون دمیده می‌شود.



شکل ۶ بستر سیال برای تولید پودر شیر فوری

بازیافت حرارت

مقدار زیادی از حرارت در فرایند خشک کردن از دست می‌رود. قسمتی از آن را می‌توان در مبدل‌های حرارتی بازیافت نمود، اما این هوای داغ معمولاً دارای غبار و بخار است بنابراین، باید برای آن مبدل خاصی طراحی شود. در مواردی از یک نوع مبدل حرارتی ویژه با لوله‌های شیشه‌ای استفاده شده است (شکل ۷). سطح صاف شیشه به طور گسترده‌ای از ته‌نشست ذرات جلوگیری می‌کند. یک سیستم شستشو درجا (CIP) نیز در این واحد کار گذاشته شده است.



شکل ۷ بازیافت حرارتی از هوای خروجی از خشک‌کن پاششی

هوای داغ خروجی از خشک‌کن پاششی از سمت پایین و با فشار درون لوله‌های شیشه‌ای هدایت می‌شود. هوای تازه که قرار است گرم شود از بیرون این لوله‌ها جریان می‌یابد. با این روش می‌توان ۳۰-۲۵ درصد حرارت را بازیافت نمود. یک روش دیگر برای بازیافت حرارت، استفاده از دمای مایع کندانس شده در تبخیرکننده‌هاست. این واحد به طور موازی با واحد خشک‌کن پاششی عمل می‌نماید. این راه حل برای کاهش ۸-۵ درصدی هزینه خشک‌کردن موثر است.

کاربردهای مختلف پودر شیر

- از شیر خشک برای مصارف گوناگونی استفاده می‌شود مانند:
- تولید شیر بازساخته،
 - افزودن به خمیر در صنعت نانوائی برای افزایش حجم نان و ارتقای ظرفیت پیوندهای آبی (جلوگیری از بیات شدن سریع)،
 - افزودن به خمیر ماکارونی برای افزایش تردی در محصول،
 - جانشین تخم مرغ در فرمولاسیون نان و ماکارونی،
 - تولید شیر شکلات در صنایع شکلات‌سازی،
 - تولید سوسیس و انواع مختلف غذاهای پخته و آماده مصرف در صنایع غذایی،
 - جانشینی برای شیر مادر در غذای کودک،
 - تولید بستنی،
 - تولید خوراک دام.

پودر شیر پس چرخ

پودر شیر پس چرخ به مراتب مصرف بیشتری در مقایسه با انواع پودرها دارد. هر زمینه از مصرف ویژگی‌های خاصی از پودر شیر طلب می‌کند. برای مثال، اگر قرار است از پودر شیر برای تولید شیر باز ساخته^۱ برای مصارف انسانی استفاده شود، این پودر باید قابلیت حلالیت بالایی داشته و مزه و ارزش غذایی لازم را در خود حفظ کرده باشد. درجات کمی از کاراملیزه شدن لاکتوز در پودر شیر، آن را برای مصرف فراورده‌های شکلات سودمند خواهد کرد. برای حالت اول، خشک‌کردن ملایم محصول در یک برج پاششی ضروری است، در حالی‌که برای

حالت دوم می‌توان محصول را با عملیات حرارتی شدیدتر مثلاً در یک خشک‌کن استوانه غلتکی خشک نمود.

بنابراین دو نوع پودر ناشی از خشک کردن شیر به‌دست می‌آید:

- پودر به‌دست آمده از خشک‌کن غلتکی،

- پودر به‌دست آمده از خشک‌کن پاششی.

حلالیت مجدد پودر تولید شده با روش پاششی بسیار خوب است و در مقابل این ویژگی در پودر خشک شده با روش استوانه غلتکی ضعیف است. علت آن بکارگیری عملیات حرارتی شدیدتر در خشک‌کن استوانه غلتکی است.

نوع و شدت عملیات حرارتی به کار رفته در تولید پودر شیر یکی از معیارهای دسته‌بندی آن است. عملیات حرارتی باعث تغییر ماهیت (دنا توره شدن) پروتئین‌های سرمی شده که با افزایش دما به درصد دناتوراسیون پروتئین‌ها افزوده می‌شود. درجه دناتوراسیون با شاخص ازت پروتئین آب پنیر^۱ بر حسب میلی‌گرم پروتئین دناتوره به ازای هر گرم پودر بیان می‌شود. اطلاعات در مورد انواع پودر شیر پس‌چرخ در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ دسته بندی پودر شیر پس چرخ (خشک شده به روش پاششی)

نوع پودر بر اساس شدت حرارت	دما (درجه سانتیگراد) / زمان (ثانیه)	WPNI(mg/g u.w-p)
حرارت فوق‌العاده کم	کمتر از ۷۰ درجه سانتیگراد در زمان بیشتر از ۳۰ ثانیه	غیر قابل اندازه‌گیری
پودر حرارت پایین	۷۰ درجه سانتیگراد در ۱۵ ثانیه	کمتر از ۶
پودر حرارت متوسط	۸۵ درجه سانتیگراد در ۲۰ ثانیه	۵-۶
پودر حرارت متوسط	۹۰ درجه سانتیگراد در ۳۰ ثانیه	۴-۵
پودر حرارت متوسط	۹۵ درجه سانتیگراد در ۳۰ ثانیه	۳-۴
حرارت نسبتاً بالا	۱۲۴ درجه سانتیگراد در ۳۰ ثانیه	۱/۵-۲
حرارت بالا	حدود ۱۳۵ درجه سانتیگراد در ۳۰ ثانیه	بیشتر از ۱/۴
حرارت بالا/ شیر با ثبات بالا	حدود ۱۳۵ درجه سانتیگراد در ۳۰ ثانیه	بیشتر از ۱/۴

پودر شیر کامل

پودر شیر کامل (خشک شده به طریقه پاششی) معمولاً از شیر با چربی استاندارد شده تهیه می‌شود. برخی معتقدند هموژن کردن چربی در این عملیات ضرورت ندارد و فقط باید

شیر به حد کافی هم‌زده شود و احتیاط لازم صورت گیرد تا هوا داخل شیر نشود. در مواقعی که هدف تولید شیر کامل فوری^۱ باشد، پس از مرحله تغلیظ، هموژن کردن هم انجام می‌گیرد. معمولاً در تولید پودر شیر به روش غلتکی شیر هموژن می‌شود.

به دلیل محدودیت مصرف پودر شیر کامل در صنایع غذایی آن را مانند پودر شیر پس چرخ دسته‌بندی نمی‌کنند. شیری که برای تولید پودر شیر کامل به کار برده می‌شود باید در دمای ۸۵-۸۰ درجه سانتیگراد پاستوریزه شود. هدف از این کار غیر فعال کردن آنزیم‌های لیپولیتیک است تا در زمان نگهداری چربی موجود در پودر شیر فاسد نشود. روش ویژه‌ای برای تولید پودر شیر پس چرخ و پودر شیر کامل که حلالیت بسیار خوبی دارند و به نام پودر فوری^۲ شناخته شده‌اند در دسترس است. این پودر دانه‌بندی درشت‌تری دارد و حلالیت بیشتری در مقایسه با پودر تولید شده با روش پاششی داشته و به محض قرارگرفتن در آب (حتی آب سرد) کاملاً حل می‌شود.

چگالی پودر شیر و عوامل مؤثر بر آن

پودر شیر یکی از رایج‌ترین کالاهای تجاری در جهان است که اغلب با کشتی به مسافت‌های دور حمل می‌شود. در این حالت داشتن وزن حجمی^۳ بالا برای محصول در راستای کاهش حجم، یک برتری است، زیرا در بیشتر موارد هزینه‌های حمل و نقل را براساس حجم محموله محاسبه می‌نمایند. وزن حجمی بالا، کار بسته‌بندی را ساده‌تر می‌نماید. با وجود این بعضی از تولیدکنندگان اصرار دارند تا وزن حجمی محصول خود را پایین نگه‌دارند، زیرا معتقدند حجم محصول آن‌ها را، بیشتر از محصول مشابه تولیدکنندگان رقیب به نظر می‌رساند. وزن حجمی پایین ناشی از انباشتگی خاص (آگلومره شدن) ذرات پودر شیر است و از ویژگی‌های مهم پودر فوری محسوب می‌شود.

عوامل مؤثر بر وزن حجمی

وزن حجمی وزن واحد حجم پودر شیر است که در عمل آن را به صورت‌های زیر بیان می‌نمایند:

-
1. Instant whole milk
 2. Instant powder
 3. high bulk density

وزن کاملاً خشک (آون گذاری شده) محصول تقسیم بر حجم، که به صورت گرم در میلی لیتر یا گرم در لیتر بیان می شود.

وزن حجمی پودر شیر یک ویژگی بسیار پیچیده است که تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله چگالی مواد سازنده پودر، چگالی مقدار هوای محبوس شده در داخل ذرات و مقدار هوای بین ذرات قرار دارد.

چگالی مواد سازنده پودر با ترکیبات پودر تعیین می شود و وابسته به محتوا و چگالی تک تک ترکیبات است که بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{100}{\frac{\%A}{D_A} + \frac{\%B}{D_B} + \frac{\%C}{D_C} + \dots + \%H}$$

در این رابطه %A ، %B ، %C ، درصد ترکیبات، D چگالی هر ترکیب، H درصد رطوبت کل است.

- معمولاً ۱۰ تا ۳۰ میلی لیتر هوای محبوس شده در هر ۱۰۰ لیتر پودر شیر وجود دارد. عوامل متعددی در ورود هوا به داخل ذرات پودر تاثیر دارند. تعدادی از این عوامل عبارتند از:
 - رخنه هوا به داخل محصول پس از مرحله عبور آن از درون تبخیرکننده (البته در این مرحله هوای داخل شده به محصول در شرایط خلأ خارج می شود) و در مرحله انتقال به خشک کن پاششی از طریق منافذ لوله ها و... انجام می گیرد.
 - نوع سیستم انتخاب شده برای پاشش مایع تغلیظ شده به داخل خشک کن، ممکن است سبب ورود هوا شود.
 - مقدار هوای آمیخته در محصول، فقط به عمل زدن^۱ در قبل یا بعد از ذره ای شدن^۲ در سیستم وابسته نیست، بلکه به خواص خود ماده مثلاً توانایی آن به ایجاد کف نیز بستگی دارد. این خواص بیشتر تحت تاثیر مقدار و کیفیت پروتئین های موجود در محصول و عوامل ممانعت کننده از "زدن" قرار دارد. مواد تغلیظ شده ای که حاوی چربی هستند، در مقایسه با شیر پس چرخ خیلی کمتر مستعد کف کردن اند. در ادامه، عوامل موثر در خواص کفزایی شیر پس چرخ در فرایند خشک کردن شرح داده خواهد شد.
 - پروتئین های دناتوره نشده سرمی (آب پنیر) تمایل زیادی به ایجاد کف دارند، این خاصیت را می توان با استفاده از عملیات حرارتی کاهش داد.

- محصولات تغلیظ‌شده با مقدار ماده جامد کل کم، در مقایسه با مواد تغلیظ‌شده با ماده جامد کل زیاد، کف بیشتری ایجاد می‌کنند.
- مواد غلیظ سرد (شیری) در مقایسه با مواد گرم بیشتر و سریع‌تر "زده" می‌شوند و در نتیجه کف بیشتری را ایجاد می‌کنند.
- مقدار هوای بین ذرات، ممکن است به حدود ۱۲۷ میلی لیتر در هر ۱۰۰ گرم از پودر برسد. این خاصیت بسیار پیچیده است و به اندازه ذرات پخش شده و درجه انباشتگی آن‌ها بستگی دارد.

بسته‌بندی پودر شیر و تغییرات آن در انبار

اندازه بسته‌بندی‌ها در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است. اغلب پودر شیرها در کیسه‌های چندلایه با لایه داخلی از جنس پلی اتیلن بسته‌بندی می‌شود. استفاده از کیسه‌های چند لایه پلی اتیلنی بدون درز و بشکه فلزی^۱ که در مقابل نفوذ هوا مقاوم هستند رایج‌تر است. اندازه وزن برای کیسه‌ها ۲۵-۱۵ کیلوگرم است. هر چند متناسب با تقاضای مصرف‌کننده بسته‌بندی‌های دیگری نیز وجود دارد. پودر شیر را برای مصارف خانگی و مصرف در مقیاس‌های کوچک در داخل قوطی‌های فلزی بسته‌بندی می‌نمایند. بسته‌های کیسه‌ای چندلایه یا پلاستیکی را برای نقل و انتقال در داخل کارتن مقوایی قرار می‌دهند. گاهی اوقات از بسته‌بندی‌های بسیار حجیم^۲ با اوزان ۱۰۰۰-۵۰۰ کیلوگرمی برای مصارف صنعتی نیز استفاده می‌شود.

چربی پودر شیر کامل در هنگام انبارمانی در معرض اکسیداسیون قرار دارد. در مقیاس صنعتی می‌توان ماندگاری را با فرایندهای مقدماتی شیر، افزودن آنتی‌اکسیدان و پرکردن محفظه بسته‌بندی با گاز بی‌اثر افزایش داد. پودر شیر باید در شرایط خنک و به دور از رطوبت نگهداری شود. تمام واکنش‌های شیمیایی که در پودر شیر در دمای اتاق و رطوبت پایین (فعالیت آبی کم) به وقوع می‌پیوندد، بسیار کند هستند، بنابراین، حتی پس از سال‌ها انبارمانی نمی‌توانند در ارزش غذایی آن تاثیر چندانی پدید آورند.

1. Sheet-metal drums

2. Big bag

حلالیت پودر شیر و عوامل موثر بر آن

معمولاً برای حل کردن یک قسمت از پودر شیر خشک تهیه شده با روش پاششی آن را حدوداً با ده قسمت آب در دمای ۵۰-۳۰ درجه سانتیگراد مخلوط می‌نمایند. زمان انحلال تقریباً ۲۰-۳۰ دقیقه طول می‌کشد. برای دماهای پایین‌تر زمان بیشتری لازم است. مثلاً حل کردن پودر شیر در آب سرد به ۱۲-۸ ساعت زمان نیاز دارد. برای حل کردن پودر فوری ابتدا به مقدار لازم آب داخل مخزن می‌ریزند و سپس پودر را به آن اضافه می‌نمایند. پودر در زمان بسیار کوتاهی پس از تکان دادن ملایم حتی در آب سرد به خوبی حل شده و آماده مصرف است. متأسفانه در اغلب موارد استاندارد کیفی آب برای حل کردن پودر شیر در نظر گرفته نمی‌شود، در حالی که کیفیت آب عامل مهمی برای حل شدن پودر است. آب یکی از اصلی‌ترین مواد در ساختار انواع فراورده‌هاست. آب باید کیفیت مناسبی داشته و عاری از میکروارگانیسم‌های مضر باشد، سختی آب بر اساس مقدار کربنات کلسیم باید کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. باید توجه داشت که در ضمن فرایند تولید پودر شیر فقط آب مقطر به صورت بخار از محصول حذف می‌شود. بنابراین، آب به کار رفته برای بازترکیب یا بازساخت شیر، باید خالص باشد. وجود بیش از اندازه مواد معدنی، تعادل نمک‌ها را در محصول بازترکیب یا بازساخت به مخاطره می‌اندازد. این عدم تعادل در انجام فرایند پاستوریزاسیون مشکل ایجاد می‌نماید.

حضور مقدار زیاد مس یا آهن در آب مصرفی باعث بروز تغییر طعم ناشی از اکسیداسیون چربی می‌شود. حداکثر مقدار مجاز این عناصر در آب مصرفی عبارتند از:

- مس ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر،

- آهن ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر.

از عوامل موثر در حل شدن پودر شیر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- رطوبت‌پذیری،^۱

- قابلیت تعلیق در آب،^۲

- قابلیت پخش شدن در محیط آب،^۳

- قابلیت انحلال.^۴

1. Wettability

2. Ability to Sink

3. Dispersability

4. Solubility

رطوبت پذیری

درجه رطوبت‌پذیری عاملی است که به طور عمده به حجم ذرات و مخصوصاً به خاصیت موینگی آن‌ها بستگی دارد. پودرهای انباشته (آگلومره) دارای خواص موینگی ارتقا داده شده‌اند، در نتیجه رطوبت‌پذیری بالایی نیز دارند. افزایش اندازه ذرات (۱۳۰-۱۵۰ میکرون) نیز باعث ارتقای رطوبت‌پذیری آن‌ها می‌شود. رطوبت‌پذیری خوب در کمتر از ۳۰ ثانیه روی می‌دهد.

قابلیت تعلیق

توانایی تعلیق عاملی است که به حجم مخصوص و اندازه ذرات بستگی دارد. معمولاً پودر انباشته بهترین توانایی تعلیق را دارد.

قابلیت پخش شدن

قابلیت پخش شدن و توزیع مناسب پودر در هنگام افزودن به آب به قابلیت پخش هریک از ذرات نه مجموعه ذرات یا توده‌ها بستگی دارد. ساختمان ذرات پودر و همچنین شکل فضایی مولکول‌های پروتئین در قابلیت توزیع مناسب بسیار مهم است. پودرهای با مقدار بالای پروتئین‌های دناتوره در پخش شدن بسیار مشکل خواهند داشت. معمولاً حداقل ۹۰ درصد پودر شیر در حین بازسازی باید در آب پخش شود.

حلالیت

حلالیت، حل شدن پودر در حلال و دستیابی به یک سوسپانسیون پایدار بیان شده است. میزان حلالیت پودر به فناوری تولید پودر بستگی دارد. حلالیت مناسب موقعی است که مواد نامحلول کمتر از ۰/۲۵ میلی گرم در ۵۰ میلی لیتر شیر باز ساخته باشد.

نمونه سؤالات این فصل

۱. دو روش خشک کردن شیر با دستگاه را نام ببرید؟
۲. انواع ذره پاش ها را نام ببرید؟
۳. پودر فوری به چه معناست؟
۴. در تولید شیر بازساخته وجود مقدار زیاد چه عناصری در آب باعث بروز تغییر طعم ناشی از اکسیداسیون می شود؟

فصل دهم

تولید فراورده‌های حاصل از چربی شیر

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با روش‌های تولید کره،
- آشنایی با انواع خامه،
- آشنایی با روغن کره،
- دستگاه‌های تولیدکننده کره و خامه،
- محاسبه بازده کره،
- روش‌های ارتقای کیفیت کره،
- بسته‌بندی و کنترل کیفی فراورده‌های چرب.

خامه و کره بخش مهمی از فراورده‌های لبنی را تشکیل می‌دهند. به دلیل کاربرد گسترده چربی کره در صنایع غذایی و ارزش افزوده بیشتر آن‌ها در مقایسه با سایر محصولات، تولید این فراورده‌ها از اهداف اصلی هر واحد لبنی است. چربی شیر از نظر ترکیب شیمیایی و خواص تغذیه‌ای وابسته به غذای دام و تحت تاثیر فصول مختلف سال قرار دارد. ارزش غذایی چربی شیر و نقش آن در تغذیه و تامین انرژی کودکان، تولید فراورده‌های چرب را برای این قشر از مصرف‌کنندگان هدفمند ساخته است. چربی شیر در فرمولاسیون فراورده‌های مختلف غذایی نقش بسیار مهمی دارد، آن‌ها بافتی منسجم‌تر، نرم‌تر و با قابلیت‌های رئولوژیکی مطلوب در محصول ایجاد می‌کند که چربی‌های گیاهی این ویژگی را ندارند. ایجاد امولسیون‌های پایدار، ایجاد پیوندهای مناسب با اجزای غذا، افزایش شفافیت رنگ سطوح مواد غذایی نشان‌دهنده تازگی محصول است و از خواص مهم در بکارگیری چربی شیر در تولید مواد غذایی مختلف است.

خامه

خامه^۱ نام دسته بزرگی از فراورده‌های چربی شیر است که به صورت امولسیون چربی در آب است. در این محصول مانند شیر، آب فاز پیوسته و چربی فاز منتشر یا پراکنده است. مقداری از پروتئین‌های شیر، املاح و ویتامین‌ها همراه چربی در فاز آبی قرار می‌گیرند. خامه‌ای که برای فروش به مصرف‌کننده تولید می‌شود ممکن است با درصدهای مختلف چربی تهیه شود. خامه با محتوای چربی ۱۸ - ۱۰ درصد اغلب به نام خامه نیم چرب^۲ یا خامه قهوه^۳ معروف است و برای دسر و آشپزی استفاده می‌شود. خامه با چربی بالاتر (۴۰ - ۳۵ درصد) به‌طور قابل ملاحظه‌ای غلیظ‌تر است. این نوع خامه را در دستگاه عمل می‌آورند و آن را خامه زدنی^۴ می‌نامند. معمولاً کاربرد این نوع خامه در آشپزی و شیرینی‌سازی است.

-
1. Cream
 2. Half cream
 3. Coffee cream
 4. Whipping cream

خامه زدنی

خامه زدنی علاوه بر داشتن مزه مناسب و بافت خوب باید تحمل عملیات زدن^۱ را داشته باشد. به بیانی دیگر، خامه زدنی باید به راحتی آماده پذیرش ادامه عملیات عمل‌آوری باشد و همراه با افزایش حجم مناسب^۲ تولید کف خامه‌ای نرم را بنماید. کف باید پایدار و با ثبات باشد و آب نیندازد. توانایی پذیرش عملیات عمل‌آوری مناسب، به محتوای بالای درصد چربی خامه بستگی دارد. معمولاً خامه زدنی با محتوای ۴۰ درصد چربی، قابلیت پذیرش عملیات عمل‌آوری را دارد. این ویژگی با کاهش درصد چربی به زیر ۳۰ درصد، افت می‌نماید. تولید خامه زدنی با درصد چربی پایین‌تر (حدود ۲۴ درصد) با استفاده از افزودنی‌های خاص مانند لیستین ممکن است.

در حین عملیات تولید خامه زدنی باید مراقبت شود تا هوا به داخل آن وارد نشود. وجود هوا باعث ایجاد کف و عدم تثبیت بافت خامه می‌شود. اگر خامه بیش از حد لازم تحت اثر عملیات مکانیکی قرار گیرد خصوصاً هنگامی که خامه در حال عبور از واحد خنک‌کننده می‌باشد، ممکن است غشای گویچه‌های چربی آسیب ببیند و در اثر امتزاج چربی‌ها، حالت کلوخه‌ای در خامه ایجاد شود، اگر چنین خامه‌ای بسته‌بندی شود رویه سفتی در آن تشکیل خواهد شد که حالتی زبر و چسبناک دارد. به‌طور کلی، رفتار خشن با بافت خامه که به آثار همورثی موسوم است به‌طور وسیعی به خواص و کیفیت خامه زدنی آسیب وارد می‌سازد.

ورود عمده هوا در ضمن فرایند به داخل خامه باعث تولید کف و حباب‌های کوچک هوا می‌شود که پس از آن گویچه‌های چربی به دور دیواره این حبابچه‌ها جمع می‌شوند و حالتی کلوخه‌ای در خامه زدنی ایجاد می‌نمایند. عملیات مکانیکی شدید غشای گویچه‌های چربی را تخریب می‌کند و مقداری از چربی را به صورت مایع در می‌آورد و این چربی مایع نیز باعث چسبیدن گویچه‌های چربی به هم می‌شود.

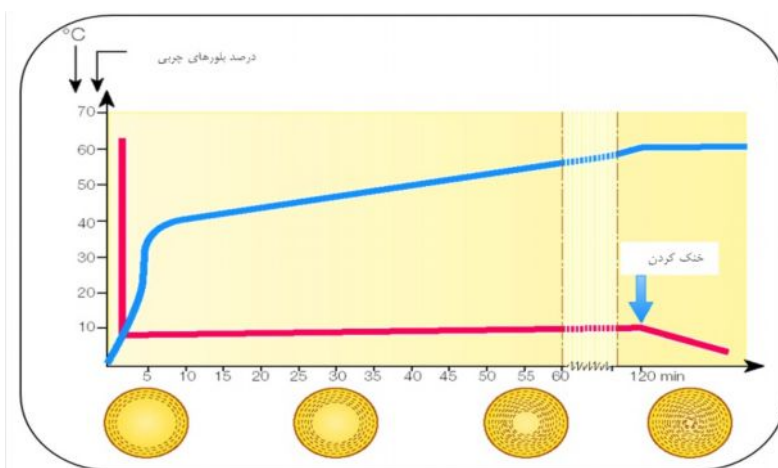
ترکیب متناسب گویچه‌ها از چربی مایع و بلورهای چربی سبب پایداری کف می‌شود. خامه گرم به علت داشتن مقدار زیادی چربی مایع برای تولید خامه زدنی بسیار نامناسب است. خامه زدنی را باید در دمای پایین (۶ - ۴ درجه سانتیگراد) و به مدت نسبتاً طولانی (۱۶-۸ ساعت) برای تشکیل بلورهای مناسب چربی نگهداری نمود. این مدت را زمان رسیدن^۳ می‌نامند. معمولاً خامه را در مخازن دوجداره مجهز به تیغه تراشنده به عمل

1. Whippability

2. Overrun

3. Ripening time

می‌آورند. چون در هنگام تبلور چربی، مقداری گرما آزاد می‌شود، از این رو باید خنک کردن از حدود دو ساعت پس از پرشدن مخزن شروع شود، زیرا در این مرحله گویچه‌های چربی بسیار حساس بوده و به آسانی شکسته می‌شوند. با شکسته شدن گویچه‌های چربی و افزایش مقدار چربی آزاد، بروز حالت کلوخه ای در محصول نهایی حتمی است. در هنگام خنک کردن، عملیات هم‌زدن باید با ملایمت زیاد انجام پذیرد. نمودار ۱، فرایند بلورین شدن خامه ۴۰ درصد را نشان می‌دهد. در تابستان به‌علت نرم بودن چربی (در مقایسه با زمستان) می‌توان از دمای پایین‌تری استفاده نمود.



نمودار ۱ نمودار فرایند تبلور خامه ۴۰ درصد در دمای ۸ درجه سانتیگراد

روش "زدن"

بهترین نتیجه از "زدن" خامه وقتی به‌دست می‌آید که دمای خامه زیر ۶ درجه سانتیگراد باشد. ظرف مخصوص "زدن" خامه و دیگر ملزومات باید از نظر تناسب با هم هماهنگ و "زدن" تا حد ممکن با سرعت باشد. باید در نظر داشت که در هنگام "زدن" دما به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد و باعث تولید کف نامرغوب و حتی در شرایط نامساعدتر منجر به تشکیل کرمه می‌شود، بنابراین باید از رخداد آن پرهیز نمود.

با آزمایش ساده می‌توان از مدت زمان زدن^۱ و افزایش حجم برای کنترل خواص خامه زدن^۲ استفاده کرد برای این منظور یک ظرف مناسب "زدن"، (با حجم ۱ لیتر) و ابزار مربوط

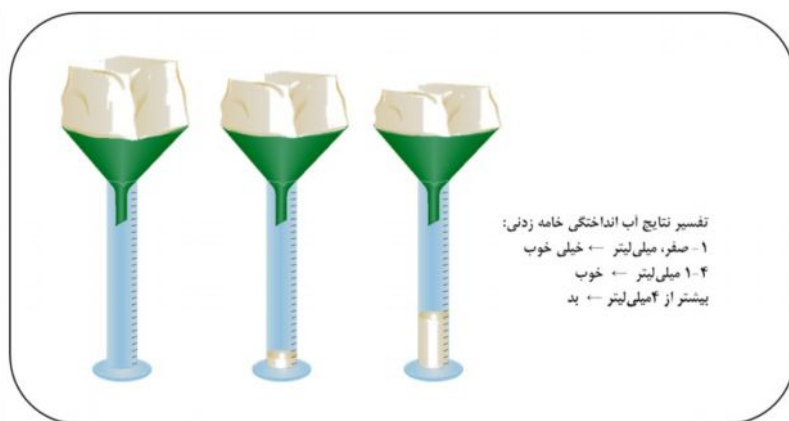
(ترجیحاً یک همزن الکتریکی) لازم است. ۲۰۰ میلی‌لیتر از خامه خنک شده تا 1 ± 6 درجه سانتیگراد را داخل ظرف می‌ریزند. ارتفاع خامه در ظرف قبل از "زدن" اندازه‌گیری می‌شود سپس همزن را به کار می‌اندازند. هنگامی که پایداری کف تولید شده در ظرف کافی باشد همزن را متوقف می‌نمایند. معمولاً زمان لازم برای زدن با یک متوقف کننده هوشمند^۱ کنترل می‌شود. ارتفاع خامه پس از افزایش حجم اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال اگر ارتفاع خامه در ابتدا ۵ سانتیمتر و پس از زدن به ۱۰/۵ سانتیمتر افزایش یابد درصد افزایش حجم برابر است با:

$$\frac{(10.5 - 5) \times 100}{5} = 110 \%$$

خامه ۴۰ درصد در زمان زدن به مدت تقریباً ۲ دقیقه حدود ۱۳۰-۱۰۰ درصد افزایش حجم خواهد داشت.

کیفیت توده کف در خامه زده شده با اندازه‌گیری خروج مایع از توده خامه در شرایط نگهداری به مدت ۲ ساعت در دمای (۲۰-۱۸) درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد در قیف مخصوص مشخص می‌شود، (شکل ۱).

در این آزمایش بلافاصله پس از عملیات زدن و اندازه‌گیری درصد افزایش حجم، تمام خامه زده را در داخل یک ظرف فلزی مشبک می‌ریزند و آن را روی یک قیف با اندازه مناسب قرار می‌دهند، ته قیف را برای اندازه‌گیری مقدار مایع خروجی در داخل یک استوانه مدرج قرار می‌دهند. مقدار مایع جمع شده در ظرف پس از ۲ ساعت نگهداری در دما و رطوبت بیان شده بررسی و تفسیر می‌گردد.



شکل ۱ آزمایش کیفیت خامه زدنی با بررسی مقدار آب‌انداختگی

خط تولید خامه زدنی (به روش اسکانیا)^۱

مراحل فرایند در تولید خامه زدنی شامل حرارت دادن شیر کامل تا دمای خامه‌گیری (۶۴-۶۲ درجه سانتیگراد)، خامه‌گیری با سپراتور، استاندارد کردن چربی خامه، پاستوریزاسیون و خنک کردن خامه در تبادل‌کننده‌های حرارتی صفحه‌ای و سپس ورود پیوسته آن به داخل مخزن فرایندکننده است.

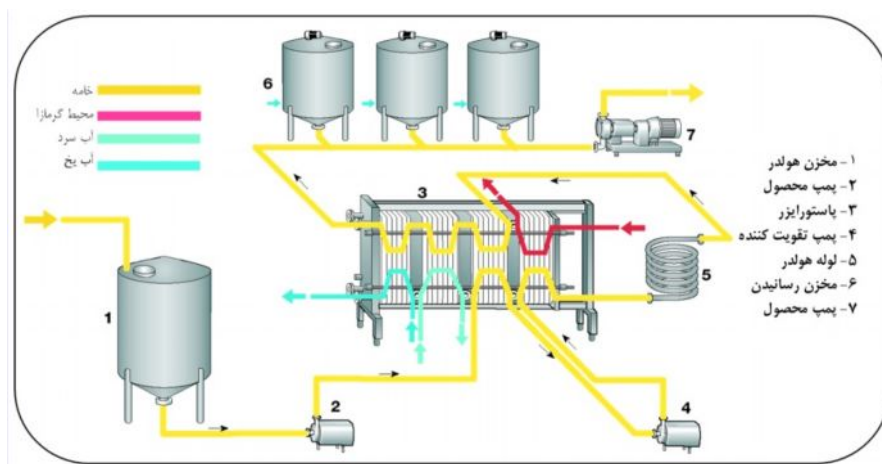
فراوری خامه با درصد چربی بالا، چندین مشکل دارد که باید در طراحی خط تولید به آن توجه شود. جدی‌ترین مشکل، اجتناب از ایجاد نیروهای برشی، و تلاطم و غلیان در زمان تبلور^۲ چربی است. چربی در دمای بالا به صورت مایع در گویچه‌های چربی قرار می‌گیرد. گویچه‌های چربی تحمل دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد را ندارند. چربی به محض خنک شدن خامه، شروع به بلور شدن می‌کند این عمل فرایندی کند و آهسته دارد که به طور پیوسته بیشتر از چهار تا پنج ساعت طول می‌کشد. بلورهای چربی، حجم مخصوص کمتری در مقایسه با چربی مایع دارند. بنابراین، یک نیروی انبساطی در گویچه چربی در هنگام بلور شدن ایجاد و باعث می‌شود که گویچه چربی نسبت به عملیات شدید در دمای ۴۰-۱۰ درجه سانتیگراد بسیار حساس شود.

تا هنگامی که مخزن فرایندکننده خامه زدنی در حال پر شدن است نباید خامه هم‌زده شود. هم‌زدن و خنک کردن تقریباً دو ساعت پس از اینکه مخزن کاملاً پر شد شروع می‌شود. فرایند بلور شدن خامه ۴۰ درصد که تا دمای ۸ درجه سانتیگراد خنک شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

بلور شدن چربی گرمای نهان ذوب آن را آزاد می‌کند و این امر دمای محصول را تقریباً ۲-۳ درجه سانتیگراد افزایش می‌دهد. بنابراین، خنک کردن خامه در مخزن فرایندکننده بسیار اساسی است. در این مخزن خامه به طور معمول تا دمای ۶ درجه سانتیگراد یا کمتر خنک می‌شود. به نظر می‌رسد که گویچه‌های چربی در این دما حساسیت کمتری به عملیات شدید از خود نشان می‌دهند اما هنوز هم اگر آن‌ها در دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد قرار داده شوند، بسیار حساس خواهند بود.

1. Scania

2. Crystallization



شکل ۲ فرایند تولید خامه زدنی با روش اسکانیا

بزرگ‌ترین مشکل در فرایند خامه زدنی تشکیل کلوخه^۱ است که باعث کاهش ثبات امولسیون خامه می‌شود. کلوخه‌ای شدن هنگامی بروز می‌نماید که گویچه‌های چربی در مرحله نیمه‌بلوری قرار دارند. در این حالت غشای چربی ضعیف است و اگر این گویچه‌ها در معرض عملیات شدید مکانیکی قرار گیرند با کاهش پایداری امولسیون خامه باعث بروز نواقصی مانند رویه بستن خامه، کاهش قابلیت زدن و لیپولیز چربی می‌شوند.

در شکل ۲ فرایند تولید خامه زدنی که در آن عملیات مکانیکی شدید حذف شده نشان داده شده است. این روش با نام تجاری اسکانیا معروف است. در این سیستم خامه استاندارد از خط تولید خامه یا از خامه مازاد خط تولید شیر فروشگاهی، وارد سیستم می‌شود. در هر حالت نباید دمای خامه‌گیری از ۶۴-۶۲ درجه سانتیگراد بالاتر باشد، تا بتوان بالاترین کیفیت ممکن را برای خامه با مقدار چربی آزاد کمتر، تضمین نمود.

خامه استاندارد از بالا به مخزن هولدِر^۲ (۱) وارد می‌شود، زمان معمول توقف در هولدِر ۳۰-۱۵ دقیقه قبل از شروع پاستوریزاسیون است. سرعت جریان در پاستوریزاتور باید بسیار دقیق محاسبه شود و با سرعت متوسط ورودی به مخزن هولدِر تطبیق داشته باشد. این عمل یک جریان ضعیف در خامه داخل مخزن هولدِر ایجاد می‌کند که حداقل هم‌زدن مکانیکی خامه را به همراه دارد.

1. Cluster

2. Holding tank

مخزن هولدر همزن ندارد و در اینجا تقریباً ۵۰ درصد محتوای هوای موجود در خامه و همچنین بوهای نامطبوع فرار، حذف می‌شوند و خطر سوختگی در پاستوریزاتور نیز کاهش می‌یابد. نگهداری خامه در هولدر در دمای تقریباً ۶۳ درجه سانتیگراد باعث غیرفعال شدن بخش اعظم آنزیم لیپاز و توقف هیدرولیز چربی آزاد می‌شود. حداکثر زمان هولدر با در نظر گرفتن زمان پر و خالی شدن مخزن، تقریباً چهار ساعت است. برای تولید بیشتر باید دو مخزن هولدر در سیستم وجود داشته باشد تا همواره به تناوب یکی در حال شستشو و دیگری در حال کار کردن باشد.

خامه از مخزن هولدر به یک واحد بازیافت حرارتی در داخل تبادل کننده حرارتی (۳) پمپ می‌شود. پس از آن پمپ تقویت کننده (۴) خامه را از میان واحد پاستوریزاتور و لوله هولدر (۵) عبور می‌دهد. با توجه به اینکه پمپ کردن و جابه‌جایی خامه در دمای بالای ۶۰ درجه سانتیگراد انجام می‌پذیرد در این شرایط چربی خامه حساسیت کمتری به عملیات مکانیکی دارد. بهتر است پمپ محصول (۲) و پمپ تقویت کننده (۴) از نوع پمپ سانتریفوژی انتخاب شود.

خامه پس از پاستوریزاسیون (در دمای ۹۵-۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ ثانیه) به بخش خنک کننده در تبادل کننده حرارتی هدایت می‌شود و در آنجا تا دمای ۸ درجه سانتیگراد خنک شده، سپس به طور پیوسته به مخازن رسیدن^۱ وارد می‌شود. خنک کردن در تبادل کننده حرارتی تا دمای ۸ درجه سانتیگراد برای خامه با چربی ۴۰-۳۵ درصد مناسب به نظر می‌رسد. در صورتی که درصد چربی خامه از مقدار یاد شده بالاتر باشد باید خنک کردن را تا دمای ۱۳-۱۰ درجه سانتیگراد ادامه داد، کاهش بیشتر دما باعث افزایش ویسکوزیته و مسدود شدن مسیر واحد خنک کننده می‌شود. در اثر این امر ممکن است افت فشار شدیدی در بخش خنک کننده دستگاه ایجاد شده که سبب آسیب دیدن غشای گویچه‌های چربی و در نتیجه تراوش روغن کره^۲ از خامه می‌شود. در این صورت فرایند باید متوقف شود و سیستم تخلیه، تمیز و مجدداً راه اندازی شود.

به دلیل بی‌ثباتی گویچه‌های چربی تازه خنک شده، باید از بروز رفتار برشی و تلاطم در خامه زده شده در هنگام انتقال از قسمت خنک کننده به مخزن تبلور اجتناب گردد (اندازه لوله‌های انتقال دهنده بزرگ و مناسب باشد). برای ایجاد فشار لازم برای انتقال، از پمپ تقویت کننده استفاده می‌شود.

1. Ripening tanks

2. Butter oil

خامه زده پس از انجام عمل رسیدن، به کمک پمپ به ماشین بسته‌بندی منتقل می‌شود. در این حالت دمای فراورده پایین و بخش اعظم چربی به صورت متبلور است. این شکل از محصول حساسیت کمتری به عملیات مکانیکی دارد، بنابراین می‌توان از پمپ سانتریفوژی در فشار پایین (بالاتر از ۱/۲ بار) استفاده نمود. محور چرخنده این پمپ‌ها می‌تواند با ۲۵۰-۳۰۰ دور در دقیقه حرکت کند. تجهیز سیستم به فشارسنج اخطاردهنده خودکار برای کنترل شرایط فشار بسیار مفید است.

خامه نیم‌چرب و خامه قهوه

خامه با محتوای ۱۸-۱۰ درصد چربی را خامه نیم‌چرب یا خامه قهوه^۱ می‌نامند. در شکل ۴ خط فرایند تولید خامه نیم‌چرب نشان داده شده است. شیر فرایند نشده از درون مخزن ذخیره به تبادل‌کننده حرارتی منتقل شده و در قسمت بازیافت حرارتی دمای آن ۶۲-۶۴ درجه سانتیگراد بالا می‌رود. سپس شیر وارد سیراتور خامه‌گیر و خامه با محتوای چربی ۴۰-۳۵ درصد از آن خارج می‌شود.

فراوری خامه در همان مسیری که برای خامه زدنی شرح داده شد انجام می‌گیرد. با این استثنا که برای دستیابی به درصد چربی لازم خامه را با شیر پس‌چرخ مخلوط می‌نمایند. سپس خامه به دست آمده باید هموژن شود. خامه و شیر پس‌چرخ با یک پمپ اندازه‌گیر^۲ که شیر را به داخل خط خامه تزریق می‌نماید مخلوط می‌شوند، در این مرحله دمای خامه برابر دمای هموژن کردن است.

خامه پس از هموژن شدن به تبادل‌کننده حرارتی برگشت داده می‌شود و در آنجا با دمای ۸۵-۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه پاستوریزه و سپس تا دمای ۵ درجه سانتیگراد خنک و بسته‌بندی می‌شود.

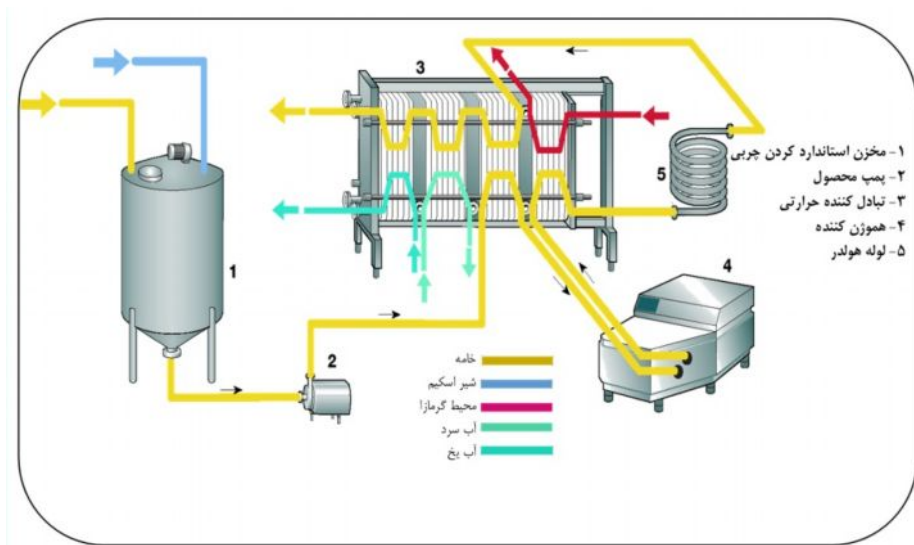
در تولید خامه باید دو اصل در نظر گرفته شود:

- خامه قوام و ویسکوزیته لازم را برای برانگیختن اشتهای مصرف‌کننده داشته باشد،
- خامه ثبات خوبی در موقع افزودن به داخل قهوه داشته باشد تا وقتی به داخل قهوه داغ ریخته می‌شود حالت لخته‌ای^۳ به خود نگیرد.

1. Half or coffee cream

2. Metering pump

3. Flocculate



شکل ۳ خط تولید خامه نیم چرب

معمولاً خامه با درصد چربی پایین، ویسکوزیته مورد انتظار مصرف کننده را ندارد. بنابراین، در هنگام هموژن کردن از دما و فشار مناسب برای افزایش ویسکوزیته استفاده می شود.

ویسکوزیته خامه با افزایش فشار هموژن کننده افزایش یافته ولی با افزایش دما هموژن کننده ویسکوزیته کاهش می یابد. ویسکوزیته های به دست آمده از خامه با دمای ثابت تقریباً ۵۷ درجه سانتیگراد و انجام هموژنیزاسیون در سه فشار مختلف ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ مگاپاسکال (۱۰۰-۱۵۰-۲۰۰ بار) در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان ویسکوزیته را با ویسکوزیتر SMR اندازه گیری می کنند. این نوع اندازه گیری باید در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد انجام پذیرد و نتیجه آن بر حسب ثانیه برای مدت زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر از محصول از یک نازل با قطر معین بیان می شود. یک ویسکوزیتر مجهز به نازل با قطر قابل تغییر در محدوده ۲ تا ۶ میلی متر در شکل ۴ نشان داده شده است.

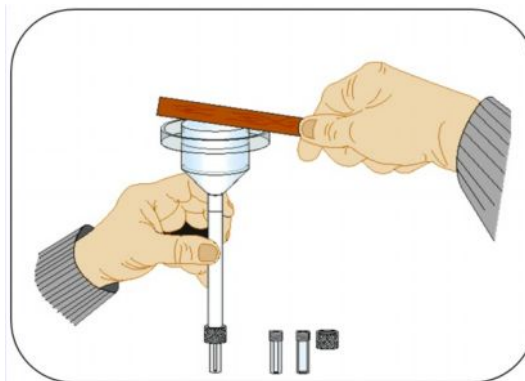
در جدول ۱ تاثیر تغییرهای دمای هموژن کننده در فشار ۱۵ مگاپاسکال در ویسکوزیته محصول نشان داده شده است. ویسکوزیته خامه با افزایش دمای هموژن کننده کاهش می یابد. بنابراین، باید همواره دما در پایین ترین سطح نگهداری شود. البته، برای به دست آوردن بالاترین بازده چربی شیر باید حالت مایع داشته باشد، پس نباید هیچگاه دمای هموژن کردن از ۳۵ درجه سانتیگراد پایین تر باشد.

جدول ۱ تاثیرات فشار و دمای هموژن کننده بر ویسکوزیته خامه در دستگاه ویسکوزیومتر SMR

ویسکوزیته خامه (ثانیه)	دمای هموژن کننده در فشار ۱۵ مگا پاسکال (درجه سانتیگراد)	ویسکوزیته خامه (ثانیه)	فشار هموژن کننده در دمای ۵۷ درجه سانتیگراد (بر حسب مگا پاسکال)
۴۹	۳۵	۱۸	۱۰
۳۵	۵۰	۲۸	۱۵
۱۰	۶۵	۴۵	۲۰

شرایط هموژن کردن مانند دما، فشار و محل استقرار هموژن کننده یعنی قرار گرفتن دستگاه در بالادست یا پایین دست سیستم تبادل کننده حرارتی در پایداری خامه در قهوه بسیار تأثیر دارد. ثبات خامه در قهوه را می‌توان در یک دامنه معین با افزودن بیکربنات سدیم (حداکثر ۰/۰۲ درصد) ارتقا داد. البته، اگر قوانین کشوری این کار را منع نکرده باشد، علاوه بر این ویژگی‌های قهوه نیز ممکن است در پایداری خامه تأثیرگذار باشد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- دمای قهوه: امکان لخته‌ای شدن خامه در قهوه داغ بیشتر است.
- نوع قهوه و شیوه آماده کردن آن: وجود اسیدهای آلی بیشتر در قهوه (در انواع مختلف) امکان لخته‌ای شدن خامه را در هنگام حل شدن افزایش می‌دهد.
- نوع آب به کار رفته برای آماده‌سازی قهوه: خامه در آب سخت بیشتر از آب سبک لخته‌ای می‌شود، چون نمک کلسیم قابلیت پروتئین را برای لخته شدن افزایش می‌دهد.



شکل ۴ ویسکوزیومتر SMR

خامه صبحانه

این نوع خامه به صورت پاستوریزه و استریل (UHT) تولید می‌شود و درصد چربی آن ۱۲-۳۰ درصد است. در این نوع خامه یکی از موارد مهم که معمولاً برای مصرف‌کننده اهمیت دارد ویسکوزیته و قوام آن است. برای دستیابی به ویسکوزیته مورد نظر باید در فرایند هموژنیزاسیون از فشار و دمای مطلوب استفاده شود. شرایط هموژنیزاسیون با فشار ۱۸۰ تا ۲۰۰ بار و دمای حداقل ۳۵ درجه سانتیگراد پیشنهاد شده است.

خامه صبحانه با چربی ۲۰-۱۰ درصد ممکن است با روش پاستوریزاسیون کند (LTLT) یا تند (HTST) صورت گیرد. در این حالت برنامه تلفیق دما و زمان به ترتیب در روش کند ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه و در روش تند، ۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ ثانیه پیشنهاد شده است. برای خامه‌های با چربی بیشتر از ۲۰ درصد در روش پاستوریزاسیون تند، پیشنهاد می‌شود در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ ثانیه استفاده شود.

در صنعت عملاً برای پاستوریزاسیون خامه از دمای بالاتر و زمان^۱ طولانی‌تری استفاده می‌شود. برای مثال، در روش LTLT از دمای حدود ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ - ۳۰ دقیقه و در روش HTST از تلفیق دمای ۹۵ - ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲ تا ۴ دقیقه استفاده می‌کنند، برنامه تلفیق دما و زمان برای خامه UHT، ۱۴۰ درجه سانتیگراد به مدت حداقل ۲ ثانیه و در روش استریل کردن با اتوکلاو، حداقل دمای ۱۰۸ درجه سانتیگراد به مدت حداقل ۴۵ دقیقه است.

کره

کره به عنوان محصولی با قابلیت نگهداری و ماندگاری طولانی همواره مورد نظر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان لبنی قرار داشته است. امروزه مقدار کمی کره به شکل سنتی تولید و مصرف می‌شود. با استفاده از فناوری جدید محصولات متنوعی را با پایه چربی کره تولید می‌نمایند که هرکدام کاربردهای خاصی دارند. کره امولسیون آب در چربی است که در آن چربی فاز پیوسته و آب فاز منتشر است.

تعاریف

امروزه ترکیبات مختلفی با پایه چربی شیر یا مخلوط با چربی‌های دیگر تولید می‌شود که بر اساس استانداردهای محلی و جهانی تعریف شده‌اند. در زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است:

چربی گسترده‌نی^۱: این فراورده نوعی امولسیون آب در روغن است که در آن فاز آبی و فاز چربی یا روغن خوراکی وجود دارد.

چربی یا روغن خوراکی^۲: ترکیب اصلی چربی یا روغن خوراکی تری‌گلیسیرید و اسیدهای چرب است که منشأ آن ممکن است از منابع گیاهی، حیوانی، شیر یا منابع دریایی باشد. مواد اولیه اصلی برای تولید این فراورده‌ها عبارتند از: آب، فراورده‌های چربی شیر، چربی خوراکی یا روغن و یا مخلوطی از آن‌ها. استاندارد کشورها در باره محتوای چربی، در فراورده‌های چربی مالیدنی (گسترده‌نی) بر اساس منابعی که چربی از آن به دست آمده به سه گروه طبقه‌بندی می‌شود که فراورده‌های چربی شیر، فراورده‌های چربی مخلوط و مارگارین‌ها نامیده می‌شوند. حداکثر میزان چربی این فراورده‌ها در محدوده ۹۵ درصد قرار دارد.

کره را معمولاً به دو دسته تقسیم می‌نمایند:

- کره حاصل از خامه شیرین،
- کره حاصل از خامه کشت داده شده یا خامه ترش.

تا اوایل قرن ۱۹، کره از خامه‌ای که به طور طبیعی ترش شده بود، تولید می‌شد. خامه جمع‌آوری شده از روی شیر را در یک تغار چوبی ریخته و با تکان شدید آن در ظرف کره‌زنی یا چرن^۳ کره به طور دستی تهیه می‌شد. فرایند ترش‌شدن طبیعی، بسیار حساس است و اغلب با میکروارگانیسم‌های ناخواسته آلودگی به وجود می‌آید.

با گسترش فناوری سرمایش و تولید ملزومات صنعتی مناسب، کره‌گیری از خامه شیرین ممکن شد و روش تولید کره به تدریج بهبود یافت و در جنبه‌های کیفی و اقتصادی تولید این فراورده نیز پیشرفت‌هایی حاصل شد. در قدیم برای ترش نمودن خامه از افزودن شیری که به طور طبیعی ترش شده یا دوغ کره ترش (اسیدی شده) استفاده می‌شد، بعدها از خامه کشت داده شده تحت شرایط کنترل شده‌ای کره تولید شد.

اختراع سپراتور در سال ۱۸۷۸ میلادی، علاوه بر سرعت عمل، بازده تولید خامه از شیر را نیز بهبود بخشید. در نتیجه تولید کره رشد فزاینده‌ای پیدا نمود. عوامل مؤثر بر ارتقای کیفیت و توجیه اقتصادی سیستم تولید، با پیدایش فرایند پاستوریزاسیون در سال ۱۸۸۰ میلادی آغاز و با به کارگیری کشت‌های خالص باکتریایی از سال ۱۸۹۰ و معرفی ماشین‌های کره‌سازی در ابتدای قرن بیستم تکمیل گردید.

1. fat spread

2. Edible fats and oil

3. Churn

تولید تجاری کره، بر پایه سال‌ها دانش و تجربه‌اندوزی قرار دارد. امروزه تولید این فراورده با مراحل همچون مراعات نکات بهداشتی، استفاده از کشت‌های خالص باکتریایی، عملیات حرارتی و استفاده از ماشین‌های پیشرفته همراه با روش‌های جدید به یکی از موفق‌ترین تولیدات فراورده‌های لبنی تبدیل شده است.

کره تولید شده از خامه شیرین و خامه ترش (کشت داده شده)

تفاوت در ترکیبات انواع کره، ناشی از روش‌های مختلف تولید است. برای مثال، در کره با مقدار ۸۰ درصد چربی و ۱۸ - ۱۶ درصد رطوبت، اساس کار بر پایه افزودن یا عدم افزودن نمک قرار دارد. همچنین، کره به طور طبیعی حاوی ویتامین‌های A و D است.

رنگ کره بر اساس مقدار کارتنوئیدهای موجود در آن تغییر می‌کند. این ترکیبات ۱۱ تا ۵۰ درصد از کل ویتامین A فعال در شیر را تشکیل می‌دهند. مقدار کارتنوئیدها در شیر به طور طبیعی در فصول زمستان و تابستان تغییر می‌نماید. در زمستان به علت تعلیف دام با علوفه خشک و کنسانتره و همچنین نبود علوفه سبز که غنی از کارتنوئیدهاست، این ماده کمتر به بدن دام وارد می‌شود. بنابراین، کره تولید شده در زمستان رنگ روشن‌تری دارد. شیر گاویش فاقد کارتنوئید بوده و کره ساخته شده از شیر این دام سفید است. کره باید ظاهری مات و مزه تازه داشته باشد. آب (فاز آبی) باید به صورت قطرات بسیار ریز به گونه‌ای در کره توزیع شده باشد که کاملاً ظاهر آن خشک به نظر برسد. از نظر قوام، کره باید نرم بوده و به آسانی در دهان پخش و ذوب شود.

کره حاصل از خامه ترش، مزه دی استیل، ولی کره به‌دست آمده از خامه شیرین مزه خامه‌ای (یک طعم ضعیف پخته) دارد. کره تولید شده از خامه ترش در مقایسه با خامه شیرین کیفیت بهتری دارد. زیرا مواد طعم‌دهنده^۱ در آن غنی‌تر و بازده کره‌دهی آن نیز بیشتر است. همچنین، به علت وجود حالت رقابت و ممانعت‌کنندگی بین میکروارگانیسم‌های آغازگر، از رشد میکروارگانیسم‌های ناخواسته جلوگیری می‌شود.

البته تولید کره از خامه ترش محدودیت‌های خاصی دارد. برای مثال، pH دوغ این نوع کره^۲ بسیار پایین است و کاربردهای محدودی دارد در حالی که دوغ کره شیرین را می‌توان به خط شیر آشامیدنی افزود. یکی از مشکلات کره تهیه شده از خامه ترش حساسیت بیشتر آن

1. Aroma

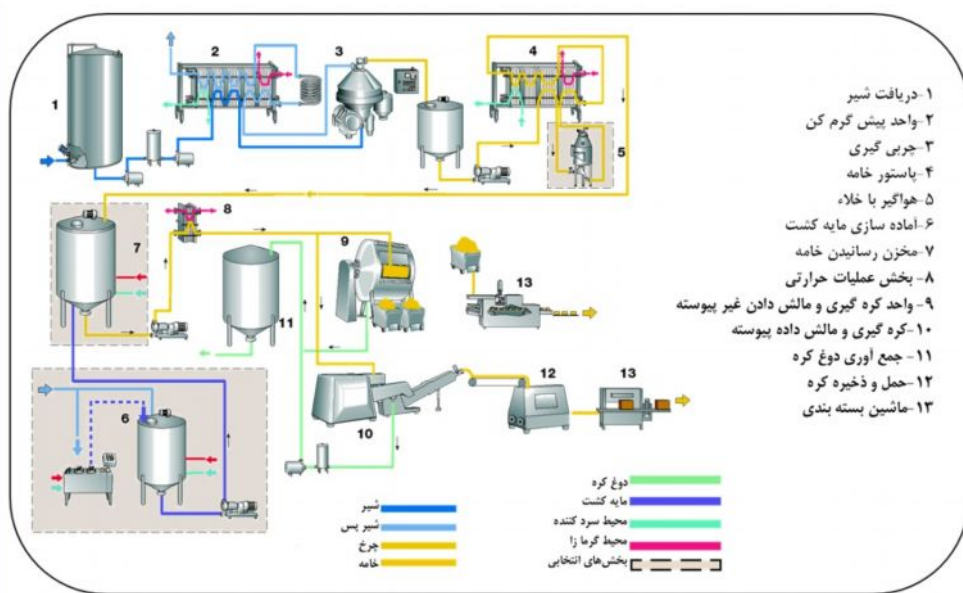
2. Buttermilk

در برابر اکسیداسیون است که باعث بروز طعم فلزی^۱ در آن می‌شود. این تمایل با حضور مقادیر ناچیز مس یا فلزات سنگین دیگر تشدید می‌شود و از عمر ماندگاری کره از لحاظ شیمیایی به طور قابل توجهی می‌کاهد.

کره سازی

کره در ابتدا با نوعی ظرف کره‌زنی دستی یا چرن، در مزرعه برای مصارف خانگی تولید می‌شد. در این روش پس از ظاهر شدن دانه‌های کره در داخل دوغ، آن را داخل یک تغار کم عمق ریخته و به طور دستی دانه‌های کره را جمع‌آوری می‌کردند و آن را تا به‌دست آمدن قوام لازم مالش می‌دادند.

فرایند تولید کره در سطوح بالاتر و در مقیاس وسیع‌تر عموماً شامل چند مرحله است. فرایند تولید غیرمداوم در چرن و تولید مداوم در ماشین کره‌سازی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ فرایند و مراحل تولید پیوسته و غیر پیوسته کره کشت داده شده

خامه ممکن است در کارخانه شیر به صورت خامه مازاد تامین شود و یا از شیر کامل در کارخانه کره‌سازی جدا گردد. در مورد اول خامه باید توسط تامین‌کننده آن پاستوریزه شود.

ذخیره‌سازی و تحویل خامه به کارخانه کره‌سازی باید از بروز آلودگی ثانویه و ورود هوا به داخل آن جلوگیری کند. خامه در کارخانه کره‌سازی پس از دریافت، توزین و آزمایش در مخزن سیلو ذخیره می‌گردد.

چنانچه در کارخانه خامه از شیر کامل تهیه گردد شیر کامل باید تحت فرایند حرارتی مقدماتی یعنی دمای ۶۳ درجه سانتیگراد قرار گیرد. متعاقباً خامه گرم را به داخل مخزن ذخیره موقت منتقل و سپس آن را به دستگاه پاستور مخصوص خامه پمپ می‌نمایند. برای شناخت چگونگی فراوری ملایم خامه می‌توانید به توضیحات روش اسکانیا مراجعه فرمایید. شیر پس‌چرخ خروجی از سپراتور (خامه‌گیر)، پاستوریزه خنک و ذخیره می‌شود. ممکن است قسمتی از این شیر برای تولید مایه کشت (در زمانی که هدف تولید کره کشت داده شده باشد) استفاده شود.

خامه به طور پیوسته از مخزن ذخیره موقت به پاستوریزاتور خامه فرستاده می‌شود و در آن‌جا در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد یا بالاتر تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرد. معمولاً برای نابودکردن آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌های مخرب و حفظ کیفیت کره حرارت بالاتری نیاز است. از بین بردن میکروارگانیسم‌های مزاحم شرایط را برای رشد و توسعه میکروارگانیسم‌های مایه کشت در کره تولید شده از خامه ترش فراهم می‌سازد. همچنین عملیات حرارتی باعث رهاسازی ترکیبات قوی آنتی‌اکسیدانی سولفیدریل می‌شود که این امر هرچه بیشتر از خطر بروز اکسیداسیون می‌کاهد.

به کارگیری خلأ باعث حذف هوا و مواد فرار بدبو مانند بوی پیاز از خامه می‌شود. هر طعم موجود در خامه با چربی پیوند می‌خورد و داخل کره می‌شود. معمولاً عملیات ایجاد خلأ پس از گرم‌کردن مقدماتی (قبل از پاستوریزاسیون) انجام می‌شود و پس از آن محصول را به سرعت خنک می‌نمایند. گازها و مواد فرار تحت این شرایط به‌سرعت از خامه خارج می‌شوند. پس از این مرحله خامه برای طی عملیات حرارتی نهایی به پاستوریزاتور برگردانده می‌شود.

خامه خروجی از پاستوریزاتور وارد مخزن عمل‌آوری می‌شود. حداکثر حجم توصیه شده برای مخزن عمل‌آوری و رسانیدن خامه حدود ۳۰۰۰۰ لیتر است که در آنجا خامه در معرض برنامه حرارتی خاصی برای ایجاد ساختار بلوری شدن در چربی قرار می‌گیرد. این برنامه بر اساس عواملی مانند نحوه ترکیب‌بندی چربی کره تنظیم شده است. یکی از عوامل مهم در تنظیم این برنامه ارزش یدی یعنی مقدار چربی غیر اشباع در محصول است. فراوری مناسب می‌تواند ضمن اصلاح قوام کره از کاهش مقدار چربی غیر اشباع در محصول نیز جلوگیری کند.

معمولاً عمل‌آوری و رسانیدن خامه ۱۵-۱۲ ساعت طول می‌کشد، مایه کشت باکتری‌های لاکتیکی باید قبل از تیمار حرارتی نهایی نیز به خامه افزوده شود. مقدار کشت متناسب با ارزش یدی و برنامه عملیات حرارتی مشخص می‌شود.

خامه پس از عمل‌آوری به واحد کره‌ساز مداوم یا چرن پمپ می‌شود. گاهی اوقات عبور از میان یک تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای برای دستیابی به دمای مناسب لازم است. در فرایند کره‌زنی در داخل چرن خامه با شدت هم‌زده می‌شود تا همه گویچه‌های چربی شکسته شوند. چربی‌های شکسته شده کم‌کم به هم پیوسته و به صورت دانه‌های کره در داخل دوغ پدید می‌آیند.

خامه در چرن به دو قسمت تجزیه می‌شود: دانه‌های کره و دوغ کره. وقتی که مقدار دانه‌های کره در چرن یا ماشین کره‌ساز به حد خاصی رسید، سیستم متوقف و دوغ کره تخلیه می‌شود. پس از تخلیه دوغ کره برای ایجاد یک حالت پیوستگی بین فاز چربی (فاز پیوسته) و آب (فاز منتشر) کره مالش داده می‌شود. گاهی اوقات نیز کره پس از چرن برای حذف باقیمانده دوغ با آب شستشو داده می‌شود، اما این امر امروزه به‌ندرت انجام می‌پذیرد. اگر قرار است کره نمک‌سود تهیه شود، در روش غیر مداوم، نمک را روی سطح کره می‌پاشند ولی در سیستم مداوم، نمک به محلول آب و کره در هنگام مالش دادن اضافه می‌شود.

پس از نمک زدن، کره باید به مدت بیشتری مالش داده شود تا پخش و توزیع نمک در بافت کره به طور یکسان باشد. عمل مالش کره روی مشخصه‌های نهایی محصول مانند توزیع ترکیبات معطر، کیفیت نگهداری، ظاهر و رنگ موثر است. محصول نهایی به واحد بسته‌بندی فرستاده و پس از بسته‌بندی در سردخانه ذخیره می‌شود.

مواد خام

خامه مورد استفاده در کره‌سازی باید کیفیت باکتریولوژیکی خوب و مزه یا عطر و طعم طبیعی داشته باشد. یکی از معیارهای تصمیم‌گیری در انتخاب خامه خوب ارزش یدی بالا (مقدار بیشتری چربی غیراشباع) است. این خامه کره نرم تولید خواهد نمود. با عملیات فراوری مناسب در فرایند عمل‌آوری خامه می‌توان قوام قابل قبولی برای بافت کره با استفاده از هر دو نوع چربی سخت (ارزش یدی پایین تا ۲۸) و چربی نرم (ارزش یدی بالای ۴۲) به دست آورد.

خامه نباید حاوی آنتی‌بیوتیک یا باقی‌مانده مواد ضدعفونی‌کننده باشد. در صورت وجود میکروارگانیسم‌های مخرب در خامه حتی اگر با به‌کارگیری عملیات سالم‌سازی حرارتی از بین برده شوند، باز هم این خامه برای تولید کره نامناسب است، زیرا ممکن است آنزیم‌های ترشح شده از میکروارگانیسم‌ها باعث تخریب و تجزیه ناخواسته چربی‌ها شوند. بنابراین، رعایت دقیق نکات بهداشتی در تمام مراحل فرایند ضروری است.

معمولاً در زنجیره انتقال شیر خام، از دامداری تا کارخانه به صورت خنک، یک مشکل دیگر بروز می‌نماید. حفظ زنجیره سرما باعث می‌شود فلور میکروبی شیر از باکتری‌های مولد اسید به باکتری‌های سرمادوست تغییر کند. هرچند این باکتری‌ها به طور معمول در طی فرایند سالم‌سازی حرارتی شیر، از بین می‌روند اما آثار کاهش کیفیت آن‌ها روی کره باقی خواهد ماند، زیرا بعضی باکتری‌های سرمادوست آنزیم‌های لیپولیتیک تولید می‌کنند که باعث تجزیه چربی‌ها می‌شود. این آنزیم‌ها حتی دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌نمایند و از بین نمی‌روند. بنابراین، باید از رشد و توسعه باکتری‌های سرمادوست جلوگیری شود توصیه می‌شود که ماده اولیه (شیر خام) بلافاصله پس از رسیدن به کارخانه پاستوریزه شود، یا اینکه فرایند حرارتی ترمیزاسیون در دمای ۶۵-۶۳ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ ثانیه و خنک کردن تا ۴-۲ درجه سانتیگراد انجام شود. پاستوریزاسیون باید در اولین فرصت و حداکثر تا ۲۴ ساعت پس از ورود شیر به کارخانه انجام پذیرد.

پاستوریزاسیون خامه

خامه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد یا بالاتر بدون نیاز به هولدر (ثابت نگه‌داشتن دما به مدت چند ثانیه) پاستوریزه می‌شود. عملیات حرارتی باید برای منفی نمودن جواب آزمایش پراکسیداز کافی باشد.

این عملیات شدید نه فقط باکتری‌های بیماری‌زا بلکه دیگر باکتری‌ها و آنزیم‌هایی را که می‌توانند بر کیفیت نگهداری خامه تاثیر نامطلوب گذارند، از بین می‌برد. عملیات حرارتی نباید خیلی شدید باشد زیرا آسیب‌هایی مانند طعم پخته در محصول ایجاد می‌کند.

هواگیری در خلأ

هرگونه مواد طعم‌دار نامناسب را که طبیعت فرار داشته باشند می‌توان با ایجاد خلأ از محصول حذف نمود. برای این کار ابتدا خامه را تا ۷۸ درجه سانتیگراد حرارت می‌دهند و سپس با پمپ به یک محفظه خلأ که در آنجا فشار برای جوشیدن آب در ۶۲ درجه

سانتیگراد تنظیم شده وارد می‌نمایند. کاهش فشار باعث رهایی مواد فرار بودار در هنگام خنک شدن سریع^۱ می‌شود. پس از این مرحله خامه برای پاستوریزاسیون و خنک شدن به تبادل کننده حرارتی صفحه‌ای برگشت داده می‌شود. پس از عملیات پاستوریزاسیون خامه وارد مخزن عمل‌آوری و رسانیدن می‌شود.

بروز طعم نامناسب پیاز در شیر به دلیل وجود گیاهان پیازدار در مزارع چرای دام یکی از رایج‌ترین طعم‌ها در فصل تابستان است، بنابراین، جداسازی این طعم بسیار قوی از خامه ضروری است.

ترش شدن باکتریایی

آماده‌سازی مایه کشت

برای تولید کره از خامه کشت داده شده از قبل خامه را ترش می‌نمایند. افزودن باکتری‌های تولیدکننده اسید به کره طعم تندی می‌دهد، همچنین بازده چربی را در بهره تولید کره بهبود می‌بخشد.

معمولاً مایه کشت مورد استفاده از نوع LD یا L است. که به معنی دربر داشتن باکتری‌های تولیدکننده طعم مانند استرپتوکوکوس دی‌استی‌لاکتیس (لاکتوکوسی Cit^+) همراه با لوکونوستوک سیترووروم یا فقط لوکونوستوک سیترووروم به تنهایی است.

در کشت LD سهم استرپتوکوکوس دی‌استی‌لاکتیس از کل محتوای باکتریایی بین ۰/۶ تا ۱۳ درصد و محتوای لوکونوستوک سیترووروم از مقدار ۰/۳ تا ۵/۹ درصد متغیر است. ارتباط نسبی بین میکروارگانیزم‌های تولیدکننده مواد معطر^۲ با شرایط حاکم بر محیط رشد در طول فرایند تخمیر تعیین می‌شود.

اسید لاکتیک، دی‌استیل و اسیداستیک مهم‌ترین مواد طعم‌زای تولید شده بوسیله باکتری‌ها هستند. تولید مهم‌ترین ماده معطر در کره یعنی دی‌استیل به در دسترس بودن اکسیژن بستگی دارد. رشد باکتری‌ها و تولید اسید در یک کشت فعال بسیار سریع است. در این حالت ممکن است کشت مادر محتوی حدود ۱۰۰۰ میلیون باکتری در هر میلی‌لیتر باشد. تلقیح ۱ درصد از این کشت فعال و نگهداری در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد باید بتواند پس از ۷ ساعت اسیدیته ۱۲ درجه SH (۲۷ درجه دورنیک) و پس از ۱۰ ساعت اسیدیته ۲۰-۱۸ درجه SH (۴۵-۴۱ درجه دورنیک) در محصول ایجاد نماید. کشت باید از نظر

1. Flash cool

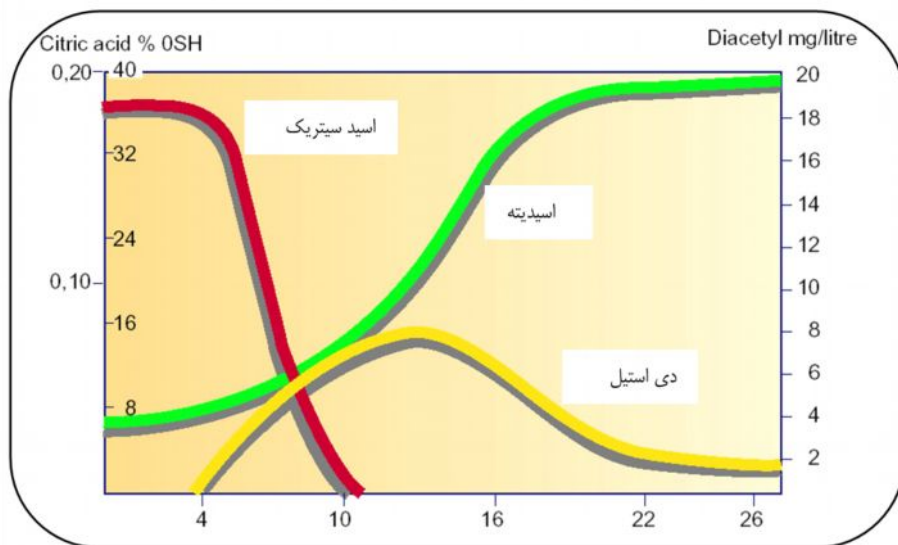
2. Aroma

ترکیب باکتریایی متعادل باشد تا بتواند متناسب با تولید اسید و مواد معطر و کاهش بعدی دی‌استیل، تناسب بین نسبت‌ها را حفظ نماید.

اغلب از شیر پس چرخ به عنوان محیط کشت یا محیط رشد باکتری برای کشت‌های آماده شده استفاده می‌شود، معمولاً شیر پس چرخ (به عنوان محیط کشت)، سریع‌تر تغییرات ناخواسته طعم و مزه را آشکار می‌سازد. این نوع شیر باید قبل از استفاده به عنوان محیط کشت، در دمای ۹۵ - ۹۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه پاستوریزه شود. چگونگی توسعه اسید و شکل‌گیری مواد معطر در یک کشت LD در نمودار ۲ نشان داده شده است.

تولید آرام اسید، مشخصه اولین مرحله از رشد است. در این مرحله تخمیر اسید سیتریک و تولید دی‌استیل نسبتاً جزئی است. تولید اسید در مرحله بعدی سریع می‌شود و همچنان که تخمیر اسید سیتریک و تشکیل دی‌استیل شکل می‌گیرد، باکتری‌های تولیدکننده مواد معطر کار احیای دی‌استیل را انجام می‌دهند.

با کاهش تولید اسید، احیای دی‌استیل کاهش می‌یابد و مقدار آن کم و بیش پایدار می‌شود. در این حالت کشت وارد مرحله رسیدن می‌شود و مرحله اسیدی به اتمام می‌رسد. مشخصه این مرحله افزایش تدریجی اسیدیته و کاهش دی‌استیل و تولید مواد بدون مزه باکتری تولیدکننده مواد معطر است.



نمودار ۲ توسعه اسید و مواد معطر در شیر اسکیم تلقیح شده با کشت LD

ترش شدن خامه

عمل کشت دادن (ترش کردن) خامه و عملیات لازم برای ایجاد ساختمان بلوری شدن چربی به منظور دستیابی به قوام مطلوب در محصول نهایی (کره) را می‌توان به طور هم‌زمان، در مخزن عمل‌آوری به انجام رساند. معمولاً برای این کار از مخازن سه‌جداره از جنس فولاد ضد زنگ استفاده می‌شود، سیالات گرمازا و سرمازا در جداره‌ها در حال گردش است و انتقال حرارت به صورت گرما یا سرما در آن‌ها تدریجی و ملایم انجام می‌پذیرد که از نظر یکنواختی محصول بسیار اهمیت دارد. معمولاً در مخازن یک همزن از نوع لبه‌دار با تیغه تراشیده سطوح و با قابلیت دور معکوس شونده (برای افزایش کارایی همزن) کار گذاشته می‌شود.

مایه کشت، قبل از پمپ‌شدن به مخزن عمل‌آوری، باید خوب مخلوط شده باشد. معمولاً مایه کشت (استارتر) را قبل از خامه به مخزن پمپ می‌نمایند، اما بعضی تولیدکنندگان ترجیح می‌دهند که استارتر در سیستم لوله‌کشی به خامه در حال ورود به مخزن عمل‌آوری، تزریق شود. در هر کدام از این روش‌ها باید مقدار مایه کشت برای اختلاط با خامه به دقت محاسبه شده باشد. برای ایجاد قوام لازم در کره، خامه مصرفی باید در ضمن فرایند، تحت عملیات حرارتی خاصی قرار گیرد. میزان حرارت به ارزش یدی خامه بستگی دارد. دمای لازم برای اسیدی کردن خامه نیز با این برنامه معین می‌شود. بنابراین، مخزن عمل‌آوری باید قابلیت تطبیق با عملیات حرارتی لازم را به منظور کشت و تعدیل و تناسب قوام داشته باشد.

مقدار مایه کشت، برای اضافه نمودن به خامه، بر پایه برنامه حرارتی فرایند، تعیین می‌شود، (جدول ۲). این مقدار باید متناسب با اسیدیته و دمای عمل‌آوری برای استمرار مراحل مختلف تنظیم شود. مقدار مایه کشت قابل تزریق از ۱ تا ۷ درصد حجم خامه متغیر است. در دمای ۲۱ درجه سانتیگراد برای خامه با چربی سفت (ارزش یدی پایین) از درصد کمتر تلقیح استفاده می‌شود. در این حالت قابلیت نگهداری فرآورده نهایی پایین خواهد بود. به کارگیری درصد بالاتر تلقیح مایه کشت در خامه با چربی نرم در دمای ۱۶ - ۱۵ درجه سانتیگراد رایج‌تر است. فرایند ترش شدن خامه باید در پایان عملیات حرارتی تکمیل شود و خامه را به اسیدیته تقریباً ۳۶ درجه سوکسله هنکل (۸۱ درجه دورنیک) برساند.

دمای عملیات حرارتی

خامه را قبل از کره‌گیری در معرض یک عملیات حرارتی خاص برای تنظیم بلوری شدن ساختمان چربی قرار می‌دهند. این عمل در پیدایش قوام مورد نظر در بافت کره نقش مهمی دارد. قوام کره یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی است که بر دیگر مشخصه‌های کره مثل

مزه، عطر و طعم نیز تاثیرگذار است. قوام^۱ یک مفهوم پیچیده و در برگیرنده خواصی مانند سفتی، ویسکوزیته، قالب‌پذیری و قابلیت پهن‌شدن^۲ است.

نقطه ذوب اسیدهای چرب موجود در کره نشان‌دهنده نرمی یا سفتی آن است. چربی نرم مقدار بیشتری اسید چرب با نقطه ذوب پایین دارد که در دمای اتاق به صورت یک فاز مایع پیوسته در چربی جامد قرار می‌گیرد، از طرف دیگر در چربی سفت نسبت چربی مایع به جامد پایین‌تر است.

اگر در کره‌سازی، خامه همیشه با یک نوع عملیات حرارتی فراوری شود، در این حالت، ترکیبات شیمیایی چربی شیر، مشخص‌کننده قوام کره خواهد بود. شیر با چربی نرم، کره نرم و چرب^۳ تولید می‌کند و کره حاصل از چربی سفت به صورت سفت و خشک^۴ خواهد بود. قوام کره را می‌توان با عملیات مناسب حرارتی بهبود بخشید.

بلورین‌سازی چربی کره

پس از پاستوریزاسیون خامه، چربی در داخل گویچه‌ها به شکل مایع است. با خنک شدن خامه تا کمتر از ۴۰ درجه سانتیگراد، چربی شروع به بلوری شدن می‌نماید. اگر خنک کردن به‌طور تدریجی ادامه یابد، چربی‌ها با توجه به نقطه ذوبشان در دماهای مختلف، شروع به بلور شدن می‌کنند. فایده این کار تولید کره نرم از خامه با چربی سفت (ارزش یدی پایین) خواهد بود. تشکیل بلورهای چربی در هنگام خنک‌شدن تدریجی، فرایند بسیار کندی است و به‌طور طبیعی ممکن است چندین روز طول بکشد. از دیدگاه باکتریولوژیکی نگهداری محصول در این دما (دمای ۴۰ درجه سانتیگراد) به‌دلیل احتمال بروز آسیب باکتریایی بسیار خطرناک است و از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر نیست.

یک روش سرعت دادن به فرایند بلوری‌شدن، خنک‌کردن سریع خامه تا دمای پایین است، که در این بلورها بسیار سریع‌تر شکل می‌گیرد. یکی از موانع این روش وجود تری‌گلیسیریدها با نقطه ذوب پایین در چربی است که در داخل شبکه بلورین به‌دام افتاده و باعث ایجاد بلورهای مخلوط می‌شوند. در این حالت بخش بزرگی از چربی بدون هیچ نظم بلورین می‌شود، و به دلیل پایین بودن نسبت بین چربی مایع به جامد، بافت کره سفت خواهد بود.

-
1. Consistency
 2. Spread ability
 3. Greasy
 4. Stiff

جدول ۲ اصول تنظیم برنامه حرارتی خامه بر اساس ارزش یدی و حجم مایه کشت تزریقی

ارزش یدی	برنامه حرارتی، درجه سانتیگراد			حداکثر مایه تزریقی در خامه (درصد)
	دمای بعد از پاستوریزه	دمای تخمیر	دمای رسانیدن	
کمتر از ۲۸	۸	۲۱	۲۰	۱
۲۸-۲۹	۸	۲۱	۱۶	۲-۳
۳۰-۳۱	۸	۲۰	۱۳	۵
۳۲-۳۴	۶	۱۹	۱۲	۵
۳۵-۳۷	۶	۱۷	۱۱	۶
۳۸-۳۹	۶	۱۵	۱۰	۷
بیشتر از ۴۰	۲۰	۸	۱۱	۵

برای اجتناب از بروز این حالت در طی فرایند حرارتی، خامه را تا دمای بالای نقطه ذوب تری گلیسریدها حرارت می‌دهند تا آن‌ها از حالت بلورین خارج شوند. سپس چربی ذوب شده را مجدداً در دمای پایین بلورین می‌نمایند، در نتیجه از مقدار بلورهای مخلوط کاسته خواهد شد و کره بافت نرم‌تری خواهد داشت.

واضح است که مقدار بلورهای مخلوط و همچنین نسبت بین چربی مایع به جامد تعیین‌کننده مقدار دمای لازم برای ذوب بلورها و تبلور دوباره آن‌هاست. به طور کلی، دماها براساس سفتی (ارزش یدی) چربی انتخاب می‌شوند.

امروزه، روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری نسبت چربی مایع به جامد در یک نمونه وجود دارد. آزمایش اسپکتومتری نوسانی NMR یک روش بسیار سریع و کامل است. این روش بر پایه تفاوت آثار مغناطیسی پروتون (هسته هیدروژن) در چربی مایع و جامد قرار دارد. در جدول ۲ مثال‌هایی برای برنامه‌های حرارتی بر اساس ارزش یدی مختلف نشان داده شده است. ستون اول دمای خنک کردن خامه پس از پاستوریزاسیون، ستون دوم دمای تخمیر (بالارفتن اسیدیته) و ستون سوم دمای رسانیدن را نشان می‌دهد.

فراوری چربی سفت

وقتی که ارزش یدی چربی (خامه) پایین است، یعنی چربی کره سفت است. برای دستیابی به قوام مطلوب باید با عملیات مناسب نسبت بین چربی مایع به جامد افزایش داده شود. برای این کار لازم است از مقدار بلورهای چربی مخلوط کاسته شود و بلورهای چربی خالص بیشتری تشکیل شود. بیشترین مقدار چربی مایع درون گویچه‌های چربی در زمان

کره‌سازی و مالش دادن (مالیدن) با فشار از آن خارج می‌شود، در نتیجه نسبت چربی مایع با فاز پیوسته به چربی جامد در خامه به میزان حداکثر خواهد رسید.

عملیات لازم برای دستیابی به این نتیجه شامل:

- خنک کردن سریع خامه تا تقریباً ۸ درجه سانتیگراد و نگهداری آن به مدت ۲ ساعت در این دما،
- بالا بردن ملایم حرارت به میزان ۲۰-۲۱ درجه سانتیگراد و نگهداری آن در این دما به مدت ۲ ساعت،

- خنک کردن تا دمای تقریباً ۱۶ درجه سانتیگراد و سپس رساندن به دمای کره‌سازی، ادامه خنک کردن تا دمای تقریباً ۸ درجه سانتیگراد، و تشکیل بلورهای مخلوط.

وقتی که خامه با ملایمت تا دمای ۲۰-۲۱ درجه سانتیگراد حرارت داده شود توده بلورهای مخلوط ذوب و از ساختمان بلورین خارج می‌شود، در نتیجه فقط بلورهای خالص چربی با دمای ذوب بالا باقی می‌ماند. نگهداری خامه در این دما باعث می‌شود بلورهای مخلوط ذوب شده دوباره شروع به بلورین شدن کنند و مقداری بلورهای خالص تشکیل دهند.

پس از ۱-۲ ساعت چربی با نقطه ذوب بالا شروع به دوباره بلوری شدن می‌نماید. وقتی که دما به تقریباً ۱۶ درجه سانتیگراد کاهش یابد، چربی ذوب شده به طور پیوسته، به شکل بلورهای خالص در می‌آید. در این حالت تمام چربی‌ها با نقطه ذوب ۱۶ درجه سانتیگراد یا بالاتر بلوری می‌شود. این عملیات باعث تبدیل چربی با نقطه ذوب بالا به بلورهای خالص شده و از مقدار بلورهای مخلوط کاسته می‌شود. این افزایش در نسبت بین چربی مایع به جامد باعث تولید کره نرم‌تر می‌شود.

فراوری چربی نیمه‌سخت

چنانچه چربی با ارزش یدی بالاتر در دسترس باشد، عملیات حرارتی در دمای پایین‌تر متوقف می‌شود. در این حالت مقدار بیشتری از بلورهای مخلوط تشکیل و چربی مایع بیشتری جذب بلورهای مخلوط می‌شود. چربی به‌دست آمده از این فرایند سفت خواهد بود. برای ارزش یدی بالاتر از ۳۹، دمای عملیات حرارتی را می‌توان به کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد کاهش داد. زمان تخمیر (کشت دادن) خامه در دمای پایین‌تر طولانی‌تر می‌شود.

فراوری چربی بسیار نرم

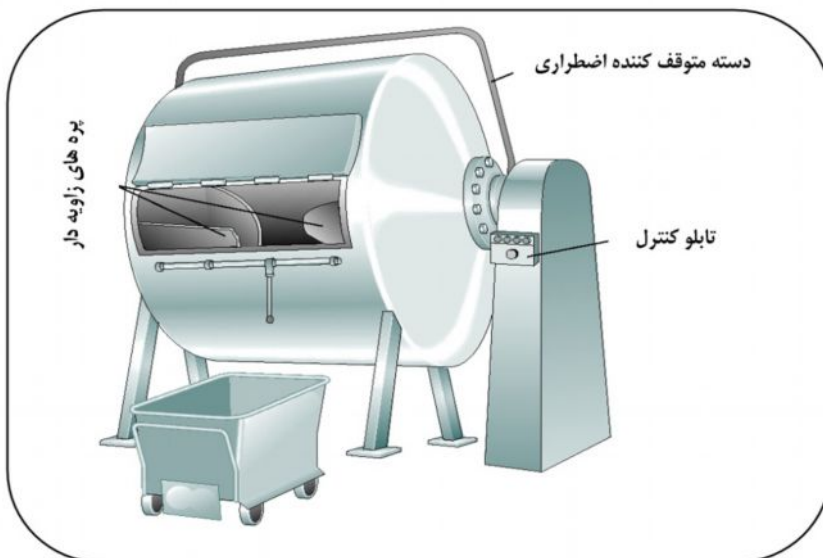
تابستانه کردن^۱ عملیاتی است که در صورت بالاتر بودن ارزش یدی از ۴۰-۳۹ انجام می‌پذیرد. در این حالت پس از پاستوریزاسیون، خامه را تا دمای ۲۰ درجه سانتیگراد خنک و

تقریباً ۵ ساعت در همان دما تخمیر می‌نمایند و وقتی اسیدیته به حدود ۵۰ درجه دورنیک رسید، آن را سرد می‌کنند. اگر ارزش یدی خامه در ابتدا در حدود ۴۰ - ۳۰ باشد، خامه را تا دمای ۸ درجه سانتیگراد خنک می‌کنند ولی اگر ارزش یدی ۴۱ یا بالاتر باشد آن را تا ۶ درجه سانتیگراد خنک می‌نمایند. به طور کلی، تخمیر در زیر دمای ۲۰ درجه سانتیگراد باعث تولید کره نرم خواهد شد.

کره‌زنی

تولید غیر پیوسته

کره‌گیری از خامه ترش شده در محفظه کره‌گیر یا چرن، پس از عملیات حرارتی انجام می‌پذیرد. کره به طور معمول در چرن‌هایی به شکل استوانه، مخروطی، مکعبی یا چندوجهی با سرعت دوران قابل کنترل تولید می‌شود. در داخل چرن یک تیغه محوری با هم‌زن کار گذاشته شده است. شکل، محل جاگذاری و اندازه هم‌زن متناسب با حجم و سرعت چرن، از عوامل مؤثر در کیفیت تولید فراورده نهایی است. در چرن‌های جدید سرعت قابل تنظیم، امکان بهترین سرعت مناسب را برای مالش انواع کره فراهم می‌سازد (شکل ۶).



شکل ۶ نمای چرن کره‌سازی

اندازه چرن‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است و از چرن‌هایی با ظرفیت ۸۰۰۰-۱۲۰۰۰ لیتر یا بیشتر در مراکز بزرگ کره‌سازی استفاده می‌شود. خامه قبل از انتقال

به چرن همزده شده و دمای آن تنظیم می‌شود. معمولاً ۵۰-۴۰ درصد حجم چرن را از خامه پر می‌کنند، تا محصول فضای لازم برای زدن و کف‌کردن را داشته باشد.

شکل‌گیری کره

گویچه چربی در خامه دارای بلورهای چربی و چربی مایع (کره و روغن) است. ساختمان بلورهای چربی بسیار کم گسترش می‌یابد. بنابراین، بلورهای چربی به شکل یک پوسته ضعیف و با اتصال تنگاتنگ با غشا در می‌آیند. در اثر همزدن خامه، کفی با حباب‌های بزرگ پروتئینی شکل می‌گیرد که با افزایش فعالیت سطحی، غشاهای گویچه چربی را به سوی حد فاصل مرز هوا/ آب (سطح خامه یا شیر) می‌کشاند و باعث تغلیظ گویچه چربی در کف ایجاد شده می‌شود.

با استمرار همزدن خامه در چرن، حباب‌ها کوچک‌تر می‌شوند زیرا پروتئین آب همراه را آزاد می‌نماید و حباب‌ها فشرده می‌شود و در نتیجه فشار بیشتری روی گویچه چربی وارد می‌شود. در نهایت، قسمت مشخصی از چربی مایع با فشار از گویچه خارج و مقداری از غشاهای گویچه‌های چربی نیز پاره می‌شود.

چربی مایع حاوی بلورهای چربی است که به صورت جدا و به شکل یک لایه نازک در سطح حباب‌ها و روی گویچه چربی قرار می‌گیرد. و حباب‌ها به طور فزاینده‌ای متراکم شده و چربی مایع بیشتری از گویچه خارج می‌شود و کف کم‌کم پایداری خود را از دست می‌دهد و تخریب می‌شود. سرانجام گویچه‌های چربی در داخل دانه‌های کره جمع می‌شود که در ابتدا با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند، اما کم‌کم در اثر رشد دانه‌های کره اندازه آن‌ها بزرگ دیده می‌شود.



نمودار ۳ تغییر بازدهی کره‌گیری در ماه‌ها و فصول مختلف سال

بهره در کره‌سازی

بهره یا بازدهی در چرن مقدار چربی باقی مانده از خامه در دوغ کره است و بدین ترتیب می‌توان مقدار درصد چربی خامه تبدیل شده به کره را به دست آورد. برای مثال، بهره کره‌گیری ۰/۵ به معنی باقی ماندن ۰/۵ درصد از چربی خامه در دوغ کره است. در این حالت ۹۹/۵ درصد چربی به کره تبدیل شده است. بهره کره‌گیری کمتر از ۰/۷ درصد پذیرفته شده نیست. منحنی نمودار ۳ نشان می‌دهد که بهره کره‌گیری در طول سال تغییر می‌نماید معمولاً محتوای چربی دوغ کره در تابستان بالاتر است.

محاسبه بهره کره‌گیری

عوامل مختلفی در تغییرات بازدهی کره‌سازی دخالت دارند که مهم‌ترین آن‌ها کیفیت شیر و خامه به عنوان ماده اولیه و پس از آن شرایط فراوری و فناوری مورد استفاده است. معمولاً بازده محاسبه شده به صورت نظری با بازده عملی متفاوت است، هرچه تفاوت این دو کمتر باشد نشان دهنده افت کمتر در مراحل مختلف کره‌سازی است و برعکس. به طور کلی، می‌توان با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳ میزان چربی فراوری شده در کارخانه را محاسبه نمود. در نمودار ۴ اندیس‌های محاسبه و مراحل تبدیل نشان داده شده است.

رابطه (۱) = چربی کل وارد شده به واحد تولید

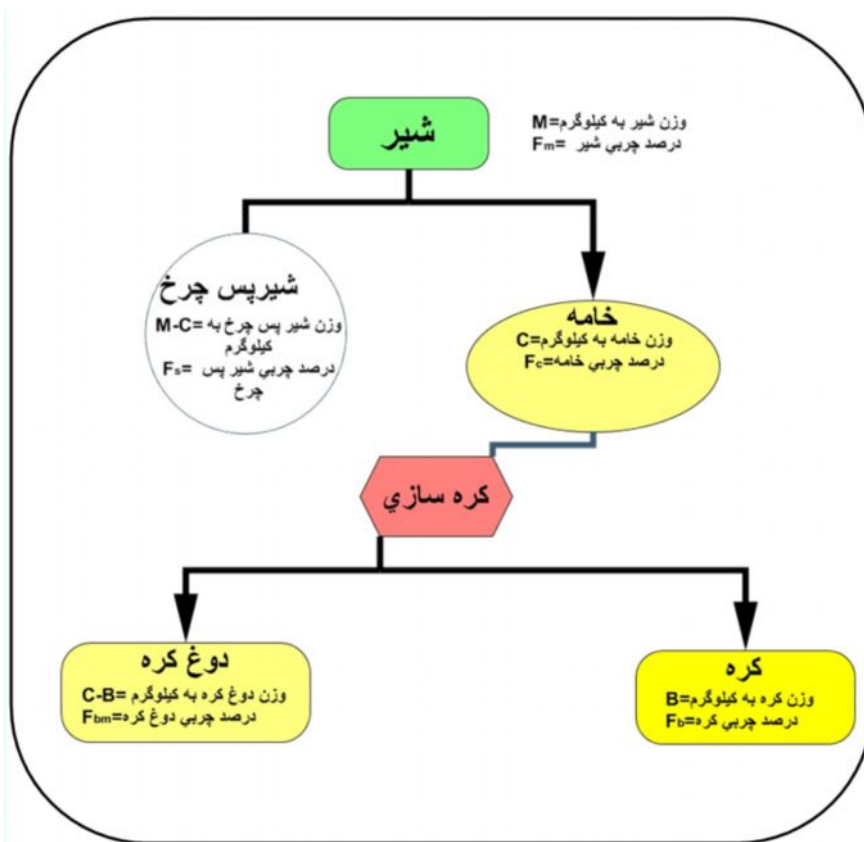
$$M \times F_m - (M - C)F_s + B \times F_b + (C - B) \times F_{bm}$$

$$C = M \times \frac{F_m - F_s}{F_c - F_s}$$

رابطه (۲) = مقدار خامه تولید شده

$$B = M \times \frac{(F_m - F_s)(F_c - F_{bm})}{(F_b - F_{bm})(F_c - F_s)}$$

رابطه (۳) = مقدار کره تولید شده



نمودار ۴ مراحل تولید و اندیس محاسبه بازدهی کره از شیر

در رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳

M مقدار شیر (کیلو گرم)
 C مقدار خامه (کیلو گرم)
 B مقدار کره (کیلوگرم)

F_m درصد چربی شیر
 F_s درصد چربی شیر اسکیم
 F_c درصد چربی خامه
 F_b درصد چربی کره
 F_{bm} درصد چربی دوغ کره

مثال: کارخانه‌ای روزانه ۱۰۰ تن شیر دریافت می‌کند، اگر متوسط چربی شیر ورودی ۴۰ gr/kg باشد و آزمایشگاه ارقام ذیل را اعلام کرده باشد، میزان خامه و کره تولید شده و بازدهی نظری را محاسبه نمایید.

$$\text{ماده چرب خامه (چربی)} = 30 \text{ gr/kg}$$

$$\text{میزان چربی شیر پس چرخ} = 0.5 \text{ gr/kg}$$

$$\text{چربی دوغ کره} = 2 \text{ gr/kg}$$

$$\text{چربی کره} = 830 \text{ gr/kg}$$

$$C = 10^5 \times \frac{40 - 0.5}{350 - 0.5} = 11301 \text{ kg}$$

با قرار دادن ارقام در رابطه‌های (۲) و (۳)

$$B = 10^5 \times \frac{(40 - 0.5)(350 - 2)}{(830 - 2)(350 - 0.5)} = 4750 \text{ kg}$$

که به ترتیب مقدار خامه به‌دست آمده ۱۱۳۰۱ کیلوگرم و کره ۴۷۵۰ کیلوگرم است. برای محاسبه بازدهی نظری از رابطه $\frac{B}{M} \times 100$ استفاده می‌شود که در مسئله فوق این مقدار ۴/۷۵ است.

میزان بازدهی (فاکتور راندمان):

میزان بازدهی عبارت است از نسبت بین وزن کره تولید شده به وزن اولیه (شیر یا خامه) که معمولاً این نسبت در محاسبه با شیر ۱۱۸-۱۱۹ و برای خامه ۱۱۵ است و از طریق رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه (۴)} \quad F_r = \frac{B \times 100}{M \times F_m} \times 100$$

می‌توان با ضرب میزان بازدهی در چربی شیر مقدار کره به‌دست آمده را تخمین زد. اگر تفاوت بین بازدهی نظری و عملی خیلی زیاد باشد، در این حالت یا چربی موجود در شیر پس چرخ زیاد است یا چربی دوغ کره بالاست.

مثال: در یک کارخانه کره سازی روزانه ۱۰۰ تن شیر با وزن حجمی ۱/۰۳۰ دریافت می‌شود. چربی متوسط شیر دریافتی ۳۴ گرم در لیتر و چربی شیر پس چرخ ۰/۵۱۸ گرم در لیتر و وزن حجمی شیر پس چرخ ۱/۰۳۶، میزان چربی خامه ۳۴۰ گرم در کیلوگرم و چربی دوغ کره ۳ گرم در کیلوگرم و چربی کره ۸۲۰ گرم در کیلوگرم باشد و روزانه ۳۸۵ کیلوگرم کره تولید شود مشخص کنید بازدهی نظری و عملی، و میزان بازدهی و افت چربی را؟

تولید فراورده‌های حاصل از چربی شیر / ۱۹۱

$$M = 100000 \quad kg$$

$$\rho_m = 1.030 \quad gr/lit$$

$$F_m = 34 \quad gr \neq lit \quad \frac{34}{1.030} \quad 33.01 \quad gr / kg$$

$$F_s = 0.518 \quad gr / lit = \frac{0.518}{1.036} \quad 0.5 \quad gr / kg$$

$$F_c = 340 \quad gr / kg$$

$$F_{bm} = 3 \quad gr / kg$$

$$F_b = 820 \quad gr / kg$$

$$B = 1000 \times \frac{(33.01 - 0.5)(340 - 3)}{(340 - 0.5)(820 - 3)} = 395.1 \quad kg \quad \leftarrow \text{خامه تولیدی نظری}$$

$$F_{rT} = \frac{B}{M \times F_m} \times 100 = \frac{395}{10000 \times \frac{33.01}{1000}} \times 100 = 119.66 \quad \leftarrow \text{میزان بازدهی}$$

$$F_{rF} = \frac{385}{10000 \times \frac{33.01}{1000}} \times 100 = 116.63 \quad \leftarrow \text{بازدهی عملی}$$

$$Fat_{loss} = 395 - 385 = 10 \quad kg \quad \leftarrow \text{میزان افت چربی}$$

$$Fat_{loss} \% = \frac{10}{395} \times 100 = 2.53\% \quad \leftarrow \text{درصد افت چربی}$$

مثال: اگر از یک تن خامه با چربی ۳۵ درصد مقدار ۴۱۵ کیلوگرم کره تولید شده باشد میزان بازدهی را محاسبه کنید.

$$F_r = \frac{B}{C \times F_c} \times 100 = \frac{415}{1000 \times \frac{35}{100}} \times 100 = 118.6$$

مالش دادن کره

کره در هنگام تخلیه دوغ از آن مالش داده می‌شود و بدین وسیله دانه‌های کره فشرده و عمل آب‌گیری انجام می‌شود. چربی مایع و بلورهای چربی که در معرض فشار بالا قرار می‌گیرند از داخل گویچه‌های چربی خارج می‌شوند، مالش دادن عمل توزیع آب یا رطوبت را به صورت ذرات ریز و یکسان در چربی یا فاز پیوسته آسان می‌کند، کره در نهایت باید

ظاهری کاملاً خشک داشته باشد و هیچ قطره آبی نباید با چشم غیر مسلح در آن دیده شود. در زمان مالش دادن باید مرتباً رطوبت کره کنترل و تنظیم شود.

مالش دادن کره در خلأ

امروزه مالش دادن کره همراه با کاهش فشار هوا یک روش متداول است. در این حالت کره حاوی هوای کمتری است و بافت آن قدری سفت‌تر خواهد شد. در مالش دادن تحت خلأ مقدار هوای کره به حدود ۱ درصد در مقایسه با ۵-۷ درصد در کره معمولی می‌رسد.

تولید کره به روش پیوسته

روش پیوسته کره‌سازی از اواخر قرن نوزدهم ابداع شد اما کاربرد آن بسیار محدود بود. تا اینکه در سال ۱۹۴۰ میلادی این کار دوباره از سر گرفته شد و سه فرایند مختلف برای آن معرفی شد، تمام این روش‌ها بر پایه همان روش معمول مانند چرن کردن، استفاده از نیروی گریز از مرکز (سانتریفوژ) و تغلیظ یا امولسیون‌سازی قرار دارد. روش فریتز^۱ یکی از این فرایندهاست که بر پایه چرن کردن مرسوم قرار دارد. این روش امروزه در اروپای غربی رایج است. در ماشین‌های ساخته شده بر پایه این روش کره کم و بیش به همان روش سنتی ساخته می‌شود، کره تولید شده در این روش نیز همانند کره معمولی است بجز این که ظاهری مات و متراکم دارد ذرات فاز آبی به طور کاملاً یکنواخت در داخل فاز پیوسته (چربی) منتشرند.

فرایند تولید

خامه به همان روش مرسوم برای چرن کردن تهیه و سپس به طور پیوسته از مخزن عمل‌آوری به دستگاه کره‌سازی تغذیه می‌شود. نمای کلی سیستم کره‌ساز پیوسته در شکل ۷ نشان داده شده است. در این سیستم ابتدا خامه به داخل سیلندر کره ساز با خنک‌کننده‌های مضاعف وارد می‌شود. محتویات سیلندر با یک دسته ضربه زننده دور متغیر، به طرف جلو حرکت داده می‌شود.

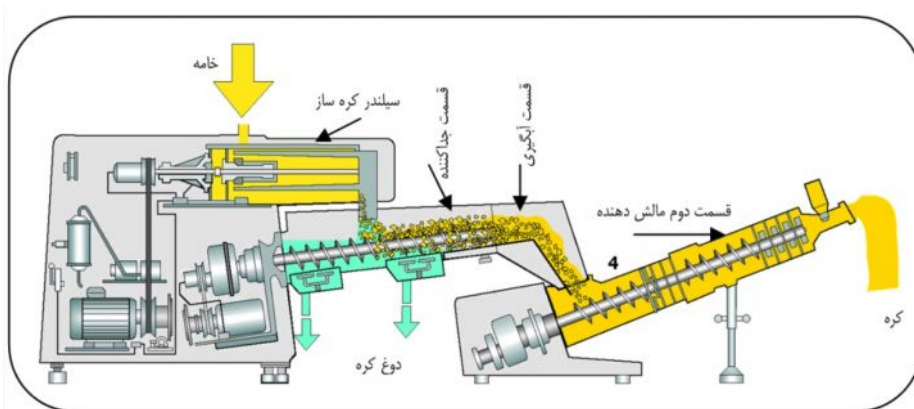
در اثر حرکات مکانیکی در داخل سیلندر تغییر حالتی سریع در خامه ورودی روی می‌دهد و آن را به دانه‌های کره و دوغ کره تبدیل می‌کند، از آن پس این مخلوط به طرف بخش جداکننده هدایت می‌گردد. معمولاً این بخش را اولین مرحله مالش دادن^۲ می‌نامند که

1. Fritz method

2. Working

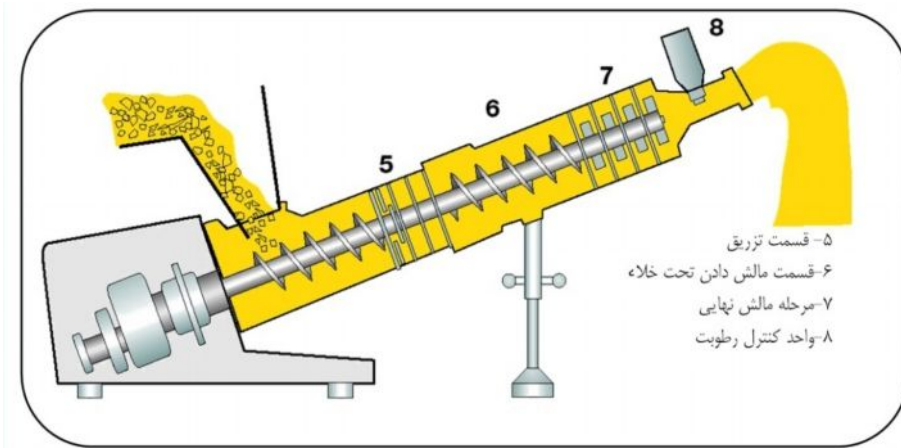
در اینجا کره از دوغ کره جدا می‌شود. در این مرحله اولین شستشوی دانه‌های کره با گردش مجدد دوغ کره خنک شده، انجام می‌پذیرد. قسمت جدا کننده مجهز به یک نقاله پیچی شکل است که کار مالش کره را ضمن انتقال به مرحله بعدی برعهده دارد.

پس از عبور از قسمت جداکننده دوغ کره از کره جدا می‌شود و دانه‌های کره با فشار از میان یک مجرای مخروطی و یک صفحه مشبک سوراخ‌دار به نام بخش آگیری عبور می‌نماید. در اینجا باقیمانده دوغ کره از دانه‌های کره جدا می‌شود و محصول به بخش دوم مالش‌دهنده (۴) وارد می‌شود. هر یک از واحدهای مالش‌دهنده موتور مجزا دارند که آن‌ها را می‌توان برای رسیدن به نتیجه مطلوب با سرعت‌های مختلف به حرکت درآورد. معمولاً سرعت نقاله مارپیچ اول دو برابر نقاله مارپیچ دوم است. در صورت لزوم در آخرین مرحله مالش دادن، نمک به وسیله پمپ تزریق‌کننده با فشار بالا در محفظه تزریقی (۵) (شکل ۸) به کره اضافه می‌شود.



شکل ۷ ماشین تولید کره ساز مداوم

در ادامه فرایند مالش دادن در خلأ (۶) انجام می‌گیرد، این محفظه به پمپ خلأ متصل است. در این بخش مقدار هوای کره به حد کره‌سازی مرسوم رسانیده می‌شود. مرحله مالش دادن نهایی (۷) از چهار قسمت کوچک مجزا تشکیل شده که هر یک از بخش‌ها با صفحه‌ای سوراخ‌دار از هم جدا شده‌اند. سوراخ‌ها با اندازه‌های مختلف و پره‌های مالش‌دهنده با اشکال مختلف، برای فراوری مطلوب کره به کار برده می‌شوند. در ابتدای این قسمت یک تزریق‌کننده آب (نازل) برای تنظیم نهایی رطوبت کره تعبیه شده است که می‌تواند مقدار رطوبت کره را با نوسان کمتر از ۰/۱ درصد تنظیم نماید.



شکل ۸ بخش مالش‌دهنده تحت خلاء در ماشین کره‌ساز مداوم

سیستم‌های اندازه‌گیری رسانه‌ای^۱ (۸) برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت، نمک، چگالی و دما در خروجی ماشین کار گذاشته می‌شود. از سیگنال‌های ارسالی برای تنظیم خودکار دستگاه‌ها استفاده می‌شود. محصول نهایی به طور مداوم از دریچه خروجی به داخل سیلوی کره برای انتقال به دستگاه بسته‌بندی جریان می‌یابد. ماشین‌های کره‌ساز پیوسته برای تولید با ظرفیت‌های ۲۰۰ - ۵۰۰ کیلوگرم در ساعت کره از خامه ترش و ۱۰۰۰۰ - ۲۰۰ کیلوگرم در ساعت کره از خامه شیرین در دسترس قرار دارند.

روش جدید تولید دیگر فراورده‌های چربی

از ابتدای قرن بیستم الگوی مصرف از چربی حیوانی خوراکی (پیه) به کره و مارگارین تغییر یافت. از دهه ۱۹۸۰ به این سو گرایش آشکاری در اکثر جوامع شهری به کاهش مصرف چربی و جایگزینی آن با فراورده‌های کم چرب پدید آمده است. علت این تغییرات در عادات مصرف را می‌توان با افزایش آگاهی عموم از عوامل مؤثر در سلامتی و مصرف غذاهای آماده طبخ توضیح داد. یکی از ویژگی‌های برخی فراورده‌های جدید چربی که از دهه ۱۹۷۰ وارد بازار شده‌اند سهولت استفاده از آن‌ها در دمای یخچال است. امروزه تقاضای زیادی برای فراورده‌هایی با چربی پایین، بدون از دست دادن طعم و مزه کره در بازار وجود دارد. بر این اساس می‌توان از دو محصول برگوت^۲ و لات اند لاگوم^۳ که در بازارهای سوئد نام برد.

1. Transmitter

2. Bergott

3. Latt & Lagom

برگوت

برگوت، محصولی با چربی ۸۰ درصد است، که ۸۰ - ۷۰ درصد چربی آن از شیر و ۲۰-۳۰ درصد آن از روغن مایع گیاهی مانند سویا یا شلغم روغنی^۱ است. روش ساخت آن همانند کره است. چون برگوت دارای روغن گیاهی است در ردیف مارگارین‌ها دسته بندی می‌شود. برگوت را می‌توان برای پخت و پز نیز به کار برد.

لات اند لاگوم

در سوئد لات اند لاگوم را مارگارین نرم تعریف می‌کنند که محتوای چربی آن ۳۹ تا ۴۱ درصد است. فراورده‌ای با این مقدار چربی را مینارین^۲ نیز می‌نامند. این دسته از فراورده‌ها را فقط برای مالیدن بر روی نان و غیره به کار می‌برند و هرگز نباید از آن‌ها برای پخت و پز و سرخ کردن استفاده شود. موضوع با اهمیت در این فراورده‌ها بالا بودن مقدار پروتئین در آن‌هاست. فرایند تولید آن‌ها مانند مارگارین است.

در تولید این فراورده روغن کره (یا به طور دقیق تر چربی بدون آب شیر^۳) و روغن سویا یا روغن شلغم روغنی^۴ در نسبت معین با هم مخلوط شده و با اختلاط فاز آبی مناسب و افزودن پروتئین، ساختار فراورده تکمیل می‌شود. حاصل کار محصولی با خواص گسترده‌ای خوب در دمای یخچال است. مخلوط کامل با تبادل کننده حرارتی صفحه‌ای پاستوریزه و پس از خنک کردن و مالش دادن، فرایند تکمیل می‌شود. وجود روغن کره و پروتئین های موجود در دوغ کره، عطر و طعم دوغ کره را به محصول می‌دهد.

فرایند تترابلند^۵

این فرایند ترکیبی از دو فرایند تغلیظ خامه و تبلور چربی همراه با تعویض فاز (جابجا کردن فاز پیوسته با فاز منتشر در کره) است. در این سیستم چربی خامه با سپراتور نوع بسته به مقدار ۷۵-۸۲ درصد رسانیده می‌شود. در این حالت فاز پیوسته شیر پس چرخ است که در اینجا آن را دوغ کره نیز می‌نامند ولی چربی آن از دوغ کره به دست آمده از فرایند مرسوم

1. Rapeseed

2. Minarine

3. Anhydrous milk fat

4. Rapeseed oil

5. TetraBlend

کره‌سازی کمتر است. برای تولید فراورده قابل گستردن (مالیدنی) با محتوای چربی ۶۰-۴۰ درصد خامه مذکور را با آب رقیق می‌کنند، در نتیجه محتوای پروتئین و لاکتوز آن کاهش می‌یابد. اگر رقیق کردن صورت نگیرد مقدار بالای پروتئین و لاکتوز در محصول نهایی به طعم و خواص گستردن آن لطمه می‌زند. یکی از فواید کاربرد خامه تغلیظ شده برای تولید فراورده‌های کم چرب، نیاز نداشتن آن به امولسیفایر اضافی است. در این حالت از امولسیفایر طبیعی موجود در شیر که در خامه نیز وجود دارد استفاده می‌شود. (شکل ۹).

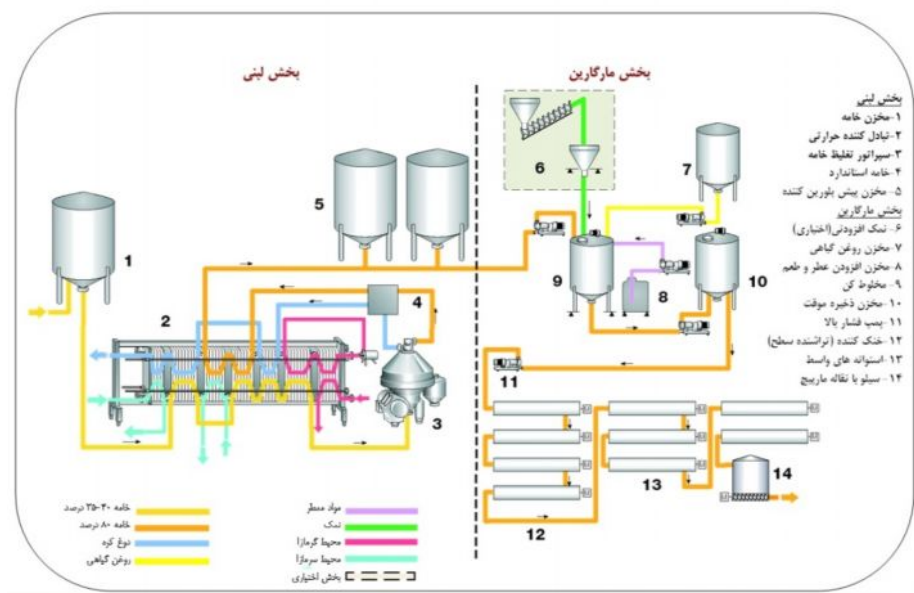
خط تولید

خط تولید از دو بخش ساخته شده است:

- ۱- بخش لبنی که کار تغلیظ خامه، پاستوریزاسیون و خنک کردن را انجام می‌دهد.
- ۲- بخش مارگارین که کار آماده‌سازی مخلوط و عملیات تعویض فاز (فاز چربی در آب به فاز آب در چربی) را همراه با مالش دادن و خنک کردن به انجام می‌رساند. در شکل ۹ تصویر خط تولید با دو بخش لبنی و مارگارین دیده می‌شود.

بخش لبنی

فرایند در این مرحله (شکل ۱۳) با پاستوریزاسیون خامه با محتوای چربی ۴۰-۳۵ درصد شروع می‌شود. پس از آن خامه از واحد خامه‌گیری یا مخزن ذخیره با دمای ۷۰-۶۰ درجه سانتیگراد وارد تغلیظ‌کننده خامه (سپراتور نوع بسته) می‌شود. درجه تغلیظ یعنی محتوای چربی خامه به طور خودکار کنترل و تنظیم می‌شود. مقدار چربی را در این حالت می‌توان به بالای ۸۲ درصد رساند (چربی بالای ۸۴ درصد مطلوب است اما قیمت تمام شده را افزایش می‌دهد). در ادامه، خامه با چربی تعیین شده تا دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتیگراد قبل از ورود به مسیر اصلی خنک و در مخزن موقت برای تبلور مقدماتی نگهداری می‌شود.



شکل ۹ خط فرایند تترابند برای تولید کره و فراورده‌های گسترده

بخش مارگارین

این قسمت (شکل ۱۳) محلی برای اختلاط و آماده‌سازی فراورده است. در اینجا خامه تغلیظ شده با حجم مناسب روغن نباتی، نمک و آب (فاز آبی) طبق روش کار با هم مخلوط می‌شوند، پس از تکمیل اختلاط، با پمپ به مخزن ذخیره موقت (۱۰) ارسال و تهیه محموله بعدی شروع می‌شود.

مخلوط داخل مخزن به طور مداوم به کمک پمپ فشار بالا (۱۱) هم‌زده می‌شود، در ادامه فراورده به داخل خنک‌کن مجهز به تیغه‌تراشنده (۱۲) پمپ می‌شود که در این محل فاز آن تعویض می‌شود. قبل از خنک‌کردن نهایی، محصول توسط استوانه‌های واسط (۱۳) مالش داده شده و در مخزن ذخیره (۱۴) انبار می‌شود. از این محل محصول نهایی برای بسته‌بندی به داخل ماشین پرکن که اغلب از نوع لوله‌ای^۱ است، فرستاده می‌شود. عملیات با برنامه رایانه‌ای کنترل و رهبری می‌شود.

بسته‌بندی

برای انتقال کره یا فراورده‌های گسترده‌ای از ماشین تولید به بسته‌بندی سه راه وجود دارد.
۱- محصول ابتدا به داخل مخزنی که در ته آن یک نقاله مارپیچ کار گذاشته شده منتقل می‌شود، نقاله محصول را به ماشین بسته‌بندی منتقل می‌کند.

۲- محصول مستقیماً به ماشین بسته‌بندی پمپ می‌شود.

۳- عمل انتقال با مخازن چرخدار انجام می‌پذیرد. این مخازن ابتدا از محصول پر می‌شود و سپس با استفاده از چرخ یا ریل کار گذاشته شده، به ماشین بسته‌بندی فرستاده می‌شود.

کره را در بسته‌های ۱۰ گرمی تا ۲۵ کیلوگرمی بسته‌بندی می‌نمایند. انواع گوناگونی از ماشین‌های بسته‌بندی مطابق با نیاز به کار برده می‌شوند. معمولاً ماشین‌های بسته‌بندی خودکار و برای اندازه‌های مختلف تنظیم می‌شوند. ماشین‌های بسته‌بندی تک‌نفره محصول را از ۱۰ تا ۱۰۰ گرم بسته‌بندی می‌کنند، ماشین‌هایی با بسته‌بندی ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرمی برای مصارف خانواده نیز وجود دارد. بسته‌بندی فله‌ای در اوزان ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرمی برای مصارف صنعتی نیز رایج است.

کاغذ لایه‌های بسته‌بندی در تماس با کره باید از نوع ضد روغن^۱ باشد تا از عبور نور و کاهش عطر و طعم و مواد فرار مانع شود. همچنین، باید مواد بسته‌بندی در برابر نفوذ رطوبت مقاوم باشند در غیر این صورت سطح کره خشک شده پس از مدتی زرد رنگ می‌شود.

استفاده از پوشش ورقه آلومینیمی در کره رایج است. در گذشته استفاده از کاغذ پوستی یا مومی^۲ رواج بیشتری داشت و هنوز هم در برخی کشورها به کار برده می‌شود، اما امروزه به طور وسیعی ورقه‌های آلومینیمی، جانشین آن نوع ورقه‌ها شده است. بسته‌بندی کره در ظروف پلیمری نیز اخیراً رواج پیدا کرده است.

کره پس از بسته‌بندی قالبی، به ماشین کارتن‌زن برای بسته‌بندی در جعبه‌های مقوایی ارسال می‌شود و در پایان جعبه‌ها را روی پالت می‌گذارند و محصول به سردخانه منتقل می‌شود. غالباً فراورده‌های گسترده‌ای و چربی مخلوط لبنی در بسته‌بندی‌های لوله‌ای یا لیوانی ۲۵۰ تا ۶۰۰ گرمی بسته‌بندی می‌شوند. برای دستیابی به ظاهر و قوام مناسب در کره، چربی

1. Greaseproof

2. Parchment paper

مخلوط لبنی و فراورده‌های گسترده‌تری، باید آن‌ها را پس از بسته‌بندی مدتی در سردخانه در دمای ۵+ درجه سانتیگراد نگهداری نمود.

روش‌های تجربی در کره‌سازی

تلاش‌های روزافزون برای توسعه روش‌های جدید ساخت کره با حذف خواص نامطلوب ادامه دارد. یکی از این روش‌ها، روش نیزو^۱ است که از خامه شیرین به عنوان ماده اولیه استفاده می‌نمایند.

در این روش پس از شکل‌گیری کره، دوغ کره را تخلیه می‌نمایند، سپس مقداری اسید لاکتیک و به طور همزمان یک کشت ویژه آغازگر را به کره اضافه می‌کنند و آن را به مدت کوتاهی مالش می‌دهند، باکتری‌های آغازگر در طول مدت نگهداری، عطر و طعم لازم را به کره می‌دهند. بهره‌گیری در این روش بالاست بوده و دوغ کره را می‌توان به خط تولید شیر آشامیدنی برگشت داد. کره تولید شده با این روش مزه خوب، کیفیت نگهداری مناسب و مقاومت بالا در برابر اکسیداسیون دارد. البته هنوز دربرخی از کشورها افزودن اسید لاکتیک به کره مجاز نیست.

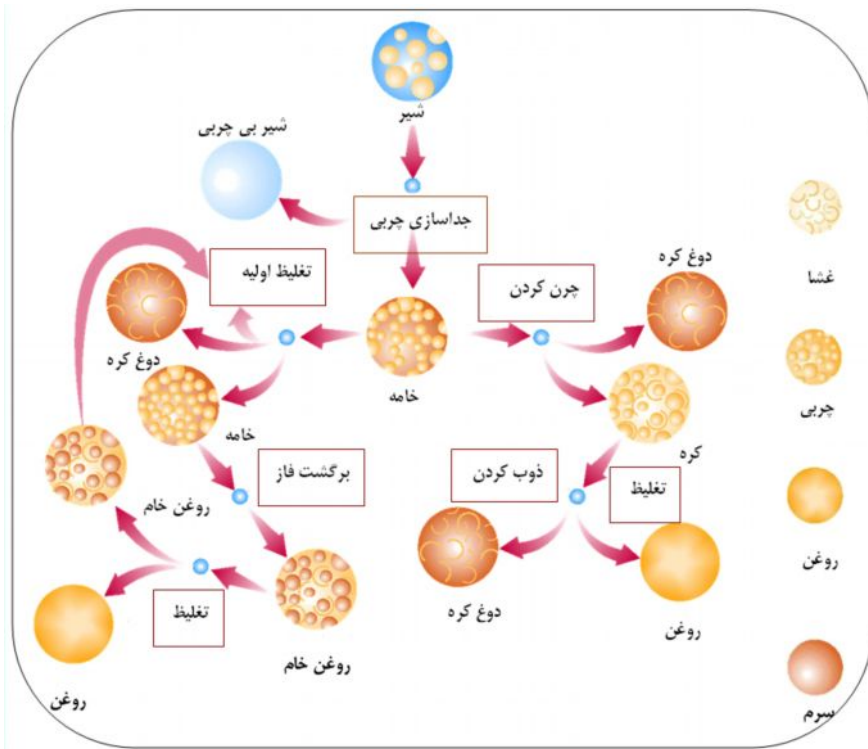
روغن کره و چربی بدون آب شیر

چربی بدون آب شیر و روغن کره^۲ فراورده‌هایی هستند که کم و بیش حاوی چربی خالص شیر هستند. هر چند امروزه آن‌ها را در دسته فراورده‌های صنعتی جدید شیر محسوب می‌نمایند، اما آن‌ها در بعضی از فرهنگ‌ها ریشه باستانی دارند. برای مثال، گی^۳ یکی از این فراورده‌های چربی شیر با پروتئین بالاتر و با طعم مشخص روغن کره است که از قرن‌ها پیش در نزد هندوها و کشورهای عربی شناخته شده است (شکل ۱۰).

1. NIZO

2. Anhydrous milk fat & butter oil

3. Ghee



شکل ۱۰ تولید روغن کره: تغلیظ چربی شیر، برگشت فاز و تغلیظ روغن

- چربی بدون آب شیر محصولی است که با سه کیفیت متمایز با استاندارد بین المللی FIL-IDF شماره A ۶۸ : ۱۹۷۷ تعریف شده است.
- **چربی بدون آب شیر:** باید حداقل حاوی ۹۹/۸ درصد چربی شیر باشد و از خامه یا کره تازه تهیه شده باشد. اضافه نمودن همه نوع افزودنی (مثلاً به منظور خنثی سازی اسیدهای چرب آزاد) به آن مجاز نیست.
 - **روغن کره بدون آب:** باید حداقل حاوی ۹۹/۸ درصد چربی کره باشد، اما می توان در ساخت آن از خامه یا کره با تاریخ تولید مختلف استفاده نمود. کاربرد قلیا برای خنثی سازی اسیدهای چرب آزاد در آن مجاز است.
 - **روغن کره:** باید حداقل حاوی ۹۹/۳ درصد چربی شیر باشد. مواد خام و ویژگی های فرایند آن مانند روغن کره بدون آب است.

مشخصه‌های روغن کره

روغن کره یک شیوه بسیار خوب برای ذخیره‌سازی و حمل و نقل چربی کره است، این محصول با ماندگاری بالا به جای کمتری در مقایسه با کره نیاز دارد و شکل سنتی ذخیره‌سازی کره است. کره در دسته‌بندی‌ها به عنوان یک فراورده تازه مصرف شدنی محسوب می‌شود. برای مثال، می‌توان آن را در ۴ درجه سانتیگراد برای مدت زمان ۶ - ۴ هفته ذخیره نمود. اگر ذخیره طولانی‌تری در حدود یکسال لازم باشد، دمای نگهداری باید حداقل (۲۵-) درجه سانتیگراد باشد. روغن کره را می‌توان در بشکه‌های ۲۰۰ لیتری همراه با یک گاز خنشی مانند نیتروژن بسته‌بندی کرد و برای چندین ماه در ۴+ درجه سانتیگراد ذخیره نمود. روغن کره در دمای بالای ۳۶+ درجه سانتیگراد مایع و در دمای پایین‌تر از ۱۶+ درجه سانتیگراد جامد است. روغن کره را می‌توان به آسانی در شکل مایع برای اختلاط با فراورده‌های دیگر به‌کار برد. معمولاً از روغن کره برای بازساخت فراورده‌های مختلف لبنی و همچنین در تولید شکلات و بستنی استفاده می‌شود. تقاضا برای مصرف کره در حال کاهش است و یک دلیل آن افزایش مصرف روغن کره است. یکی از زمینه‌های رایج کاربرد روغن کره در تولید فراورده‌های چرب مخلوط با نسبت‌های متفاوت از کره، روغن‌های نباتی، روغن‌های دریایی (ماهی) و جز اینها با میزان چربی مختلف و همچنین ساخت فراورده‌هایی با خواص و کاربردهای ویژه است.

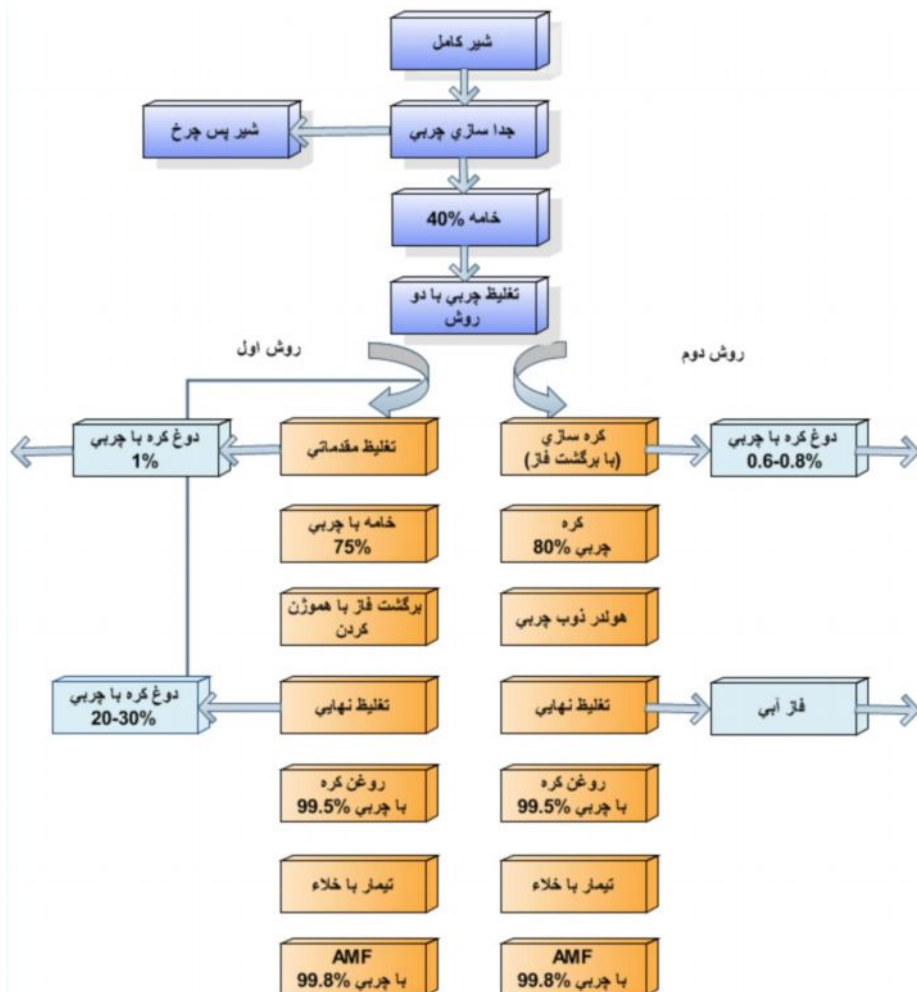
اصول تولید روغن کره

به طور کلی، تولید روغن کره با دو روش انجام می‌پذیرد: روش تولید از طریق جریان پیوسته و مستقیم از خامه (شیر) و از طریق کره. نمودار ۵ این دو روش را نشان می‌دهد. کیفیت روغن کره وابسته به کیفیت مواد اولیه است. بنابراین، نوع روش مورد استفاده بسیار مهم است. چنانچه شرایط ایجاب نماید که از کره یا خامه نه چندان خوب به عنوان مواد اولیه استفاده شود، می‌توان با عملیاتی چون جلا دادن (شستشوی) روغن و خنشی‌سازی قبل از طی مرحله نهایی، کیفیت را ارتقا داد.

تولید روغن کره از خامه

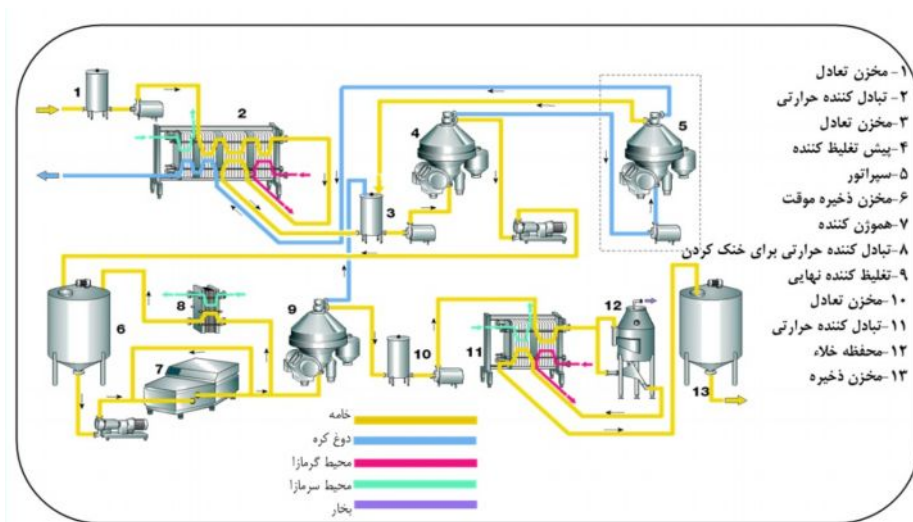
خط تولید روغن کره از خامه به طور مختصر در شکل ۱۱ نشان داده شده است. خامه پاستوریزه یا غیرپاستوریزه با محتوای چربی ۴۰ - ۳۵ درصد از طریق مخزن تعادل (۱) وارد خط تولید روغن کره می‌شود. در ابتدا به سوی تبادله کننده حرارتی صفحه‌ای (۲) رفته تا

دمای آن برای ورود به سپراتور (۴) برای طی مراحل پیش تغلیظ^۱ چربی تا حد تقریبی ۷۵ درصد تنظیم شود (دما در پیش تغلیظ‌کن و در تبادله‌کننده حرارتی صفحه‌ای نهایی (۱۱) در حدود ۶۰ درجه سانتیگراد است). فاز سبک (چربی) در مخزن ذخیره موقت (۶) جمع‌آوری می‌شود. معمولاً فاز سنگین (دوغ کره) را برای بازیافت چربی باقیمانده از سپراتور (۵) عبور می‌دهند. چربی بازیافتی با خامه ورودی (۳) مخلوط می‌شود. شیر پس‌چرخ برای بازیافت حرارتی به تبادله‌کننده حرارتی صفحه‌ای (۲) ارسال و سپس در مخزن ذخیره می‌شود.



نمودار ۵ نمودار ستونی تولید روغن کره

خامه تغلیظ شده پس از جمع‌آوری در مخزن ذخیره موقت (۶) به هموژن‌کننده (۷) برای تعویض فاز وارد و سپس از میان تغلیظ‌کننده نهایی (۹) عبور داده می‌شود. هموژن‌کننده در ظرفیت نسبتاً بالاتر از تغلیظ‌کننده عمل می‌کند و محصول مازاد با تغلیظ‌کننده دریافت نمی‌شود و چرخشی به مخزن ذخیره موقت (۶) برگشت می‌نماید. قسمتی از انرژی مکانیکی بکاررفته در فرایند هموژن‌کننده به گرما تبدیل می‌شود که برای اجتناب از بروز آشفته‌گی در چرخه دمای تولید، این حرارت مازاد توسط خنک‌کننده (۸) حذف می‌شود. در انتهای خط تولید، روغن با محتوای ۹۹/۵ درصد چربی در تبادله حرارتی صفحه‌ای (۱۱) تحت عملیات پیش‌حرارتی تا دمای ۹۸-۹۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته و به داخل محفظه خلأ (۱۲) وارد می‌شود. در این مرحله رطوبت آن در کمتر از ۰/۱ درصد تنظیم و پس از خنک‌شدن (۱۱) تا دمای ۴۰-۳۵ درجه سانتیگراد برای بسته‌بندی آماده می‌شود. اجزای کلیدی در کارخانه‌ای که از خامه برای تولید روغن کره استفاده می‌کند سپراتورهای تغلیظ‌کننده چربی و هموژن‌کننده‌ها برای تعویض فاز است.



شکل ۱۱ خط تولید روغن کره از خامه

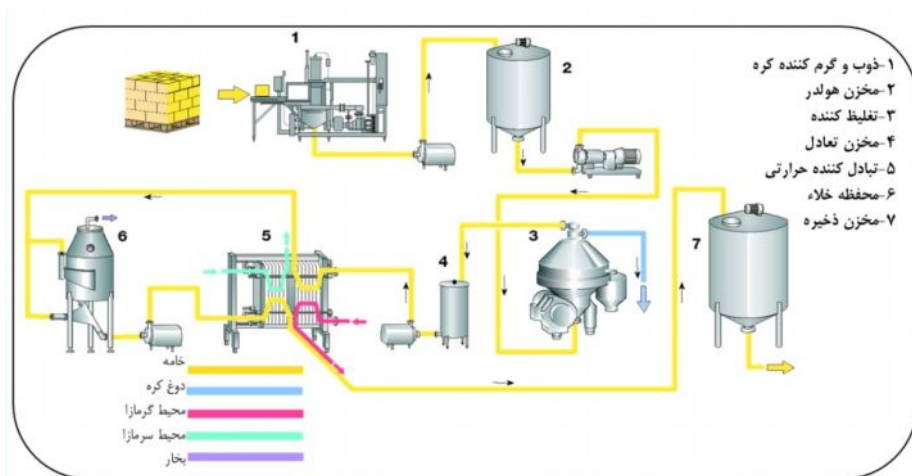
تولید روغن کره از کره

به طور معمول، روغن کره را از کره تولید می‌نمایند. در تولید این فراورده از کره مازادی که گمان نمی‌رود در آینده نزدیک به کار رود، استفاده می‌شود. یافته‌های تجربی نشان داده است که استفاده از کره تازه برای تولید این محصول مشکلاتی پدید می‌آورد، مثلاً روغن تهیه

شده از کره تازه کمی رنگ تیره دارد اما این حالت در روغن تهیه شده از کره‌ای که دو هفته یا بیشتر از عمر آن گذشته، دیده نشده است. دلیل این پدیده هنوز کاملاً شناخته شده نیست، اما مشخص شده است که این حالت در کره تازه و قبل از رسیدن و توسعه بافت کره بیشتر به وقوع می‌پیوندد و همچنین مشاهده شده که در هنگام فرایند حرارتی، امولسیون کره تازه در مقایسه با کره کهنه ناپایدار خواهد بود.

معمولاً کره به دست آمده از خامه شیرین و نمک زده، به عنوان ماده خام در تولید به کار می‌رود، اما ممکن است از کره تهیه شده از خامه کشت داده شده و نمک زده نیز استفاده شود. در شکل ۱۲ خط تولید استاندارد برای تولید روغن کره از کره نشان داده شده است. ورودی مواد اولیه بسته‌های ۲۵ کیلوگرمی کره‌ای است که مدت زمانی از تولید آن‌ها گذشته است. همچنین، ممکن است از کره منجمد ذخیره شده در ۲۵- درجه سانتیگراد نیز استفاده شود. قالب کره‌ها را پس از بیرون آوردن از پوشش بسته‌بندی با استفاده از حرارت غیر مستقیم ذوب می‌نمایند. قبل از تغلیظ نهایی باید دمای کره ذوب شده به ۶۰ درجه سانتیگراد رسانده شود.

ذوب کردن کره با دمای مستقیم (تزریق بخار) باعث شکل‌گیری نوع جدید امولسیون با حبابچه‌های هوا به صورت فاز منتشر در کره ذوب شده می‌شود که جدا نمودن آن بسیار مشکل است و در مرحله تغلیظ، این فاز باعث بروز تیرگی و کدر شدن در روغن می‌شود.



شکل ۱۲ خط تولید روغن کره از کره

محصول پس از ذوب شدن به صورت داغ به مخزن نگهداری (۲) پمپ می‌شود. در این محل برای تکمیل ذوب و لخته‌شدن پروتئین‌ها آن به مدت ۳۰-۲۰ دقیقه نگهداری می‌نمایند. پس از طی زمان لازم محصول از مخزن نگهداری با پمپ به تغلیظ‌کننده نهایی (۳) فرستاده و پس از این که غلظت چربی فاز سبک ۹۹/۵ درصد شد، به تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای (۵) منتقل می‌شود و در آنجا در معرض دمای ۹۵-۹۰ درجه سانتیگراد، قرار می‌گیرد و پس از عبور از محفظه خلاء (۶) و خنک‌شدن در تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای (۵) تا دمای ۴۰-۳۵ درجه سانتیگراد، آماده بسته‌بندی می‌شود.

فاز سنگین را با پمپ به مخزن دوغ کره یا مخزن جمع‌آوری فاضلاب، بسته به خالص یا آلوده بودن به ماده خنثی‌کننده، می‌فرستند. اگر کره مستقیم از سیستم کره‌ساز پیوسته، به خط تولید وارد شود، همان خطر بروز تیرگی در محصول نهایی وجود دارد. در این صورت باید در مرحله تغلیظ نهایی برای به‌دست آوردن روغن شفاف با ۹۹/۵ درصد چربی، در تنظیم دستگاه اقداماتی صورت گیرد که موجب کاهش جزیی بهره تولید و افزایش چربی (تقریباً ۷ درصد) در فازسنگین (دوغ کره) خواهد شد. چربی باقیمانده در دوغ کره با خامه‌گیر جدا و به مسیر خامه ورودی خط تولید فرستاده می‌شود.

تصفیه روغن کره

تصفیه روغن کره با اهداف گوناگونی از جمله موارد زیر صورت می‌گیرد:

- جلا دادن،
- خنثی‌سازی،
- جداسازی جزئی^۱ (جداسازی چربی‌های با نقطه ذوب بالا)،
- حذف کلسترول.

جلا دادن

جلا دادن^۲ عملیات شستن روغن با آب برای دستیابی به شفافیت و درخشش محصول است. در این مرحله ۳۰-۲۰ درصد آب به روغن خارج شده از تغلیظ‌کننده نهایی اضافه می‌شود. قبل از اختلاط باید دمای آب با روغن یکسان شود، پس از طی یک زمان کوتاه آب را از روغن جدا می‌نمایند. گفته شده آب به عنوان حلال با حل کردن ناخالصی‌ها (به طور عمده پروتئین‌ها) در خود و خارج نمودن آن‌ها در بروز شفافیت روغن مفید است.

1. Fractionation

2. polishing

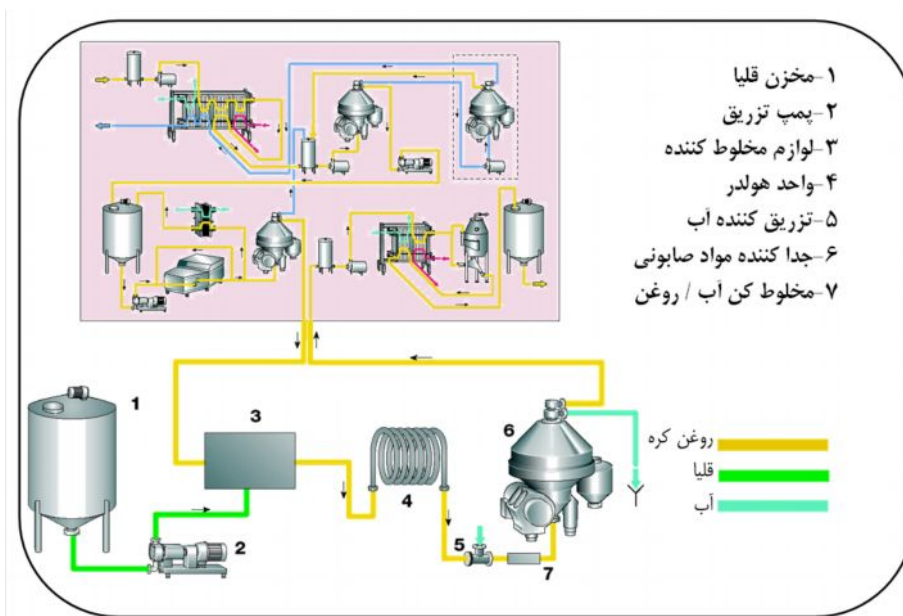
خنثی‌سازی

هدف از خنثی‌سازی^۱ کاهش مقدار اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن است. افزایش مقدار اسید چرب آزاد در روغن طعم نامطبوع در روغن و در فراورده‌های تولید شده از آن ایجاد می‌کند. برای این کار یک قلیا مانند (NaOH) در غلظت ۱۰ - ۸ درصد، برابر با مقدار اسیدهای چرب آزاد به آن اضافه می‌نمایند. پس از زمان نگهداری کوتاه (حداکثر ۱۰ ثانیه)، آب با همان نسبت گفته شده در جلا دادن اضافه می‌شود. در این حالت اسیدهای چرب آزاد صابونی شده، در فاز آبی حل و از روغن خارج می‌شوند. نکته مهم در انجام این عملیات اختلاط مناسب روغن با قلیاست. اختلاط می‌باید برای اجتناب از امولسیون‌سازی چربی و قلیا، با ملایمت تمام انجام گیرد.

ترتیب مراحل خنثی‌سازی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. محلول قلیا در مخزن (۱) با غلظت ۱۰ - ۸ درصد و با دمای همسان به روغن در حال خروج از تغلیظ کننده نهایی (۲) تزریق می‌شود. پس از اختلاط کامل (۳) و عبور از قسمت نگهدارنده (۴)، آب داغ به مقدار ۲۰ درصد، به داخل جریان، تزریق شده (۵) و در پایان از طریق واحد مخلوط کننده (۷) برای حذف آب و صابون و شستشوی نهایی وارد دومین تغلیظ کننده (۶) می‌شود.

جداسازی جزیی

جداسازی جزیی، فرایندی برای جداسازی چربی‌های با نقطه ذوب بالا از چربی‌های با نقطه ذوب پایین است. این جداسازی در فراورده‌های خاصی کاربرد دارد. برای جداسازی روش‌های گوناگونی وجود دارد اما روشی که در آن از هیچ نوع افزودنی استفاده نشود، برتری دارد. اصول کلی فرایند را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود: برای این فرایند اغلب از روغن کره جلا داده شده با بالاترین درجه خلوص استفاده می‌شود. ابتدا روغن را با استفاده از حرارت غیر مستقیم ذوب و سپس با بکارگیری دماهای محاسبه شده مرحله به مرحله روغن را خنک می‌نمایند. در هر مرحله از خنک‌سازی بلورهایی از چربی‌های با نقطه ذوب بالا تشکیل می‌شود. بلورها را در همان دما به وسیله صافی‌های خاصی جدا می‌نمایند و دما را پایین تر می‌برند و مجدداً بلورهایی را که جدید تشکیل شده‌اند، جدا می‌نمایند. فرایند تا مرحله دستیابی به چربی‌های با نقطه ذوب مشخص پیش برده می‌شود.



شکل ۱۳ خنثی‌سازی اسیدهای چرب آزاد

حذف کلسترول

حذف کلسترول^۱ فرایندی است که در آن کلسترول از روغن کره حذف می‌شود. روش متداول برای این کار، مخلوط کردن روغن با یک نشاسته مخصوص به نام بتاسیکلو دکسترین^۲ است. مولکول BCD، کلسترول را محاصره می‌کند و رسوب تشکیل می‌دهد. رسوب را می‌توان به وسیله سانتریفوژ جدا نمود.

بسته‌بندی

روغن کره را در ظرفی با اندازه‌های مختلف بسته‌بندی می‌نمایند. برای مصارف خانگی و رستوران‌ها از ظروف ۱ تا ۱۹/۵ کیلوگرمی استفاده می‌شود و برای مصارف صنعتی آن را در بشکه‌های ۱۸۵ کیلوگرمی پر می‌کنند. معمولاً یک گاز خنثی مانند نیتروژن به بسته تزریق می‌شود. این گاز از هوا سنگین‌تر است. پس از پرکردن ظرف، گاز خنثی به صورت یک مانع بین سطح محصول و هوا قرار می‌گیرد و آن را در برابر آثار اکسیداسیون اکسیژن موجود در هوا محافظت می‌نماید.

1. Decholesterolisation

2. Beta cyclodextrin = BCD

نمونه سؤالات این فصل

۱. ورود هوا به داخل خامه زدنی باعث بروز چه عیوبی می‌شود؟
۲. دوغ کره حاصل از کره شیرین چه کاربردی دارد؟
۳. عمل مالش دادن کره چیست و چه تاثیری بر ویژگی‌های کیفی آن دارد؟
۴. مهم‌ترین مواد طعم‌زایی را که باکتری‌ها در کره تولید می‌کنند نام ببرید؟

فصل یازدهم

تولید بستنی

اهداف رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با طبقه‌بندی انواع بستنی،
- اصول تولید بستنی و فرمولاسیون آن،
- روش‌های کاربرد انواع پایدارکننده و تثبیت‌کننده‌ها،
- محاسبه افزایش حجم در بستنی،
- دستگاه‌ها و سیستم‌های تولید بستنی،
- کنترل کیفیت در بستنی.

هرچند زمان تولید اولین بستنی نامعلوم است، اما منشأ اصلی آن را چین می‌دانند. در نوشته‌های بسیار قدیم چینی، شرحی درباره یک محصول منجمد که از مخلوط شدن آب‌میوه با برف به صورت منجمد تهیه می‌شد، وجود دارد که ما امروزه آن را بستنی یخی می‌نامیم. ظاهراً مصرف این نوع دسر منجمد در یونان باستان و روم در جشن‌های خصوصی ثروتمندان رواج داشته است.

پس از چند قرن که تولید بستنی فراموش شده بود، در قرون وسطی دوباره در ایتالیا شکل‌های گوناگون بستنی پدیدار شد. علت تولید بستنی در ایتالیا احتمالاً به دلایل سفر مارکوپولو، سیاح ایتالیایی به چین بود. در آن زمان یعنی سال ۱۲۹۵ مارکوپولو به تازگی پس از ۱۶-۱۷ سال از چین به ایتالیا برگشته بود. او طرز درست کردن یک دسر منجمد بر پایه شیر را در یادداشت‌های خود شرح داده است. از قرن هفدهم بستنی از ایتالیا به تمام اروپا گسترش یافت و تا مدت‌ها به عنوان یک دسر تجملی فقط در محافل سلطنتی مصرف می‌شد. عرضه بستنی^۱ در آمریکا از قرن هجدهم شروع شد اما تا قرن نوزدهم چندان گسترش نیافته بود. در این سال‌ها اولین تجارتخانه عمده‌فروشی بستنی در بازار شروع به فعالیت کرد.

طبقه‌بندی بستنی

بستنی را می‌توان بر اساس مواد به کار رفته در آن به چهار دسته تقسیم کرد:

- بستنی که منحصراً از فراورده‌های لبنی ساخته شده،
 - بستنی حاوی چربی گیاهی،
 - بستنی میوه‌ای که از آب میوه با افزودن چربی شیر و مواد جامد بدون چربی شیر ساخته می‌شود،
 - بستنی یخی ساخته شده از آب، شکر و عصاره میوه.
- بر اساس یک برآورد بیشترین تولید بستنی در جهان (۹۰-۸۰ درصد) به دو نوع اول است. در جدول ۱ چند فرمول بستنی نشان داده شده است.

جدول ۱ فرمول انواع بستنی

نوع بستنی	چربی درصد وزنی	MSNF درصد وزنی	شکر درصد وزنی	E/S درصد وزنی	آب درصد وزنی	افزایش حجم درصد
بستنی یخی میوه‌ای	۱۵	۱۰	۱۵	۰/۳	۵۹/۷	۱۱۰
بستنی	۱۰	۱۱	۱۴	۰/۴	۶۴/۶	۱۰۰
شیر یخی	۴	۱۲	۱۳	۰/۶	۷۰/۴	۸۵
بستنی میوه‌ای	۲	۴	۲۲	۰/۴	۷۱/۶	۵۰
بستنی یخی	۰	۰	۲۲	۰/۲	۷۷/۸	۰
چربی آب MSNF شکر E/S افزایش حجم مواد دیگر:						شیر، خامه، کره یا روغن گیاهی ممکن است حاوی مواد طعم‌دهنده یا رنگ خوراکی باشد ماده خشک بدون چربی شیر (پروتئین، نمک‌ها، لاکتوز) ساکارز مایع یا جامد (شکر با ۱۰ درصد گلوکز یا شیرین کننده غیرقندی) امولسیفایر و پایدارکننده مانند: منوگلیسیریدها، ژلاتین، آلژینات مقدار هوای وارده شده در محصول تخم‌مرغ، میوه و شکلات

فرایند تولید بستنی

فرایند تولید بستنی در نمودار ۱ نشان داده شده است. اصول کلی مراحل تولید عبارتند از:

- اختلاط ترکیب مخلوط بستنی،

- پاستوریزاسیون،

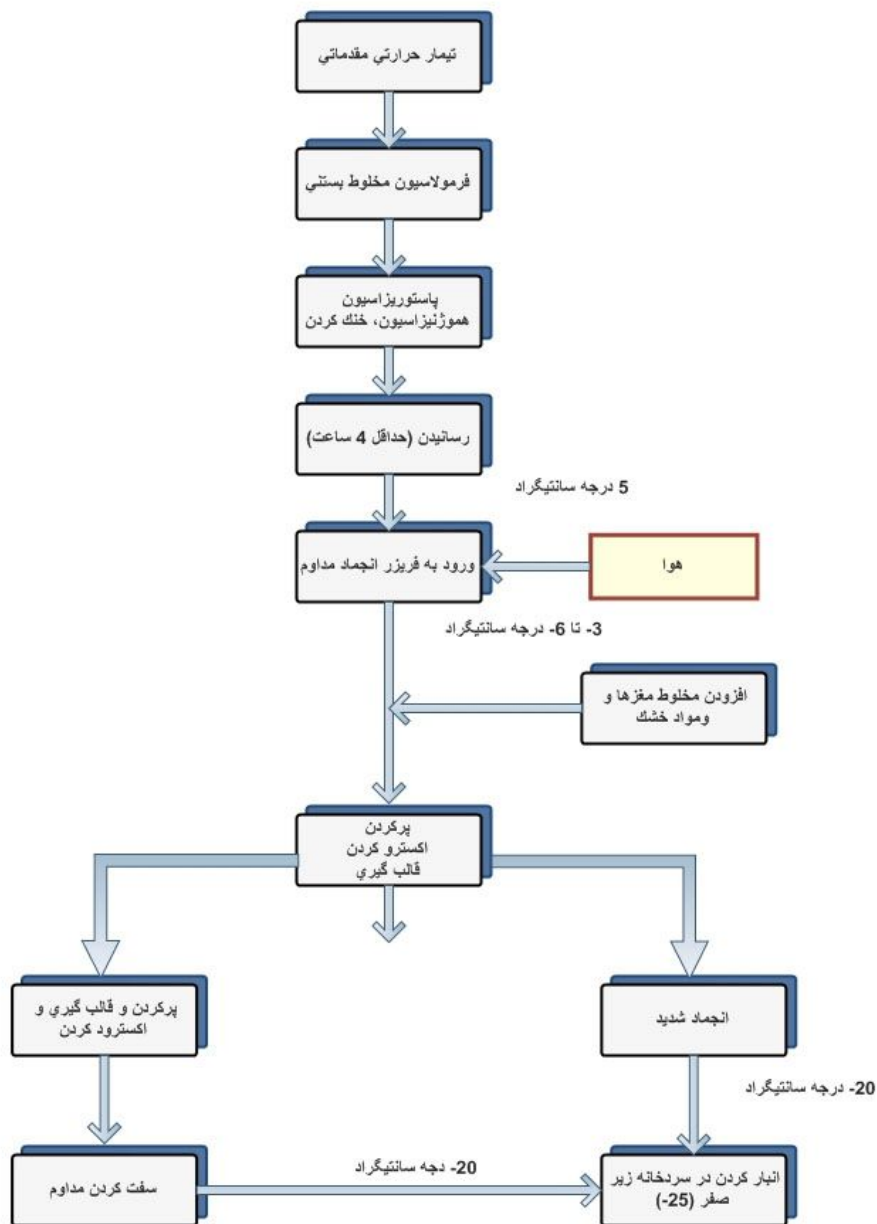
- هموزن کردن،

- رسانیدن،

- انجماد،

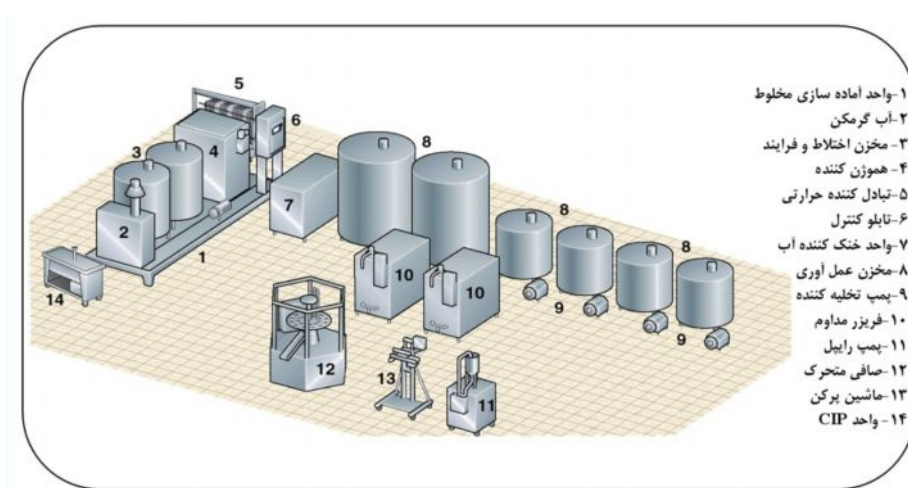
- بسته‌بندی، سفت کردن.

مواد اولیه در داخل مخازن، سیلوها، بشکه‌ها یا کیسه‌ها، متناسب با شکل فیزیکی آن‌ها ذخیره می‌شوند. مقدار ذخیره‌سازی آن‌ها در ارتباط با ظرفیت واحد تولیدی است. حجم مواد خشک در مقایسه با دیگر مواد، بسیار کم است، مواد خشک مانند پودر آب پنیر، پایدارکننده‌ها و امولسیفایرها، پودر کاکائو و جز اینها معمولاً در داخل کیسه‌های چند لایه بسته‌بندی و در واحدهای بزرگ شکر و پودر شیر با بونکر به کارخانه حمل می‌شود که می‌توان آن‌ها را با هوای فشرده جابه‌جا نمود.



نمودار ۱ فرایند تولید بستنی

معمولاً مواد مایع مانند شیر، خامه، شیر تغلیظ شده، گلوکز مایع و روغن‌های گیاهی با تانکر به کارخانه حمل می‌شوند. فراورده‌های شیری قبل از ذخیره‌سازی باید تا حدود ۵ درجه سانتی‌گراد خنک شوند. شیر تغلیظ شده شیرین، گلوکز و چربی گیاهی را باید در دمای نسبتاً بالا (۳۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) نگهداری نمود تا ویسکوزیته این مواد به قدر کافی پایین بماند و بتوان آن‌ها را با پمپ انتقال داد. چربی شیر به صورت چربی بدون آب شیر^۱ یا به شکل قالب‌های ۲۵ کیلوگرمی حمل و نقل می‌شود که در این صورت آن‌ها را ابتدا ذوب و سپس با پمپ به مخزن ذخیره‌سازی حمل و در آنجا در دمای ۴۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌نمایند. در این شرایط محموله‌ها را برای مصارف یک تا دو روزه آماده می‌کنند، تا چربی شیر اکسید نشود. در غیر این صورت باید چربی ذوب شده در مجاورت نیتروژن نگهداری شود. در شکل ۱ خط کامل تولید بستنی نشان داده شده است.



شکل ۱ نمای کلی خط تولید بستنی

فرمولاسیون

برای فرمولاسیون بستنی، وزن و یا حجم مواد را جداگانه قبل از مخلوط شدن با دقت تعیین می‌کنند. با محاسبه دقیق درصد ماده خشک بدون چربی شیر^۲ می‌توان به مخلوطی

1. AMF

2. MSNF

متناسب دست یافت. این مقدار را می‌توان با کم کردن درصد چربی کل، شکر، امولسیفایر و پایدارکننده از ۱۰۰ و ضرب باقیمانده در ۰/۱۵ (ضریب اصلاح رطوبت) به دست آورد. برای مثال، ماده خشک بدون چربی در یک بستنی با ۱۰ درصد وزنی چربی، ۱۵ درصد وزنی شکر و ۰/۵ درصد وزنی پایدارکننده و امولسیفایر، برابر است با:

$$[100 - (10 + 15 + 0.5)] \times 0.15 = 11.2\% \text{ wt.} \triangleright \text{MSNF}$$

وقتی که مقدار ماده خشک بدون چربی شیر معلوم شد، ماده خشک تام^۱ مخلوط را می‌توان بر اساس مقدار هر یک از مواد محاسبه نمود. به علاوه، افزایش حجم در یک نوع بستنی تقریباً $2/7 - 2/5$ برابر ماده خشک تام مخلوط است. در مثال فوق افزایش حجم به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$2.7 \times (10 + 15 + 0.5 + 11.2) \cong 100\%$$

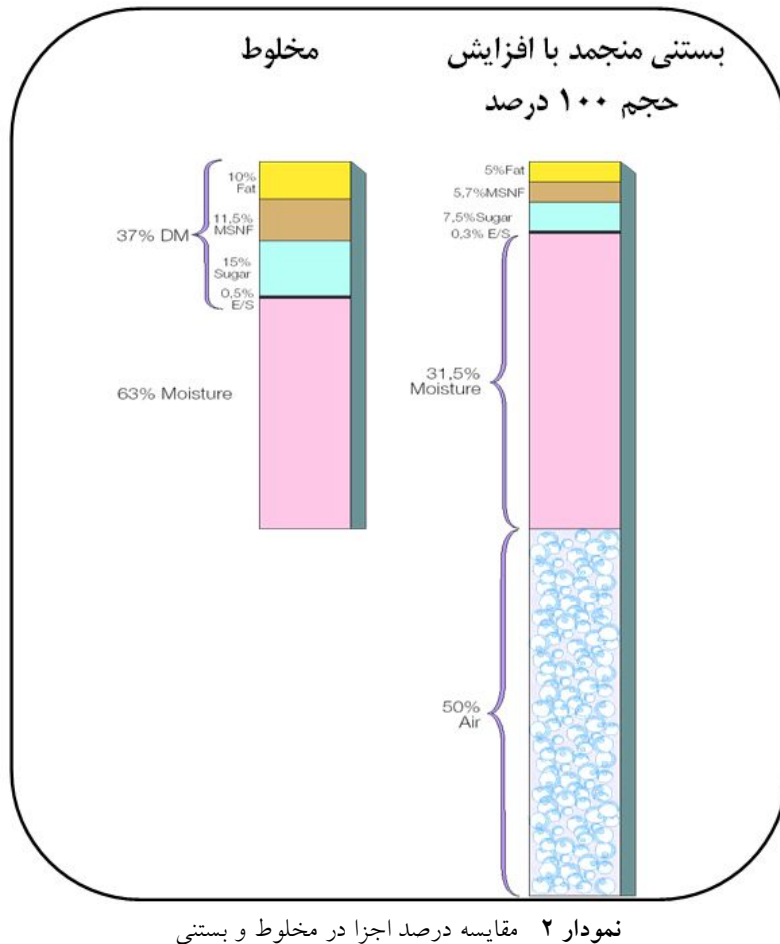
درصد ترکیبات درمخلوط بستنی و مقدار بستنی تولید شده، در نمودار ۲ نشان داده شده است. در هنگام انجماد حجم کنترل شده‌ای از هوا به داخل مخلوط به گونه‌ای تزریق می‌شود که حجم اصلی مخلوط را تا حدود دو برابر افزایش دهد. در این حالت درصد حجمی مواد در مخلوط تقریباً نصف می‌شود. در جدول دو دسته‌بندی بستنی بر اساس هزینه تولید و ترکیب اجزای آن نشان داده شده است.

جدول ۲ تأثیر برخی از ویژگی‌های بستنی بر هزینه تولید

ویژگی‌ها	اقتصادی	استاندارد	مرغوب	ممتاز
چربی	حداقل ۱۰ درصد	۱۲-۱۰ درصد	۱۵-۱۲ درصد	۱۸-۱۵ درصد
ماده خشک تام	حداقل ۳۶ درصد	۳۸-۳۶ درصد	۴۰-۳۸ درصد	بالای ۴۰ درصد
افزایش حجم	۱۲۰ درصد	۱۲۰-۱۰۰ درصد	۹۰-۶۰ درصد	۵۰-۲۵ درصد
هزینه‌ها	پایین	متوسط	بالتر از متوسط	بالا

اجزای بستنی

معمولاً در کارخانه‌های بستنی دو پایانه یکی برای دریافت مواد خشک و دیگری برای دریافت اجزای مایع وجود دارد در بخش دریافت، مواد اولیه پس از توزین آزمایش می‌شوند.



مواد به کار رفته در تولید بستنی

- چربی و چربی شیر: ۱۰ تا ۱۶ درصد بر اساس استانداردهای ملی،
- ماده جامد بدون چربی شیر: ۹-۱۲ درصد شامل پروتئین‌های شیر، لاکتوز،
- شکر و یا دیگر مواد شیرین‌کننده: ۱۲-۱۶ درصد عمدتاً ساکارز یا شربت گلوکز،
- امولسیفایرها و پایدارکننده‌ها: ۰/۵ - ۰/۲ درصد،
- مواد طعم‌دهنده،
- مواد رنگ‌دهنده،
- آب: ۵۵-۶۴ درصد شامل آب همراه شیر و دیگر مواد.

معمولاً درصد چربی و درصد ماده خشک رابطه عکس دارند. همچنین، با افزایش ماده خشک به پایدارکننده کمتری نیاز است و با افزایش مقدار چربی از مقدار امولسیفایر مصرفی کاسته می‌شود. در جدول ۳ چند فرمول پیشنهادی برای تولید انواع بستنی عرضه شده است.

چربی

چربی ۱۵-۱۰ درصد وزن مخلوط بستنی را تشکیل می‌دهد. ممکن است از چربی شیر یا چربی گیاهی در فرمول استفاده شود. در حالت اول، از شیر کامل، خامه، کره یا چربی بدون آب شیر استفاده می‌شود ولی ممکن است مقداری یا تمام چربی در بستنی با چربی گیاهی سفت شده (هیدروژنه) مانند روغن آفتابگردان، روغن نارگیل، روغن سویا و روغن کلم روغنی جایگزین شود. در صورت استفاده از روغن گیاهی در رنگ و طعم محصول در مقایسه با استفاده از چربی شیر تفاوت جزئی ایجاد می‌شود. اگر از افزودنی‌های طعم‌دهنده و رنگ‌زا در فرمولاسیون استفاده شود، این تفاوت قابل تشخیص نخواهد بود. در بعضی از کشورها استفاده از چربی گیاهی در بستنی ممنوع است.

جدول ۳ چند فرمول پیشنهادی برای تولید انواع بستنی (ارقام به درصد)

۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	چربی شیر
۹/۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۱	۱۱	ماده خشک بدون چربی
۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۲	۱۰	۱۰	شکر
-	-	۳	۳	۴	۵	۵	شربت ذرت
۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۳۵	پایدارکننده
۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	امولسیفایر
۴۰/۷۵	۴۰/۳۲	۴۱/۳۸	۴۰/۹۴	۳۸/۹۵	۳۷/۵	۳۶/۵	ماده خشک

بستنی‌های سنتی اصولاً محصولی کم‌چربند و در اغلب موارد مقدار چربی آن‌ها حدود ۴ درصد است، اما در طبقه‌بندی محصولات کم‌چرب از اصطلاحات بستنی‌های سبک، بستنی‌های کم‌چرب، بستنی‌های بی‌چربی استفاده می‌شود (جدول ۴). به دلیل تاثیر چربی در تشکیل بافت بستنی در انواع کم‌چرب معمولاً از ترکیبات جانشین چربی استفاده می‌شود تا علاوه بر حفظ قوام و بافت، تاثیرات مثبت در حس چشایی مصرف‌کننده را داشته باشد.

مواد جامد بدون چربی شیر

مواد جامد بدون چربی شیر شامل پروتئین، لاکتوز و نمک‌های معدنی است. آن‌ها به صورت پودر شیر و یا شیر پس چرخ تغلیظ شده به مخلوط بستنی افزوده می‌شوند. برای دستیابی به بهترین نتیجه، مقدار ماده خشک بدون چربی باید همیشه با مقدار چربی نسبت معین داشته باشد. مقدار مناسب ماده خشک بدون چربی ۱۱-۱۱/۵ درصد وزن مخلوط را تشکیل می‌دهد. در این حالت مقدار چربی مخلوط بستنی باید ۱۰-۱۲ درصد باشد.

جدول ۴ فرمول برای بستنی‌های سبک، کم چرب و نیم چرب (ارقام به درصد)

نیم چرب		کم چرب		سبک	مواد بستنی
۸	۶	۵	۴	۳	چربی شیر
۱۱/۵	۱۲	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۳	مواد جامد بدون چربی شیر
۱۲	۱۳	۱۱	۱۱	۱۱	ساکارز
۴	۴	۵/۵	۵/۵	۶	شربت ذرت
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	استابلایزر
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	امولسیفایر
۳۶	۳۵/۵	۳۴/۴۵	۳۳/۴۵	۳۳/۶۵	ماده خشک

تنظیم مقدار پروتئین مخلوط بستنی نیز بسیار اهمیت دارد که اغلب در فرمولاسیون بستنی نادیده گرفته می‌شود، وجود حداقل ۴ درصد پروتئین در مخلوط باعث می‌شود:

- خواص امولسیفایری بیشتر شود،
- خواص زدنی بهبود یابد،
- ظرفیت نگهداری آب و افزایش ویسکوزیته مخلوط بهبود یابد و از ذوب بستنی جلوگیری شود.

مواد جامد بدون چربی علاوه بر داشتن ارزش غذایی بالا به واسطه ایجاد پیوند با آب سبب بهبود بافت بستنی می‌شوند. پروتئین موجود در توزیع مناسب هوا در بافت بستنی به هنگام فرایند انجماد نقش مهمی دارد.

شکر

ایجاد طعم شیرین با افزودن شکر و ترکیبات مشابه آن ایجاد می‌شود، اما نقش مهم شکر در فرمولاسیون بستنی، افزایش و تنظیم ماده جامد است. معمولاً مخلوط بستنی ۱۰ تا ۱۸ درصد وزنی شکر دارد. عوامل مختلفی بر اثر شیرین‌کنندگی و کیفیت محصول نقش دارند. در مخلوط بستنی ممکن است از ترکیبات مختلفی مانند شکر تهیه شده از چغندر قند و نیشکر، گلوکز، لاکتوز و قند اینورت (مخلوط گلوکز و فروکتوز) استفاده شود که باید در محاسبات ماده خشک مد نظر قرار گیرند. در صورت استفاده از شیر تغلیظ شده شیرین هر دو اثر شیرین‌کنندگی و افزودن ماده جامد بدون چربی در آن به کار رفته است.

گاهی اوقات شکر معمولی را برای سهولت مصرف با غلظت ۵۵ - ۵۰ درصد در دمای محیط در آب حل می‌نمایند. با افزایش دما تا ۸۰ درجه سانتیگراد می‌توان به غلظت ۷۰ درصد نیز دست یافت. مصرف شکر مایع در مقایسه با شکر خشک آسان‌تر است.

در تولید بستنی‌های رژیمی برای افراد دیابتی از شیرین‌کننده‌های مصنوعی^۱ به جای شکر استفاده می‌شود. شیرین‌کننده‌های مصنوعی ارزش غذایی ندارند اما حتی در مقادیر بسیار کم، شیرینی زیادی ایجاد می‌نمایند. باید دقت داشت که مصرف شیرین‌کننده‌ها برخلاف شکر اثر حفاظت‌کنندگی ندارد و نمی‌تواند ویژگی‌های بافتی شکر را در فرمول بستنی تامین نماید.

شکر و لاکتوز باعث می‌شوند بخشی از آب حتی در دمای ۱۵- تا ۱۸- درجه سانتیگراد بدون انجماد باقی بماند این کار باعث نرمی بافت بستنی می‌شود.

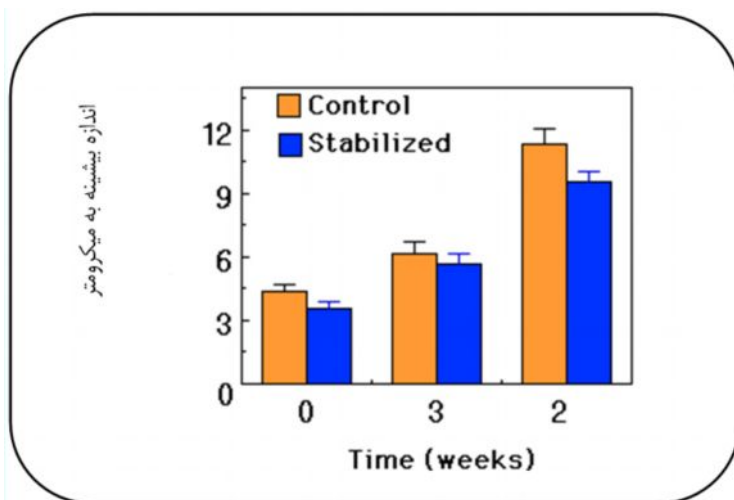
امولسیفایر

امولسیفایرها^۱ موادی هستند که با کاهش کشش سطحی در فراورده‌های مایع باعث به تعلیق درآمدن چربی می‌شوند. آن‌ها در بستنی ساختار چربی، توزیع مناسب هوا و کیفیت ذوب را بهبود می‌بخشند. آن‌ها اغلب از پروتئین‌های آب‌دوست تشکیل شده‌اند و واسطه ارتباط بین آب و چربی هستند. زرده تخم مرغ به عنوان یک امولسیفایر طبیعی به خوبی شناخته شده است. اما در مقایسه با انواع دیگر گران و کم اثر است. امولسیفایرها اساساً مشتقات غیر یونی چربی‌های طبیعی‌اند و به صورت استریفیه^۲ با یک یا چند عامل آب‌دوست (محلول در آب) و همزمان با یک یا چند عامل محلول در چربی (چربی‌دوست) اتصال دارند. امولسیفایرهای مورد استفاده در تولید بستنی را می‌توان به چهار گروه استرهای گلیسرین، استرهای سوربیتول، استر قندی و استر دیگر مواد آلی تقسیم کرد. مقدار لازم در فرمولاسیون معمولاً ۰/۵ - ۰/۳ درصد وزن در مخلوط بستنی است.

پایدارکننده‌ها

پایدارکننده‌ها^۳ موادی هستند که وقتی در فاز آبی قرار می‌گیرند با تعداد زیادی از مولکول‌های آب اتصال ایجاد می‌نمایند. این عمل را آب‌گیری^۴ می‌گویند، در این حالت پایدارکننده با ایجاد یک شبکه، از حرکت آسان مولکول‌های آب جلوگیری می‌کند. دو نوع پایدارکننده وجود دارد: پروتئینی و کربوهیدراتی. گروه پروتئینی شامل ژلاتین، کازئین، آلبومین و گلوبولین و گروه کربوهیدراتی شامل کلئیدهای معدنی، همی سلولز و ترکیبات اصلاح شده سلولز است. در نمودار ۳ تاثیر پایدارکننده‌ها در کوچک ماندن بلورهای یخ در بستنی نشان داده شده است.

-
1. Emulsifiers
 2. Sterified
 3. Stabilizers
 4. Hydration



نمودار ۳ تاثیر پایدارکننده‌ها در کوچک ماندن بلورهای یخ در بستنی

صمغ‌های پلی‌ساکاریدی نیز بخش مهمی از پایدارکننده‌ها را تشکیل می‌دهند، آن‌ها در افزایش ویسکوزیته مخلوط، جلوگیری از بروز و تاثیر شوک حرارتی و بلور شدن مجدد بستنی در زمان نگهداری و ارتقای ماندگاری محصول نقش دارند. از فواید پایدارکننده‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- جلوگیری از خامه بستن،
 - کمک به تثبیت حباب‌های هوا در بافت بستنی،
 - جلوگیری از بلور شدن مجدد لاکتوز در هنگام نگهداری،
 - جلوگیری از چروکیدگی بافت بستنی ناشی از درهم فرو ریختن حباب‌های هوا،
 - جلوگیری از مهاجرت رطوبت در داخل بسته‌بندی،
 - بهبود حس دهانی در هنگام مصرف و توزیع و تثبیت مناسب طعم در بافت بستنی.
- از محدودیت‌های مصرف پایدارکننده‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- بروز برخی اختلالات ذوبی در محصول نهایی با افزایش ویسکوزیته،
 - مختل شدن انجماد با افزایش بیش از حد ویسکوزیته،
 - توزیع نامناسب سفتی و نرمی بافت در بدنه بستنی بر اثر مصرف نادرست پایدارکننده‌ها.
- از انواع صمغ‌های رایج مورد استفاده در صنعت بستنی‌سازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- صمغ گوار (از نوعی لوبیا استخراج می‌شود)،
 - کربوکسی متیل سلولز (از ثعلب و گیاهان این خانواده استخراج می‌شود)،

- صمغ زانتان (از میکروارگانیزم زانتاموناس کامسترز^۱ در محیط کشت صنعتی تهیه می‌شود)،
 - آلژینات سدیم (از نوعی جلبک دریایی به دست می‌آید)،
 - کاراگینان (از جلبک قرمز به دست می‌آید)،
 - ژلاتین (با منشأ دامی از استخوان گاو یا گوسفند یا ضایعات کشتارگاهی تولید می‌شود)،
- مقدار مصرف پایدارکننده‌ها معمولاً ۰/۴ - ۰/۲ درصد وزنی مخلوط بستنی است.

طعم‌دهنده‌ها

افزودنی‌های طعم‌دهنده^۲ در فرمولاسیون بستنی نقش مهمی در انتخاب مصرف‌کننده دارند. عموماً از وانیل^۳، بادام عسلی^۴، شکلات، توت فرنگی و مغز فندق^۵ بعنوان طعم‌دهنده استفاده می‌شود و آن‌ها را در مرحله مخلوط شدن به سایر مواد می‌افزایند. اگر طعم‌دهنده دارای ذرات بزرگ مانند بادام عسلی، فندق، میوه و مربا باشد آن را به مخلوط در حال انجماد اضافه می‌نمایند. معمولاً از کاکائو^۶ به طور گسترده به صورت پوشش شکلاتی در بستنی‌سازی استفاده می‌شود. برای این منظور کاکائو را با یک چربی مانند کره کاکائو مخلوط می‌کنند تا ویسکوزیته، قابلیت انعطاف و قوام مناسب داشته باشد.

رنگ خوراکی

از مواد رنگی خوراکی برای ایجاد ظاهری جذاب و ارتقای رنگ میوه‌ای متناسب با طعم استفاده می‌شود. معمولاً مواد رنگی به شکل غلیظ به مخلوط افزوده می‌شود، ولی باید دقت شود که فقط از مواد رنگی مجاز و استریل استفاده گردد.

توزین، اندازه‌گیری و اختلاط

مواد خشک به آسانی توزین می‌شوند، اجزای مایع را با توزین یا حجم سنجی اندازه‌گیری می‌نمایند. در واحدهایی با ظرفیت پایین و حجم کم، اجزای خشک فرمول را پس از توزین با دست به مخزن اختلاط انتقال می‌دهند. این مخازن به گونه‌ای طراحی شده‌اند که حرارت غیر مستقیم در آن‌ها به همزن‌های قوی مجهزند.

-
1. *Xanthomonas campestris*
 2. *Flavoring*
 3. *Vanilla*
 4. *Nougat*
 5. *Nut*
 6. *Cocoa*

عملیات فوق برای تولید در مقیاس بزرگ به طور خودکار و اغلب براساس مشخصات سفارش دهنده طراحی می‌شود. مواد اولیه داخل مخزن حرارت داده و مخلوط می‌شوند تا حالت تقریباً یکسان پیدا نمایند، پس از آن مخلوط به دست آمده پاستوریزه و هموژن می‌شود. معمولاً برای تولید در ظرفیت‌های بالا از دو مخزن اختلاط با حجم متناسب با ظرفیت ساعتی دستگاه پاستوریزاتور (برای حفظ جریان مداوم) استفاده می‌شود. مواد خشک مخصوصاً پودر شیر به جریان آب در حال دوران، اضافه می‌شود. قبل از برگشت مخلوط به مخزن آن را تا ۶۰ - ۵۰ درجه سانتیگراد برای آسان حل شدن مواد، گرم می‌نمایند. اجزای مایع مانند شیر، خامه، شکر مایع و جز اینها را پس از اندازه‌گیری به مخزن وارد می‌کنند.

محاسبه افزایش حجم یا ورآمدن بستنی^۱

ورآمدن به صورت درصد افزایش حجم بستنی نسبت به حجم اولیه مخلوط محاسبه می‌شود، برای مثال، اگر از یک لیتر مخلوط مقدار ۱/۵ لیتر بستنی به دست آید افزایش حجم ۵۰ درصد خواهد بود.

$$\text{درصد ورآمدن (درصد افزایش حجم)} = \frac{\text{حجم مخلوط} - \text{حجم بستنی}}{\text{حجم مخلوط}} \times 100$$

مثال ۱:

از ۵۰۰ لیتر مخلوط مقدار ۹۸۰ لیتر بستنی تولید شده است درصد افزایش حجم (ورآمدن) چقدر است؟

$$\text{افزایش حجم} = 96\% = [(980 - 500) \div (500)] \times 100$$

مثال ۲:

از ۸۰ لیتر مخلوط با افزودن ۱۰ لیتر شربت شکلات، ۱۷۰ لیتر بستنی شکلاتی تولید شده است مقدار افزایش حجم چقدر است؟

توجه: ترکیبات طعم‌دهنده مانند شربت شکلات در ترکیب هواگیری مخلوط تأثیر دارد.

$$\text{درصد افزایش حجم} = 88.8\% = [(170 - (80 + 10)) \div (80 + 10)] \times 100$$

مثال ۳

از ۴۰ لیتر مخلوط با افزودن ۲۸ لیتر پودر گردو، ۱۱۰ لیتر بستنی گردویی تولید شده است. مقدار افزایش حجم چقدر است؟

توجه: ترکیباتی مانند پودر گردو در ترکیب هواگیری مخلوط تاثیر ندارند و باید از کل حجم بستنی کم شوند.

$$۱۱۰ - ۲۸ = \text{لیتر بستنی واقعی}$$

$$\text{در نتیجه درصد افزایش حجم} = 105\% = [(82 - 40) \div 40] \times 100$$

اندازه‌گیری افزایش حجم (ورآمدن) براساس وزن

در این روش باید چگالی مخلوط که از چگالی تک تک اجزای آن به دست می‌آید تعیین می‌شود.

چگالی مخلوط:

$$1000 + (\text{درصد آب} \div 100) \times 0.6329 - (\text{درصد چربی} \div 100) \times (\text{ماده جامد} \div \text{وزن بر لیتر مخلوط}) = \text{وزن بر لیتر مخلوط}$$

$$100 \times [\text{وزن همان حجم از بستنی} \div (\text{وزن همان حجم از بستنی} - \text{وزن مخلوط})] = \text{درصد افزایش حجم}$$

معمولاً چگالی مخلوط (وزن یک لیتر) در حدود $1/1 - 1/0.9$ کیلوگرم بر لیتر است.

مثال ۴:

اگر یک لیتر بستنی ۵۶۰ گرم وزن داشته باشد، افزایش حجم آن چقدر بوده است؟

$$\text{درصد افزایش حجم} = 94/6\% = 100\% \times [560 - 1090] \div 560$$

البته محاسبه افزایش حجم بر اساس وزن چندان دقیق نیست، ولی در مواردی دانستن مقدار افزایش حجم برای انتخاب لیوان مناسب می‌تواند مفید باشد.

هموژن و پاستوریزه کردن

برای تولید بستنی در مقیاس بالا، مخلوط بستنی پس از عبور از صافی به مخزن تعادل وارد و از آن جا به تبادله کننده حرارتی صفحه‌ای فرستاده می‌شود تا در دمای $75 - 73$ درجه سانتیگراد تحت فرایند حرارتی مقدماتی قرار گیرد. سپس چربی بدون آب شیر یا چربی گیاهی را به اندازه مناسب به مخلوط افزوده و خوب هم‌زده می‌شود، مخلوط را در فشار $20 - 14$ مگاپاسکال ($200 - 140$ بار)، هموژن می‌نمایند. پس از این مرحله آن را پاستوریزه می‌کنند. در واحدهای بزرگ، مخلوط هموژنیزه را در دمای $85 - 83$ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه می‌نمایند. مخلوط پاستوریزه تا دمای ۵ درجه سانتیگراد خنک و سپس به مخزن رسانیدن فرستاده می‌شود.

در روش تولید غیر پیوسته، مخلوط را با مقدار چربی مشخص در داخل مخزن، در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و زمان ۳۰ دقیقه پاستوریزه می‌کنند. سپس آن را از میان هموژن‌کننده عبور می‌دهند و پس از آن با تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای تا ۵ درجه سانتیگراد خنک می‌کنند و به مخزن رسانیدن^۱ انتقال می‌دهند.

رسانیدن

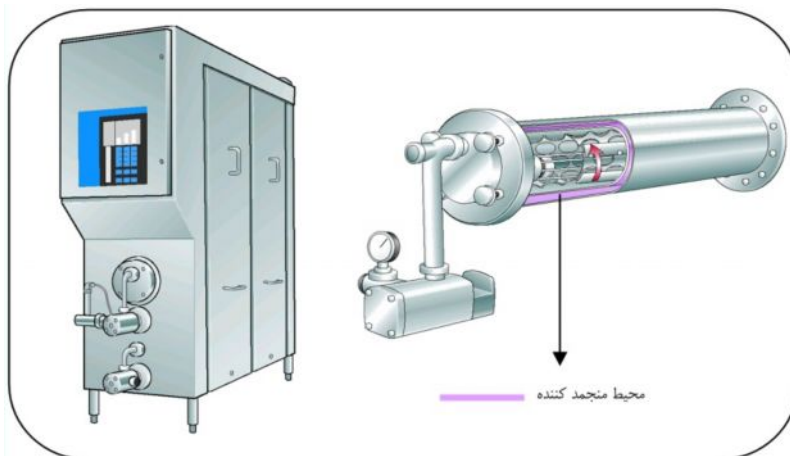
مخلوط باید برای عمل‌آوری و رسیدن، به مدت ۴ ساعت در دمای ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد همراه با هم‌زدن ملایم نگهداری شود. رسانیدن، فرصت لازم را برای عمل پایدارکننده‌ها و تبلور چربی فراهم می‌آورد.

انجماد مداوم

فریزرهای مداوم دو عمل را به انجام می‌دهند:

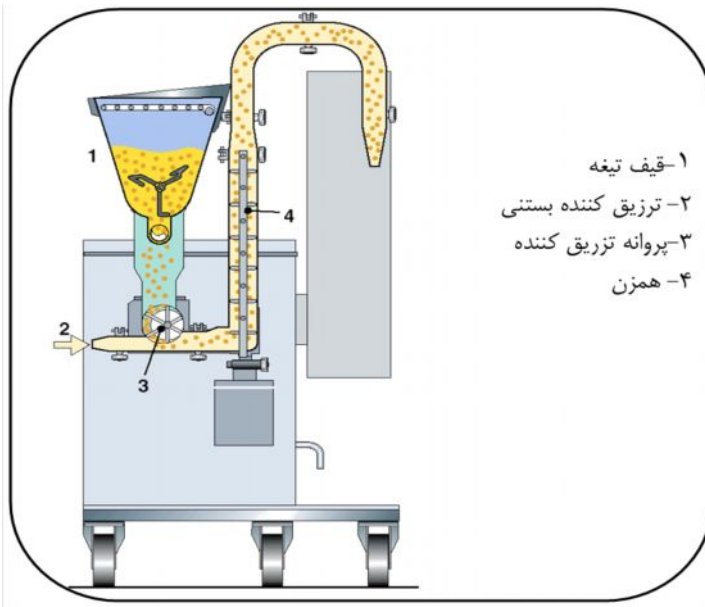
- زدن و افزودن مقدار کنترل شده هوا به داخل مخلوط،
- انجماد آب موجود در مخلوط و تولید بلورهای ریز یخ.

در شکل ۲ نمای خارجی و داخلی فریزر مداوم نشان داده شده است. مخلوط با پمپ به داخل استوانه منجمدکننده که با یک پوشش آمونیاکی تا دمای بسیار پایین سرد شده است فرستاده می‌شود. انجماد بسیار سریع برای شکل‌گیری بلورهای کوچک یخ بسیار مهم است. لایه منجمد مخلوط بستنی از روی دیواره استوانه، با یک تیغه دوار به طور مداوم تراشیده می‌شود.



شکل ۲ فریزر مداوم بستنی

مخلوط از مخازن رسیدن به فریزر مداوم فرستاده می‌شود که در آن جا بسته به نوع بستنی، در حالی که دمای انجماد بین ۳- تا ۶- درجه سانتیگراد است هوا به آن تزریق می‌شود. افزایش حجم بر اثر داخل شدن هوا در مخلوط بستنی و رآمدن گفته می‌شود و معمولاً ۸۰-۱۰۰ درصد حجم را شامل می‌شود، به بیانی دیگر ۱-۰/۸ لیتر هوا در هر لیتر از مخلوط بستنی وارد می‌شود. بستنی پس از عبور از فریزر مداوم دارای بافتی یخی و نرم است. در این حالت ۴۰ درصد آب موجود در آن منجمد شده است. سپس آن را با پمپ به مرحله بعدی فرایند یعنی بسته‌بندی یا اکستروژن شدن و قالب‌گیری می‌فرستند. برش‌های میوه و مواد خشک مانند تکه‌های میوه، مغزها یا شکلات را می‌توان بلافاصله پس از انجماد پیوسته با پمپ به بستنی افزود (شکل ۳).



شکل ۳ دستگاه تزریق کننده ذرات بزرگ به بستنی

بسته‌بندی در لیوان‌ها، مخروطی‌ها و ظروف

برای بسته‌بندی لیوانی، قیفی و ظروف (۶-۱ لیتری) یک ماشین دوار پرکن در خط تولید بستنی جاگذاری می‌شود. این ماشین می‌تواند پس از پر کردن، محصول را با انواع مغزها، میوه‌ها و شکلات تزئین نماید. ظروف بسته‌بندی پس از درپوش‌گذاری از میان تونل

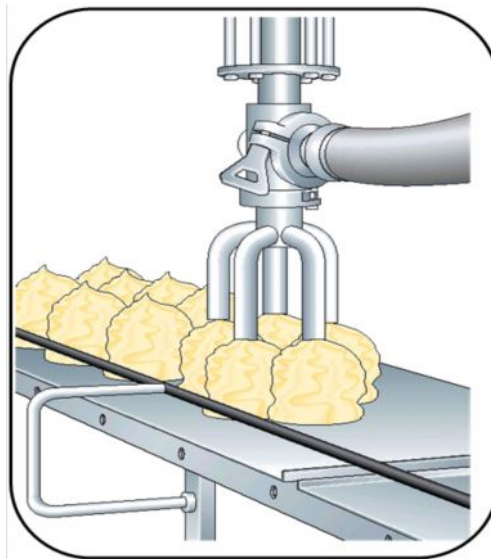
انجماد برای سفت کردن بافت بستنی عبور داده می‌شوند. در این محل که دمای آن (۲۰-)
درجه سانتیگراد است، انجماد نهایی محصول به وقوع می‌پیوندد. قبل یا پس از سفت کردن
بستنی، بسته‌ها به طور دستی یا خودکار در داخل کارتن قرار داده می‌شوند.

بسته‌بندی، اکستروژن کردن و قالب‌گیری

فراورده‌های اکستروژن شده بستنی (با یا بدون چوب بستنی)

فراورده‌های بستنی اکستروژن^۱ شده پس از خروج از نازل دستگاه روی سینی قرار می‌گیرد
و وارد تونل انجماد می‌شود. بستنی اکستروژن شده در شکل و اندازه‌های مختلف لیوانی، قیفی
یا به صورت لایه‌های ساندویچی و یفر مانند و... تولید می‌شود. یک واحد اکستروژن در شکل ۴
نشان داده شده است.

آراستن ظاهر بستنی را می‌توان پس از عبور محصول از میان تونل انجماد (با دمای ۲۰-
درجه سانتیگراد) انجام داد. این واحدها می‌توانند به طور پیوسته در هر ساعت باتوجه به
ظرفیت اکستروژن و نوع محصول، ۲۵۰۰۰ - ۵۰۰۰۰ عدد بستنی تولید نمایند.

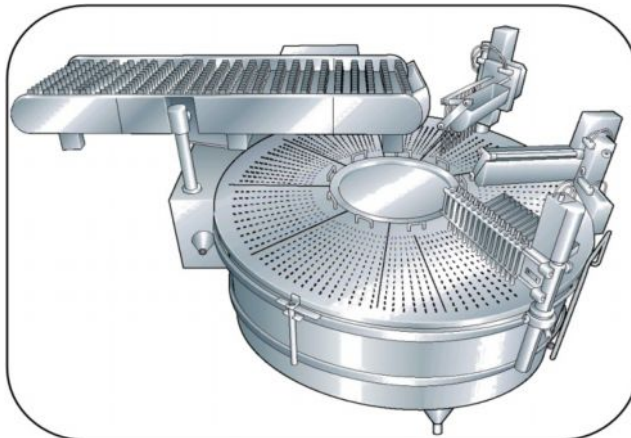


شکل ۴ اکستروژن بستنی و سینی در مسیر تونل انجماد

بستنی چوبی

بستنی‌های چوبی یا بستنی‌های یخی^۱ در ماشین‌های مخصوصی به نام فریزرهای بستنی چوبی^۲ همراه با قالب‌گیری تولید می‌شوند. بستنی مستقیماً از فریزر پیوسته با دمای تقریباً ۳۰- درجه سانتیگراد خارج می‌شود. در این ماشین‌ها قالب‌های پر شده با مخلوط بستنی به آرامی از میان محلول آب نمکی با دمای ۴۰- درجه سانتیگراد عبور داده می‌شوند. در این محل بستنی یا بستنی یخی خیلی سریع منجمد می‌شود. چوب‌ها قبل از اینکه محصول به طور کامل منجمد شود به طور خودکار در قالب‌ها قرار داده می‌شوند.

برای خارج کردن محصول منجمد شده از قالب، آن‌ها را از میان آب نمک ولرم عبور می‌دهند. در این حالت سطح محصول کمی ذوب شده و از داخل قالب‌ها به طور خودکار تخلیه می‌شود. پس از تخلیه بستنی‌های چوبی از داخل قالب‌ها، ممکن است آن‌ها را در داخل شکلات غوطه‌ور نمایند تا لایه‌ای از شکلات سطح بستنی را بپوشاند. در ادامه بستنی وارد دستگاه بسته‌بندی می‌شود تا داخل پوشش‌های سلفونی قرار گیرد، پس از کارتن‌گذاری بستنی را در سردخانه زیر صفر (با دمای ۲۵- درجه سانتیگراد) ذخیره‌سازی می‌کنند. در این نوع ماشین‌ها می‌توان فراورده‌هایی چندلایه با اشکال و طعم‌های مختلف مثلاً در قسمت مغزی، بستنی و در لایه بیرونی بستنی یخی، تولید نمود. در شکل ۵ یک نوع ماشین بستنی چوبی، که امکان تولید بستنی چوبی و یخی را دارد، نشان داده شده است.

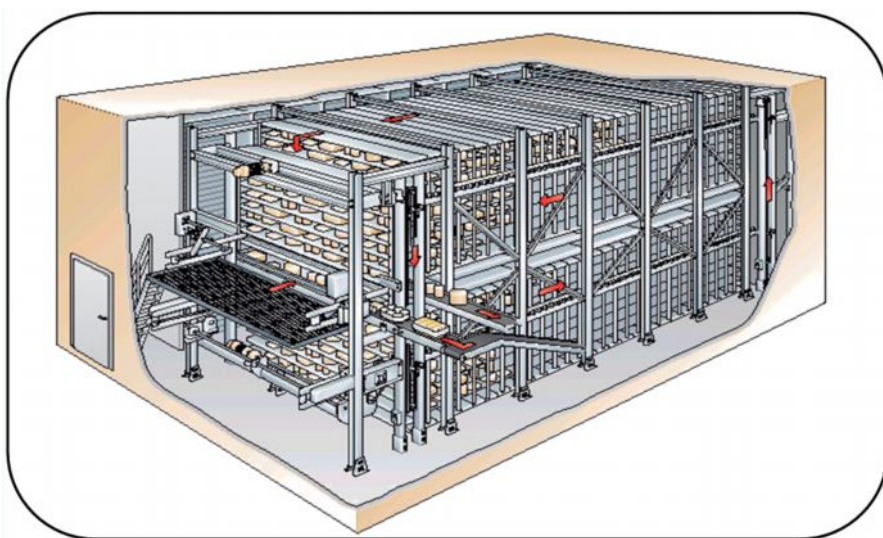


شکل ۵ دستگاه فریزر بستنی چوبی

1. Water ice bar
2. Stick novelty freezers

پوشش دادن و بسته‌بندی

لیوان‌ها، ظروف و غیره را در درون کارتن بسته‌بندی می‌کنند. معمولاً فراورده‌هایی مانند بستنی چوبی و قیفی به صورت تکی پوشش داده می‌شوند و سپس در کارتن قرار می‌گیرند. طراحی قسمت پوشش‌دهنده و بسته‌بندی به نوع محصول و ظرفیت بستگی دارد. انواع مختلفی از ماشین‌های دستی و خودکار برای این کار وجود دارد.



شکل ۶ تونل انجماد بستنی

سفت کردن و سردخانه‌گذاری

تولید بستنی تا هنگامی که با عبور از تونل انجماد با دمای ۲۰- درجه سانتیگراد کاملاً سفت نشده باشد، تکمیل نمی‌شود. برای فراورده‌های تولید شده در خط اکسترودر یا خط بستنی چوبی عملیات سفت کردن در ضمن فرایند انجام می‌پذیرد. محصول بسته‌بندی شده باید بی‌درنگ پس از انجماد به داخل تونل سفت‌کننده انتقال داده شود. انجماد سریع، بافت بهتری را در بستنی ایجاد می‌نماید. پس از سفت کردن فراورده‌ها را به سردخانه انتقال می‌دهند و آن‌ها را روی طبقه‌ها یا قفسه‌های موازی و در دمای ۲۵- درجه سانتیگراد قرار می‌دهند. عمر انبارمانی بستنی به نوع محصول، نوع بسته‌بندی و ثابت نگه‌داشتن دمای پایین، بستگی دارد. معمولاً مدت انبارمانی ۹-۱۲ ماه است، شکل (۶).

کنترل کیفیت

بستنی فراورده بسیار پیچیده‌ای است، به این دلیل کنترل فرایند تولید و شناخت علت بروز عیوب در آن بسیار اهمیت زیادی دارد. اشتباه در محاسبه دقیق مقادیر مورد نیاز پایدارکننده‌ها و امولسیفایرها و دیگر ترکیبات موجود در مخلوط بستنی سبب تولید محصولی بی کیفیت خواهد شد. کنترل نکردن دقیق شرایط تولید از مرحله اختلاط، رسانیدن، انجماد و... نیز می‌تواند موجب افت شدید کیفیت شود. بروز ضایعات در بستنی آن را غیر قابل فروش می‌کند و صدمات اقتصادی جبران ناپذیری به تولیدکننده وارد می‌کند، زیرا معمولاً عیوب و نواقص چندین هفته پس از تولید خود را نشان می‌دهد. در این حالت علاوه بر هزینه مواد اولیه و فرایند تولید، هزینه‌های گزاف نگهداری در شرایط انجماد به مدت طولانی، نیز به آن‌ها افزوده شده است. در زیر به عیب‌های شایع در بستنی اشاره شده و علت احتمالی بروز آن‌ها نیز ذکر گردیده است.

۱- اختلالات طعم و مزه

این عیب‌ها را می‌توان به چند دسته تقسیم نمود:

- اختلالات مواد طعم دهنده که شامل کاهش مزه و عطر و طعم، افزایش شدید عطر و طعم و همچنین عطر و طعم غیر طبیعی است.
- اختلالات شیرینی که شامل کم شیرین یا زیاد شیرین بودن است.
- اختلالات طعمی مانند مزه پختگی که بر اثر فرایند حرارتی شدید روی شیر ایجاد می‌شود.
- بروز اختلالات طعمی که از کیفیت پایین شیر مانند داشتن مزه اسیدی، نمکی، فلزی، تندی و غیره ناشی می‌شود.

۲- اختلالات بافت و قوام

الف: وجود بافت یخی و خشن که ممکن است ناشی از موارد زیر باشد:

- کم بودن ماده خشک،
- کم بودن پروتئین،
- مصرف ناکافی تثبیت‌کننده‌ها،
- نامناسب بودن فشار دستگاه هموژن‌کننده،

- ناکافی بودن زمان رسانیدن مخلوط بستنی،
- انجماد آرام،
- وجود حباب‌های بزرگ هوا در بافت بستنی،
- سفت کردن آرام بستنی (سفت کردن در دماهای بالا مثل ۱۰- درجه سانتیگراد)،
- نوسانات دمای محفظه سفت‌کننده،
- سفت کردن مجدد بافت نرم شده بستنی،
- پمپ کردن در مسیر طولانی پس از خروج بستنی از فریزر مداوم.

ب: فروپاشی قوام بستنی پس از طی مراحل انجماد و سفت کردن:

- ورآمدن زیاد (تزریق بیش از اندازه هوا به بستنی)،
- مصرف ناکافی تثبیت‌کننده‌ها و امولسیفایرها،
- کم بودن ماده خشک در مخلوط بستنی،
- وجود حباب‌های هوای نامناسب در بستنی.

ج: داشتن بافت کرکدار

- که احتمالاً ناشی از موارد زیر است:
- وجود مقدار زیاد هوا و حباب در بافت بستنی،
- کم بودن ماده خشک،
- مصرف ناکافی تثبیت‌کننده‌ها،

د: بروز بافت شنی

- ایجاد بافت شنی رایج‌ترین عیب در بستنی است و علت آن تشکیل بلورهای درشت و نامتوازن لاکتوز است. دو عمل زیر برای جلوگیری از بروز این عیب مؤثر است:
- سفت کردن سریع بستنی منجمد،
- پایین و یکنواخت بودن دمای محفظه سفت‌کننده برای جلوگیری از بروز شوک حرارتی.

ه: وجود قوام ضعیف در بدنه بستنی

- در این حالت بستنی به محض خروج از فریزر به سرعت ذوب می‌شود و حس و ویژگی جویدنی خود را از دست می‌دهد. این عیب از موارد زیر ناشی می‌شود:
- کم بودن مقدار ماده جامد،
- ورآوردن زیاد (تزریق زیاد هوا)،
- مصرف ناکافی تثبیت‌کننده‌ها.

۳- اختلالات ناشی از ذوب نامناسب بستنی در هنگام مصرف

داشتن حالت آبدار دلمه‌ای، که ممکن است ناشی از وجود ذرات ریز چربی یا ذرات منعقد شده پروتئین‌های شیر باشد. این عیب ممکن است بر اثر عوامل زیر روی شیر ایجاد شود:

- ۱- وجود اسیدیته بالا (باعث انعقاد پروتئین شیر می‌شود)،
- ۲- نامتعادل بودن نمک‌ها در شیر (انعقاد پروتئینی را به همراه دارد)،
- ۳- استفاده از فشار هموژن‌کننده بسیار بالا (که به تشکیل توده‌های چربی منجر می‌شود)،
- ۴- استفاده از انجماد شدید در فریزر (که باعث چسبیدن و تشکیل توده چربی و چسبیدن آن‌ها به هم می‌شود).

ذوب نشدن مناسب و آسان بستنی

به علت وجود هر یک از موارد زیر ممکن است بستنی به آسانی ذوب نشود:

- ۱- زیاده‌روی در مصرف پایدارکننده‌ها،
- ۲- استفاده از امولسیفایرهای نامناسب،
- ۳- استفاده از چربی بیشتر در فرمول.
- ۴- وجود توده‌های زیاد چربی در مخلوط یا استفاده از هموژنیزاسیون در دمای پایین یا هموژن کردن یک مرحله‌ای.
- ۵- استفاده از دمای انجماد بسیار پایین در فریزر.

آب پس دادن

این عیب معمولاً ناشی از اختلال در تعادل املاح، اختلال در ترکیب پروتئینی، مصرف نامناسب کاراگینان یا همه موارد یاد شده است.

۴- اختلالات رنگ

این عیب در بستنی‌هایی که باید رنگ متناسب با طعم داشته باشند بیشتر نمایان است و به صورت‌های زیر دیده می‌شود:

- عدم یکنواختی رنگ، که ممکن است مربوط به نوع رنگ مورد استفاده باشد.
- رنگ غیر طبیعی، که بر اثر استفاده از رنگ نامناسب، استفاده زیاد از رنگ زرد در بستنی وانیلی و بروز رنگ خاکستری ناشی از خنثی‌سازی (استفاده از قلیا) ایجاد می‌شود.

۵- چروکیدگی بافت

این عیب ممکن است به علت‌های زیر بروز نماید:

- پایین بودن بیش از حد دمای انجماد و سفت کردن،
- بالا یا پایین بودن دمای ذخیره‌سازی در سردخانه زیر صفر،
- وراوردن خیلی زیاد،
- تغییرات فشار هوای محیط.

نمونه سؤالات این فصل

۱. انواع بستنی از نظر مواد بکار رفته در آن را نام ببرید؟
۲. در فرمولاسیون بستنی چه ارتباطی بین مقدار چربی و ماده خشک با مصرف امولسیفایرها و پایدار کننده‌ها وجود دارد؟
۳. افزایش حجم در بستنی چیست و به چه عواملی بستگی دارد؟
۴. علت بروز بافت شنی در بستنی چیست؟

فصل دوازدهم

کازئین

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با انواع کازئین،
- اصول و روش های تولید،
- فرایندهای تکمیلی،
- دستگاه‌های فراوری کننده،
- کاربردهای صنعتی ترکیبات کازئینی.

کازئین^۱ پروتئین اصلی شیر گاو است و حدود ۸۰ درصد کل محتوای پروتئینی شیر را تشکیل می‌دهد و ۲۰ درصد بقیه شامل پروتئین‌های آب‌پنیر یا پروتئین‌های سرمی است. کازئین ماده اصلی برای تولید پنیرهای معمولی است. در فرایند تولید پنیر، کازئین را با آنزیم مایه‌پنیر رسوب می‌دهند. لخته اولیه پنیر شامل کازئین، بخشی کوچکی از پروتئین‌های آب‌پنیر و لاکتوز همراه با چربی و مواد معدنی موجود در شیر است. کازئین تجاری را از شیر پس‌چرخ با یک یا دو روش عمومی یعنی رسوب دادن با اسید یا لخته‌سازی با آنزیم مایه‌پنیر به دست می‌آورند. چربی، پروتئین‌های آب‌پنیر، لاکتوز و مواد معدنی باید طی مراحل مختلف شستشو از آن جدا شوند، وجود این مواد کیفیت کازئین را کاهش می‌دهند. خشک کردن مناسب باعث حفظ کیفیت خوب کازئین می‌شود. کاربرد اصلی کازئین در صنایع غذایی و دارویی است.

انواع کازئین

معمولاً، کازئین را به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌نمایند:

- کازئین آنزیمی، که از فرایند رسوب آنزیمی با مایه‌پنیر از شیر به‌دست می‌آید.
 - کازئین اسیدی، که از اسیدی کردن شیر پس‌چرخ تا نقطه ایزوالکتریک پروتئین (pH) برابر ۴/۶-۴/۷ به‌دست می‌آید.
- بجز موارد فوق دو دسته اصلی دیگر به طور تجاری در دسترس قرار دارند که عبارتند از:
- کازئین رسوبی مختلط^۲، این نوع کازئین، با حرارت دادن شیر پس‌چرخ در دمای بالا و سپس رسوب دادن مجموعه کازئین و پروتئین آب‌پنیر با استفاده از کلسیم کلراید به دست می‌آید. بنابراین، این نوع کازئین حاوی پروتئین‌های آب‌پنیر و کلسیم نیز هست.
 - کازئینات^۳، بویژه کازئینات سدیم که عموماً از حل کردن کازئین اسیدی در هیدروکسید سدیم به‌دست می‌آورند.

1. casein

2. co-precipitate

3. caseinates

مواد اولیه

برای تولید کازئین با کیفیت بالا، باید کیفیت مواد اولیه یعنی شیر پس چرخ خوب باشد. اگر باکتری‌های موجود در شیر فرصت فعالیت پیدا نمایند با تغییر اسیدیته بر پروتئین‌های شیر تاثیر خواهند گذاشت. کازئین به صورت رنگ خاکستری و قوام نرم‌تر ظاهر می‌گردد. حرارت دادن بیش از اندازه شیر، قبل از رسوب دادن، علاوه بر به هم پیوستن و تاثیر متقابل مواد از جمله لاکتوز، کازئین و پروتئین‌های آب‌پنیر، باعث می‌شود رنگ کازئین زرد و در شرایط بدتر قهوه‌ای شود.

برای تولید کازئین با کیفیت خوب باکتریایی، بدون استفاده از فرایند حرارتی بالا، ممکن است، واحد پاستوریزاسیون را به یک سیستم ریزپالایش (میکروفیلتراسیون) مجهز نمایند. برای برآوردن انتظارات لازم از کیفیت کازئین در صنایع غذایی و دارویی، علاوه بر دقت در طراحی خط، باید از نظر دریافت صحیح شیر و مواد اولیه مراقبت و شود.

کازئین آنزیمی

شیر پس چرخ، که از آن برای تولید کازئین آنزیمی و یا انواع دیگر استفاده می‌شود از آن، به طور معمول در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵۰ - ۲۰ ثانیه پاستوریزه می‌شود. وجود حتی مقادیر کم چربی در شیر باعث افت کیفیت محصول نهایی خواهد شد، بنابراین باید چربی در سپراتور به طور کاملاً مؤثر جداسازی شده باشد.

در شکل ۱، مراحل مختلف تولید کازئین آنزیمی نشان داده شده است. آنزیم مورد استفاده در این فرایند کیموزین^۱ است. برای تولید کازئین آنزیمی، ابتدا دمای شیر پس چرخ را با تبادل کننده‌های حرارتی صفحه‌ای به حدود ۳۰ درجه سانتیگراد می‌رسانند و سپس آن را وارد مخزن آنزیم زنی می‌نمایند و مقدار آنزیم لازم را افزوده پس از ۱۵ - ۲۰ دقیقه لخته ژلی^۲ تشکیل می‌شود. پس از آن لخته را برش داده و هم می‌زنند. در این مرحله لخته در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه پخت می‌شود. هدف اصلی از پخت لخته غیرفعال سازی آنزیم است.

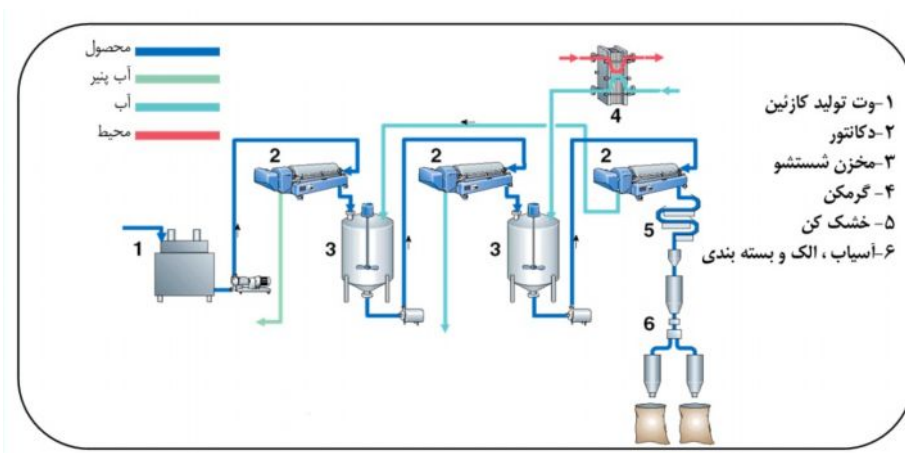
1. chymosine

2. gel

شستشوی غیر مداوم کازئین

پس از اینکه لخته برش خورد و به دمای مورد نظر رسید، آب پنیر تخلیه می‌شود و کازئین باقیمانده در مخزن تا حذف کامل پروتئین‌های آب پنیر، لاکتوز و نمک با آب شسته می‌شود. شستشو در دو یا سه مرحله در دمای ۴۰-۶۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود. پس از تخلیه آب پنیر، کازئین را برای آب‌گیری بیشتر در آبکش یا سپراتور قرار می‌دهند و در مرحله بعد با استفاده از هوای داغ آن را تا رطوبت ۱۲ درصد خشک می‌نمایند. محصول نهایی آسیاب و پودر می‌شود. دمای خشک‌کردن به روش کار بستگی دارد. در فرایند دو مرحله‌ای، دما در اولین مرحله ۵۵ - ۵۰ درجه سانتیگراد و در دومین مرحله تقریباً ۶۵ درجه سانتیگراد انتخاب می‌شود.

کازئین آنزیمی باید سفید یا کمی متمایل به زرد باشد، رنگ تیره نشانه کیفیت پایین است و ممکن است با محتوای بسیار بالای لاکتوز ایجاد شده باشد.



شکل ۱ خط تولید کازئین آنزیمی با جریان شستشوی ناهمسو

شستشوی مداوم

معمولاً کازئین آنزیمی با روش غیر مداوم در داخل مخزن مخصوص کازئین تولید می‌شود، اما امروزه از فرایند مداوم برای این منظور استفاده می‌گردد. در واحد تولید مداوم، پس از تخلیه آب پنیر، لخته کازئین از میان دو یا سه مخزن شستشودهنده مجهز به همزن عبور می‌نماید. حذف آب پنیر با دکانتور (قیف جداکننده) سانتریفوژی^۱ برای صرفه‌جویی در

1. decanter centrifuge

مصرف آب شستشو انجام می‌پذیرد. آب همراه کازئین در فواصل بین شستشو با استفاده از صافی‌های ساکن مایل کار گذاشته شده در دکانتور کاسته می‌شود. پس از طی مراحل اصلی شستشو، مخلوط کازئین و آب از دکانتور نهایی عبور داده می‌شود تا هرچه بیشتر از مقدار آب همراه لخته، قبل از انجام مرحله نهایی خشک کردن کاسته شود.

کار لخته‌سازی کازئین در مقیاس‌های بزرگ، هنوز هم به طور غیر مداوم انجام می‌پذیرد. در این سیستم‌ها با محاسبه تعداد مخزن‌ها به گونه‌ای عمل می‌شود که توالی تخلیه لخته در سیستم برای حذف آب پنیر و انجام فرایند شستشوی همزمان با تغذیه سیستم به طور مداوم انجام پذیرد.

جریان شستشو در مخازن به صورت ناهمسو^۱ در مقایسه با جریان همسو^۲ از نظر مصرف آب بسیار با صرفه‌تر است. مقایسه دو نوع جریان شستشو در ارتباط با مصرف آب این موضوع را نشان می‌دهد. مثلاً در جریان همسو به ازای هر لیتر شیر پس‌چرخ به یک لیتر آب نیاز است. در حالی که جریان ناهمسو به ازای هر لیتر شیر پس‌چرخ فقط $0.3 - 0.4$ لیتر آب نیاز دارد. تعداد مراحل شستشو در فرایند به ویژگی‌های محصول تولید شده بستگی دارد. در مرحله نهایی شستشو فقط از آب تازه استفاده می‌شود. پس از شستشو، آب‌گیری کازئین در دکانتور تا رسیدن به ماده خشک $45 - 40$ درصد انجام می‌شود. ادامه خشک کردن مثلاً ممکن است با خشک‌کن لرزش‌دهنده انجام شود، سپس کازئین خشک را با آسیاب به اندازه ذراتی با مش $60 - 40$ یا 80 درآورده و در داخل کیسه بسته‌بندی می‌نمایند. (مش^۳ = تعداد منافذ پرده صافی در هر اینچ، مثلاً مش 40 یعنی قطر منافذ برابر با 0.64 میلی‌متر).

کازئین اسیدی

در این روش شیر را تا نقطه ایزوالکتریک کازئین، اسیدی می‌نمایند و pH را به 4.6 می‌رسانند، اما حضور نمک‌های خنثی در محلول باعث انحراف گسترده pH از 4 تا 4.8 می‌شود. در نقطه ایزوالکتریک غلظت یون هیدرونیوم باعث خنثی شدن بار منفی میسل کازئین می‌شود و در نتیجه شرایط رسوب (لخته شدن) مجموعه کازئینی را فراهم می‌آورد. فرایند اسیدی کردن را می‌توان به طور بیولوژیکی (اسید لاکتیک) یا با اضافه نمودن اسید معدنی مانند اسید کلریدریک (HCl) یا اسید سولفوریک (H_2SO_4) عملی نمود.

1. counter current

2. concurrent

3. mesh

اسیدی کردن بیولوژیکی - کازئین لاکتیکی

کازئین لاکتیکی^۱ باکشت دادن میکروارگانیسم‌های تولیدکننده اسید در شیر تولید می‌شود. شیر پس‌چرخ را پس از پاستوریزه کردن تا دمای ۲۷-۲۳ درجه سانتیگراد خنک می‌نمایند. در این دما نوعی کشت آغازگر مزوفیل را که توانایی تولید گاز ندارد به شیر تلقیح می‌نمایند. اسیدی شدن تا pH مورد نظر تقریباً ۱۵ ساعت زمان لازم دارد. اگر فرایند اسیدی شدن بسیار طولانی شود، باعث کاهش کیفیت و بازده کازئین می‌شود.

پس از دستیابی به اسیدیته لازم، شیر را همزده و آن را تا دمای ۵۵ - ۵۰ درجه سانتیگراد با تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای حرارت می‌دهند و پس از طی یک زمان کوتاه نگهداری در همان درجه حرارت، همانند کازئین اسیدی شستشو می‌دهند خشک می‌کنند.

اسیدی کردن با اسیدهای معدنی - کازئین اسیدی

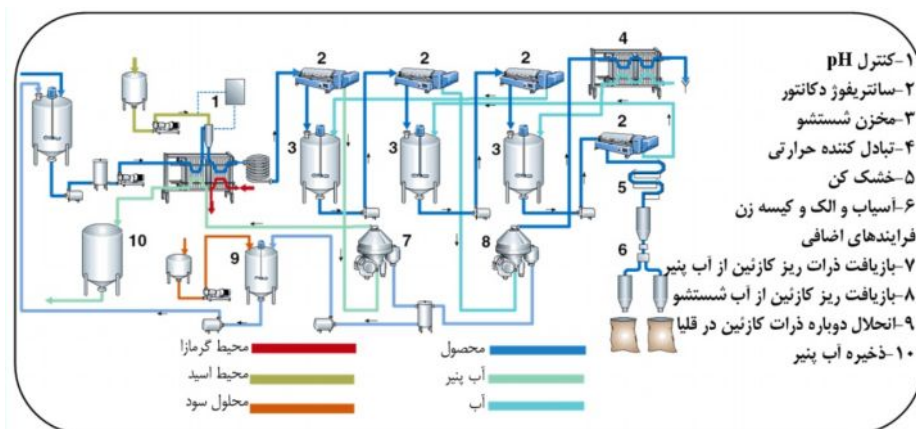
در این روش ابتدا شیر تا دمای حدود ۳۲ درجه سانتیگراد گرم کرده و سپس اسید معدنی به آن افزوده می‌شود تا pH شیر به حدود ۴/۶ - ۴/۳ برسد. پس از کنترل pH شیر را تا دمای ۴۵ - ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت دو دقیقه با تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای حرارت می‌دهند در این حالت تراکم رشته‌های نازک کازئین شروع به شکل‌گیری می‌نماید. برای حذف هر چه بیشتر آب‌پنیر، قبل از شستشو، مخلوط آب‌پنیر و کازئین را از میان دکانتور عبور می‌دهند. این کار مصرف آب شستشو را کاهش می‌دهد.

در شکل ۲ طرح یک واحد تولید کازئین اسیدی نشان داده شده است. می‌توان تشابه قسمت پایین دست واحد اسید زنی را با روش به کار رفته برای تولید کازئین آنزیمی مشاهده نمود. قبل از دور ریختن آب‌پنیر و آب شستشودهنده، می‌توان با روشی ذرات کازئین باقیمانده در رسوبات (لجن) این قسمت‌ها را باز یافت نمود. معمولاً برای این کار یک قلیا به این رسوبات افزوده می‌شود، در این حالت ذرات کازئین به شکل محلول در می‌آید که آن را به شیر پس‌چرخی که قرار است برای تولید کازئین به کار برده شود می‌افزایند.

پس از آبگیری و خشک‌کردن، کازئین اسیدی را آسیاب و در داخل کیسه بسته‌بندی می‌نمایند. روش تولید کازئین اسیدی به وسیله پیلِت^۲ فرانسوی، بهبود یافته که به آن اشاره خواهد شد.

1. lactic acid casein

2. pillet



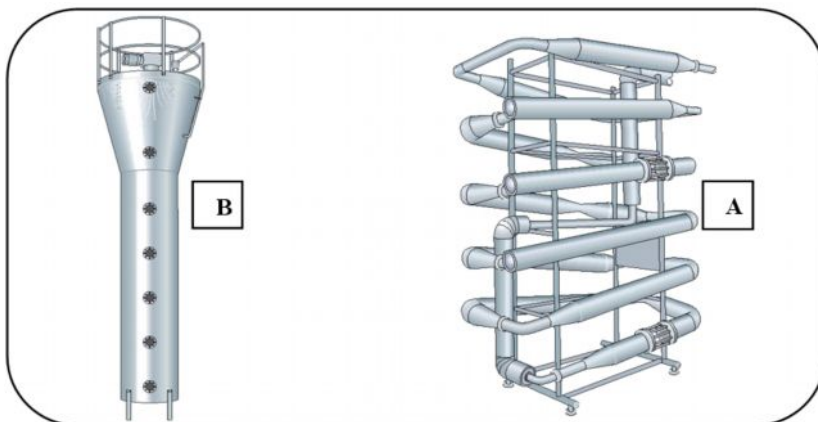
شکل ۲ فرایند تولید کازئین با روش اسیدی

شیر پس چرخ را پس از عملیات حرارتی مقدماتی تا ۳۲ درجه سانتیگراد، گرم و پس از اسیدی کردن وارد واحد لخته‌ساز می‌نمایند (شکل ۳ A) انعقاد در دمای تقریباً ۴۵ درجه سانتیگراد با تزریق مستقیم بخار تکمیل می‌شود. عملیات با حذف آب پنیر بوسیله دکانتور ادامه می‌یابد و سپس با جریان شستشوی ناهمسو در یک یا دو برج مخصوص شستشو کامل‌تر می‌شود (شکل ۳ B).

پس از آگیری نهایی با دکانتور کازئین را برای خشک شدن نهایی وارد خشک‌کن با بستر سیال می‌نمایند.

رسوب مختلط

رسوب مختلط در عمل حاوی تمام مواد پروتئینی شیر است که همراه با افزودن مقدار کمی کلسیم کلراید یا اسید به شیر پس چرخ، دما را تا ۹۵ - ۸۵ درجه سانتیگراد بالا می‌برد و به مدت ۲۰ - ۱۰ دقیقه برای ایجاد فرصت لازم برای واکنش بین کازئین‌ها و پروتئین آب پنیر نگهداری می‌نمایند. با افزودن کنترل شده محلول کلسیم کلراید (برای تولید رسوب مختلط با کلسیم بالا) یا اسید رقیق (برای تولید رسوب مختلط با مقدار کلسیم متوسط یا مقدار کلسیم پایین، بسته به مقدار اسید افزوده شده و pH به دست آمده از آب پنیر) پروتئین‌ها رسوب می‌کنند و در ادامه لخته را پس از شستشو برای تولید ذرات دانه‌ای شکل و رسوب مختلط نامحلول خشک می‌کنند. در روش دیگر، لخته را در شرایط قلیایی به صورت محلول در آورده و مانند روش تولید کازئینات عمل می‌شود.



شکل ۳ واحد پیوسته لخته‌ساز برای تولید کازئین لاکتیکی، اسیدی و آنزیمی همراه با برج شستشوی لخته

کازئینات

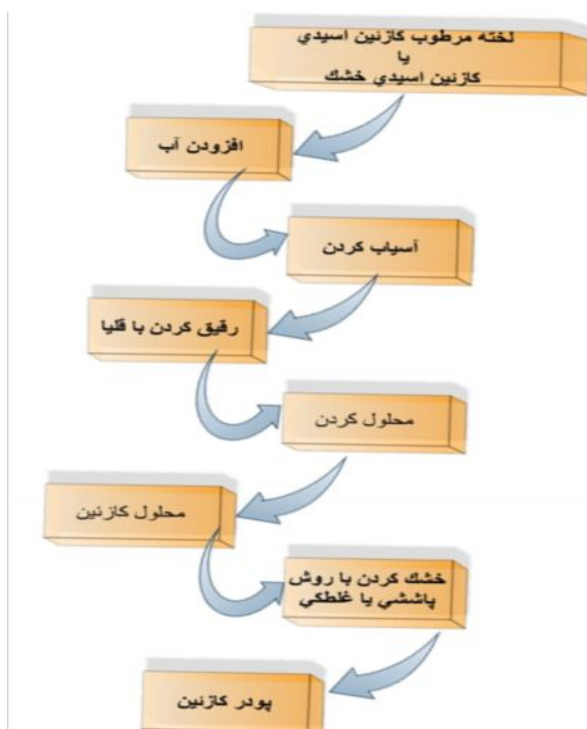
کازئینات در حقیقت یک ترکیب شیمیایی کازئین همراه با فلزات سبک تک‌ظرفیتی مانند سدیم (Na^+) یا دوظرفیتی مانند کلسیم (Ca^{++}) است. کازئینات را می‌توان از رسوب تازه (مرطوب) کازئین اسیدی یا از کازئین اسیدی خشک با واکنش محلول‌های قلیایی رقیق تهیه نمود، نمودار مختصر عملیات در نمودار ۱ نشان داده شده است.

کازئینات سدیم

در تولید کازئینات سدیم قلیایی که بیشترین مصرف را دارد، محلول هیدروکسید سدیم ($NaOH$) ۲/۵ مول یا ۱۰ درصد است. مقدار سود لازم به طور تقریبی ۲/۲ - ۱/۷ درصد وزن کازئین جامد است (pH نهایی تقریباً ۶/۷).

از دیگر انواع قلیاها مانند بیکربنات سدیم یا فسفات سدیم نیز می‌توان برای تولید کازئینات سدیم استفاده کرد اما مقدار لازم و همچنین قیمت هر دو آن‌ها از سود بیشتر است. معمولاً از آن‌ها فقط برای اهداف ویژه تولید، مانند تولید کازئینات سیتراته و غیره استفاده می‌شود.

به دلیل ویسکوزیته بسیار بالای محلول کازئینات باید برای خشک‌کردن در سیستم خشک‌کن پاششی تا ۲۰ درصد ماده جامد تعدیل شود.



نمودار ۱ - نمودار تولید کازئین با استفاده از خشک کن پاششی یا غلطکی

همان‌طور که در فرایند عملیات، مشخص شده است زمان انحلال به طور مستقیم با اندازه ذرات ارتباط دارد. بنابراین، کاهش اندازه ذرات قبل از افزودن هیدروکسید سدیم برای افزایش بیشتر سرعت واکنش مؤثر است. در این موارد لخته را قبل از افزودن قلیا از میان یک خردکن کلونیدی عبور می‌دهند.

لخته کازئین پس از شستشوی نهایی ممکن است تا حد ۴۵ درصد ماده جامد آبیگری شود. لازم است قبل از وارد کردن لخته کازئین به آسیاب کلونیدی مجدداً ماده جامد موجود در آن را با اختلاط دوباره با آب به ۳۰-۲۵ درصد رساند. دمای ماده آبکی باید در زیر ۴۵ درجه سانتیگراد نگهداری شود تا از برگشت دوباره حالت لخته - در دمای بالاتر - جلوگیری شود. معمولاً محلول آبکی را در یک مخزن دو جداره مجهز به همزن قوی جمع‌آوری می‌نمایند، این سیستم‌ها مجهز به پمپ قوی دوران‌دهنده مایعات‌اند. افزودن قلیای رقیق شده باید با دقت کنترل شود تا pH نهایی به حدود ۶/۷ برسد. تزریق قلیا در مقدار تعیین شده در قسمت بالا دست سیستم به داخل قسمت دوران‌دهنده ترجیح دارد.

هنگام افزودن قلیا به مایع آبکی این نکته اهمیت دارد که باید دما را با حداکثر سرعت ممکن تا ۷۵-۶۰ درجه سانتیگراد بالا آورد تا از ویسکوزیته سیال کاسته شود. زمان انحلال کازئینات سدیم در سیستم غیر مداوم ۶۰-۳۰ دقیقه است. هنگام استفاده از سیستم پاششی برای خشک کردن، باید محلول کازئینات سدیم ویسکوزیته ثابتی داشته باشد. برای این کار با حرارت دادن مقدماتی محلول را تا دمای ۹۵-۹۰ درجه سانتیگراد قبل از شروع عملیات خشک کردن، گرم می کنند تا ویسکوزیته کاهش یابد.

کازئینات کلسیم

آماده سازی کازئینات کلسیم مانند مسیر عمومی عملیات در تولید کازئینات سدیم، با دو استثنا مهم همراه است. محلول کازئینات کلسیم در برابر حرارت خصوصاً هنگامی که مقدار pH زیر ۶ باشد، بسیار ناپایدار است.

هنگام فرایند انحلال، سرعت واکنش بین کازئین اسیدی و هیدروکسید کلسیم در مقایسه با لخته و هیدروکسید سدیم کمتر است. برای افزایش سرعت واکنش بین کازئین و هیدروکسید کلسیم، ممکن است کازئین را ابتدا به طور کامل در محلول آمونیاکی حل کنند و سپس هیدروکسید کلسیم را که قبلاً در محلول ساکارز حل شده به آن بیفزایند. محلول کازئینات کلسیم را با استوانه چرخان (غلطکی) خشک می نمایند. هنگام خشک کردن، بیشتر مقدار آمونیاک تبخیر می شود.

انواع دیگر کازئینات

از کازئینات منگنز، و ترکیبات کازئین با آلومینیم در مصارف دارویی یا به عنوان امولسیفایر در محصولات گوشتی استفاده می شود. مشتقات کازئین با فلزات سنگین مانند ترکیبات حاوی نقره، جیوه، آهن و بیسموت و غیره اصولاً برای اهداف درمانی تولید می شوند. کازئینات آهن و مس به وسیله تبادل کننده یونی برای استفاده در غذای کودک و محصولات غذایی رژیمی تهیه می شود.

کازئینات سدیم اکستروود شده

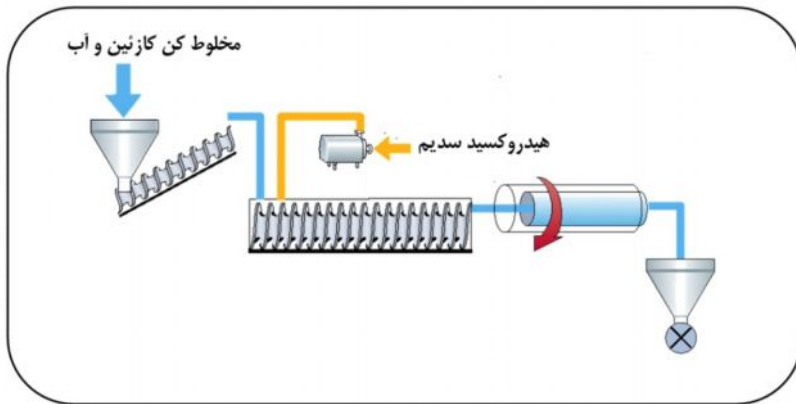
تولید کازئینات سدیم از کازئین با وجود مقدار محدود آب با به کار بردن روش اکستروود کردن^۱ ممکن است. در بیشتر موارد از کازئین خشک به عنوان ماده اولیه استفاده

شده است. آب و قلیا به صورت مخلوط برای اکستروود کردن افزوده می‌شوند. محتوای رطوبت مخلوط کازئین و آب به ۳۰ - ۱۰ درصد می‌رسد.

روش اکستروود کردن در تولید کازئینات‌ها در رقابت تنگاتنگ با روش مرسوم غیر مداوم رواج یافته است. در شکل ۴ سیستم اکستروودر و پخت نشان داده شده است.

فرایند اکستروود کردن در تولید کازئین اسیدی از پودر شیر پس چرخ مورد آزمایش قرار گرفته، فیچتالی^۱ و ورت^۲ در واحد آزمایشگاهی کالج مک دونالد^۳ دانشگاه مک گیل^۴ شهر کبک^۵ کانادا انجام داده‌اند. چکیده نتایج به دست آمده از آزمایش‌های آنها (۱۹۹۰) در ذیل ذکر شده است:

" برای تولید کازئین اسیدی اولین کار تولید لخته اسیدی از پودر شیر پس چرخ با فرایند اکستروود کردن است که نتایج به دست آمده از آن به طور قابل توجهی نشان‌دهنده تمایل فرایند به بهبود کیفیت محصول است. با مطالعه روی لخته با ماده جامد بالا و بهینه کردن شرایط تولید و مرحله شستشو، کازئین اسیدی با کیفیت قابل قبول با اکستروود کردن به دست آمد. این فرایند به طور مداوم قابل اجرا و کنترل است و می‌توان از پودر شیر پس چرخ با ماده جامد بالا نیز استفاده کرد. این روش به نیروی کار و به فضای کوچک‌تری در مقایسه با دیگر روش‌ها نیازمند است."



شکل ۴ سیستم اکستروودکننده همراه با پخت

1. J.Fichtali
2. F.R.van der Vort
3. MacDonald
4. McGill
5. Quebec

کاربرد کازئین و کازئینات

کازئین آنزیمی

کازئین آنزیمی محصولی متفاوت با کازئین اسیدی است. در صنعت از آن بیشتر در تولید مواد مصنوعی شبه پلاستیک استفاده می‌کنند. کازئین پلیمری شده با فرمالین به نام گالالیس^۱ و فیبرهای ساخته شده از کازئین به نام لانیتال^۲ دو نوع از این محصولات اند. به‌رغم کاربرد وسیع انواع گوناگون پلاستیک‌ها که در رقابت مستقیم با گالالیس قرار دارند، هنوز تقاضا برای کازئین جهت تولید گالالیس وجود دارد. مقدار کمی از کازئین آنزیمی به عنوان ماده اولیه برای تولید پنیر پروسس به کار می‌رود. کازئین آنزیمی در آب نامحلول است.

جدول ۱ ویژگی کازئین، کازئینات‌ها و رسوبی مختلط

ویژگی		مقادیر برای کازئین اسیدی	
		درجه استاندارد	حداکثر محدوده قابل قبول
رطوبت (حداکثر)		۱۰ درصد	۱۲ درصد
چربی (حداکثر)		۱/۵ درصد	۲ درصد
اسید آزاد (حداکثر)		۰/۲ میلی لیتر	۰/۳۷ میلی لیتر
خاکستر (حداکثر)		۲/۲ درصد	۲/۲ درصد
محتوای پروتئین برپایه ماده خشک		۹۵ درصد	۹۰ درصد
شمارش کل در گرم (حداکثر)		۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
کلیفرم (حداکثر) در ۰/۱ گرم		صفر	صفر
ویژگی		مقادیر برای کازئین رنتی (آنزیمی)	
		درجه استاندارد	حداکثر محدوده قابل قبول
رطوبت (حداکثر)		۱۲ درصد	۱۳ درصد
چربی (حداکثر)		۱ درصد	۱/۵ درصد
خاکستر		۷/۵ درصد	۷ درصد
رنگ		A	C
ویژگی		مقادیر برای کازئینات	
		سدیم کازئینات	کلسیم کازئینات
رطوبت		۳/۸ درصد	۳/۸ درصد
پروتئین (۶/۳۸ x N)		۱۹/۴ درصد	۱۹/۲ درصد
خاکستر		۳/۶ درصد	۳/۸ درصد
لاکتوز		۰/۱ درصد	۰/۱ درصد
چربی		۱/۱ درصد	۱/۱ درصد
سدیم		۱/۴-۱/۴ درصد	۰/۱ < درصد
کلسیم		۰/۱ درصد	۱/۳-۱/۶ درصد
آهن		۳-۲۰ میلی گرم در کیلوگرم	۴۰-۱۰ میلی گرم در کیلوگرم
مس		۱-۲ میلی گرم در کیلوگرم	۲-۱ میلی گرم در کیلوگرم
سرب		۱ < میلی گرم در کیلوگرم	۱ < میلی گرم در کیلوگرم
pH		۶/۵-۶/۹	۶/۸-۷

1. galalith

2. lanital

کازئین اسیدی

کازئین اسیدی نوع حاکم بر بازار جهانی است. این ماده کاربرد وسیعی در صنایع شیمیایی و کاغذسازی دارد، برای تولید کاغذ گلاسه ظریف از آن استفاده می‌شود. کازئین مصرفی در صنایع کاغذسازی باید بدون چربی و ذرات خارجی یا سوخته باشد در غیر این صورت روی کاغذ لکه ایجاد می‌نماید. برای دستیابی به محتوای بسیار پایین چربی در شیر پس چرخ باید آن را از میان یک دستگاه میکروفیلتراسیون متصل به واحد پاستوریزاسیون عبور داد. معمولاً هر صنعت ویژگی‌های خاصی دارد که مشخصات کیفی محصول را تعیین می‌نماید، صنایع رنگ و مواد آرایشی از مصرف‌کنندگان بزرگ کازئین با کیفیت بالا هستند.

جدول ۲ ویژگی‌های کازئین رسوبی مختلط و کازئین اسیدی

کازئین رسوبی مختلط			کازئین اسید لاکتیک و کازئین اسید سولفوریک	ویژگی‌ها
کلسیم پایین	کلسیم متوسط	کلسیم بالا		
۹/۵	۹/۵	۹/۵	۱۱/۵	رطوبت (درصد)
۰/۹	۰/۷	۰/۵	۱/۴	چربی (درصد)
۲/۴	۳/۷	۷/۷	۱/۸	خاکستر (درصد)
۸۶/۷	۸۵/۶	۸۱/۷	۸۵	پروتئین (درصد) (N× ۶/۳۸)
۹۵/۸	۹۴/۵	۹۰/۳	۹۶	پروتئین (درصد) بر پایه ماده خشک %
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱	لاکتوز (درصد)
۰/۵۴	۱/۱۳	۲/۸۱	< ۰/۱	کلسیم (درصد)
۵/۸ - ۵/۴	۶/۲ - ۵/۶	۷/۲ - ۶/۵	۴/۶ - ۵/۴	pH محصول
۵/۱ - ۶/۹	۵/۱ - ۵/۳	۵/۹ - ۵/۸	۴/۶ - ۴/۳	pH آب پنیر پس از جداسازی لخته

کازئینات سدیم

یکی از موارد مهم کاربرد کازئین استفاده از آن به عنوان ماده اولیه در ساخت کازئینات سدیم است. کازئین به آسانی در یک محلول رقیق قلیایی حل می‌شود. سپس می‌توان با استفاده از دستگاه خشک‌کن پاششی آن را به شکل پودر در آورد. این پودر حلالیت بیشتری در مقایسه با کازئین دارد و مرتباً بر کاربرد آن در صنایع غذایی افزوده می‌شود. از آن در صنایع گوشت به عنوان امولسیفایر استفاده می‌شود و اخیراً در تولید فراورده‌های جدید غذایی به عنوان جانشین شیر به کار برده می‌شود.

سدیم کازئینات پس از حل شدن ویسکوزیته بالایی پیدا می کند، حداکثر غلظت قابل دستیابی ۲۰ درصد در دمای ۶۰ - ۵۵ درجه سانتیگراد است.

کازئینات کلسیم

کازئینات کلسیم کاربردهای ویژه‌ای در صنعت دارد. یکی از دلایل استفاده از آن کاهش محتوای سدیم در محصولات است که در ترکیبات آن‌ها از کازئینات‌ها استفاده شده است (مثل غذاهای رژیمی). در غلظت مساوی، ویسکوزیته کازئینات کلسیم از کازئینات سدیم کمتر است.

کازئین رسوبی همراه با کلسیم

کازئین رسوبی همراه با کلسیم نیز ممکن است پس از انحلال در قلیا در خشک کن پاششی خشک شود. زمینه کاربرد آن مانند کازئینات است، با این اختلاف که در تولید کازئین رسوبی همراه با کلسیم، امکان تطبیق فرایند برای تنظیم رنگ، حلالیت و خاکستر مطابق با نیازهای مصرف کننده وجود دارد.

یکی از مهم ترین ویژگی های کازئین و کازئینات از دیدگاه تغذیه ای محتوای نسبتاً بالای اسید آمینه اساسی لیزین در آن هاست. علاوه بر این آزمایش ها نشان داده اند که لیزین با حذف لاکتوز از محیط، پایدارتر می شود. بنابراین، پروتئین های شیر به راحتی می توانند در شکل کازئین و کازئینات مانند پودر شیر خشک ذخیره گردند.

کازئین تولیدی برای مصارف صنعتی باید از نظر شیمیایی خالص باشد. تمایل جدیدی برای مصارف کازئین اسیدی و نوع رسوبی مختلط به عنوان محصولات حد واسط در فراورده های غذایی پیدا شده است که در این صورت باید از نظر بیولوژیکی و خالص بودن انتظارات مصرف کننده را برآورده سازند.

طراحی مناسب خط فرایند برای تولید بهداشتی محصول ضروریست، چون کازئین در مقایسه با دیگر فراورده های لبنی، محصول فصلی است. واحد تولیدی باید توانایی تغییر به تولید فراورده های دیگر را نیز داشته باشد. مصرف آب باید در محدوده قابل قبول کنترل شود. تولید در شکل پیوسته مناسب تر خواهد بود. تکمیل خط تولید با ماشین های سانتریفوژی برای آب گیری از کازئین و بازیافت کازئین از دست رفته در آب پنیر و آب شستشو، بازدهی را افزایش خواهد داد.

نمونه سؤالات این فصل

۱. انواع کازئین را از نظر روش‌های تولید نام ببرید؟
۲. علت بروز رنگ تیره در تولید کازئین صنعتی چیست؟
۳. بزرگ‌ترین صنعت مصرف‌کننده ترکیبات کازئینه را نام ببرید؟
۴. دو فراورده شبه پلاستیک که با استفاده از کازئین تولید می‌شوند چه نام دارند؟

فصل سیزدهم

فراورده‌های به‌دست آمده از آب پنیر

هدف‌های رفتاری

اهداف رفتاری در این فصل عبارتند از:

- آشنایی با آب‌پنیر و انواع آن،
- اصول و روش‌های فرایند آب‌پنیر،
- فرایندهای تکمیلی،
- دستگاه‌های فراوری‌کننده،
- تولید فراورده‌های به‌دست آمده از آب‌پنیر.

آب پنیر

آب پنیر یا به عبارتی مایع باقی مانده از تولید پنیر و یا تولید کازئین یکی از بزرگ‌ترین منابع پروتئین غذایی است که هنوز به طور وسیعی خارج از چرخه مصرف انسانی قرار دارد. مقدار تولید آب پنیر در دنیا در سال ۱۹۹۰ تقریباً ۱۲۰ میلیون تن بوده، این مقدار حاوی ۰/۷ میلیون تن پروتئین با ارزش نسبی بالاست که تقریباً برابر پروتئین موجود در ۱/۲ میلیون تن گوشت است. در حالی که هنوز بسیاری از مردم جهان از کمبود مزمن پروتئین رنج می‌برند از کل مقدار پروتئین سهم قابل توجهی به صورت دورریز فاضلابی به هدر می‌رود. سهم دورریز فاضلابی آب پنیر در سال ۱۹۹۰ میلادی ۵۰ درصد بوده است.

بر اساس تعریف کمسیون کدکس مواد غذایی سازمان خواربار کشاورزی ملل متحد^۱ و سازمان بهداشت جهانی^۲ آب پنیر مایع جداسازی شده از لخته پس از انعقاد شیر، خامه و شیر بی‌چربی در طی تولید پنیر، کازئین و یا محصولات مشابه است.

آب پنیر^۳ حدود ۹۰-۸۰ درصد از کل حجم شیر ورودی به فرایند پنیرسازی را تشکیل می‌دهد و حاوی حدود ۵۰ درصد از مواد مغذی اصلی شیر مانند پروتئین‌های محلول، لاکتوز، ویتامین‌ها و مواد معدنی است.

اساساً دو نوع آب پنیر وجود دارد:

۱- آب پنیر شیرین که محصول جانبی ناشی از ساخت پنیرهای سخت، نیمه‌سخت و یا نرم با رسوب آنزیمی است که حداقل pH آن ۵/۶ است.

۲- آب پنیر اسیدی که با استفاده از اسید برای تولید کازئین اسیدی خوراکی یا پنیر تازه به دست می‌آید و حداکثر pH آن ۵/۱ است. در جدول ۱ و ۲ ترکیبات تقریبی انواع آب پنیرها نشان داده شده است.

آب پنیر در اغلب موارد با آب رقیق می‌شود. در جدول یاد شده داده‌ها بر اساس آب پنیر رقیق نشده گزارش شده‌اند. حدود ۳۰ درصد ازت غیر پروتئینی^۴ آب پنیر را اوره تشکیل

1. FAO

2. WHO

3. whey

4. NPN

می‌دهد و بقیه شامل آمینواسیدها و پپتیدها (گلوکوماکروپپتیدناشی از عمل آنزیم مایه پنیر بر روی کازئین) هستند.

جدول ۱ ترکیبات تقریبی آب پنیر (درصد)

ترکیبات	آب پنیر حاصل از تولید پنیر	آب پنیر حاصل از تولید کازئین
ماده خشک	۶/۴	۶/۵
آب	۹۳/۶	۹۳/۵
چربی	۰/۰۵	۰/۰۴
پروتئین حقیقی	۰/۵۵	۰/۵۵
نیتروژن غیر پروتئینی	۰/۱۸	۰/۱۸
لاکتوز	۴/۸	۴/۹
خاکستر	۰/۵	۰/۸
کلسیم	۰/۰۴۳	۰/۱۲
فسفر	۰/۰۴	۰/۰۶۵
سدیم	۰/۰۵	۰/۰۵
پتاسیم	۰/۱۶	۰/۱۶
کلر	۰/۱۱	۰/۱۱
اسید لاکتیک	۰/۰۵	۰/۴

ترکیب آب پنیرهای مختلف

آب پنیر به دست آمده از شیر گاو حاوی حدود ۶۵-۶۰ گرم ماده خشک در هر لیتر است که شامل لاکتوز، پروتئین، چربی، مواد معدنی و ترکیبات ازته غیر پروتئینی است، لاکتوز (۸۰ - ۷۰ درصد) و پروتئین (۱۳-۹ درصد) بالاترین غلظت مواد را در آب پنیر دارند.

با توجه به نوع آب پنیر (شیرین یا اسیدی) درصد ترکیبات فوق تغییر می‌کند به این ترتیب که اگر اسیدیته با فعالیت باکتری‌های لاکتیکی ایجاد شده باشد، غلظت لاکتوز کاهش و غلظت اسیدهای آلی مانند لاکتیک، سیتریک و استیک و ... افزایش می‌یابد. به علاوه غلظت مواد معدنی در این نوع آب پنیر نسبتاً بالاست.

جدول ۲ درصد ترکیبات ماده خشک آب‌پنیرهای مختلف حاصل از سه نوع انعقاد

نام ترکیب	صدگرم ماده خشک آب‌پنیر حاصل از		
	انعقاد آنزیمی (مایه پنیر)	تخمیر لاکتیکی	انعقاد اسیدی (اسیدی کردن مستقیم)
لاکتوز (گرم)	۷۰-۸۰	۶۰-۷۰	۶۵-۷۵
پروتئین‌ها (گرم)	۹-۱۳/۵	۹-۱۳/۵	۹-۱۳
ازت غیرپروتئینی (NPN) (گرم)	۰/۶-۰/۸	۰/۵-۰/۷	۰/۳-۰/۵
مواد معدنی (گرم)	۷/۵-۹	۹-۱۴	۹-۱۳
مواد چرب (گرم)	۰/۷-۵	۰/۷-۵	۰/۷-۵
اسیدیته بر حسب درصد اسیدلاکتیک	۰/۰۵-۰/۱۱	۰/۵-۰/۸	۰/۴-۰/۵

ترکیب آب پنیر حاصل از تولید با روش فراپالایش که پساب (پرمیت) نامیده می‌شود از آب‌پنیرهای معمولی متفاوت است و حداکثر ماده خشک آن ۵/۵-۵ گرم در لیتر بوده و میزان پروتئین و چربی آن نزدیک به صفر است.

ترکیب آب‌پنیر متناسب با ترکیب شیر اولیه، نوع پنیر یا کازئین تولیدی، روش‌ها و شرایط فراوری متفاوتی دارد. در جدول ۲ درصد ترکیبات و ماده خشک آب‌پنیرهای مختلف نشان داده شده است.

هر چند آب‌پنیر حاوی مواد مغذی گرانبهاست اما فقط در سال‌های اخیر فرایند تجاری برای تولید فراورده‌های آب‌پنیر با کیفیت بالا توسعه یافته است. در جدول ۳ بعضی از کاربردهای آب‌پنیر و فراورده‌های ساخته شده از آن نشان داده شده است.

در نمودار ۱، فهرستی از فرایندهای گوناگون به کار گرفته در فراوری آب‌پنیر و فراورده‌های نهایی تولید شده از آن نشان داده شده است. با قطع نظر از عملیات بعدی روی آب‌پنیر، در اولین مرحله جداسازی چربی و ذرات کازئین انجام می‌پذیرد. شکل ۱. این قسمت بهره اقتصادی را افزایش می‌دهد زیرا که چربی و کازئین در عملیات بعدی مانع ایجاد می‌نماید.

تولید پودر آب‌پنیر، پودر آب‌پنیر بدون املاح و لاکتوز، و پودر آب‌پنیر لاکتوزگیری شده رایج است. خوشبختانه یک گرایش تدریجی به تولید فراورده‌های جدید از آب‌پنیر و تبدیل آب‌پنیر از یک محصول ناخواسته به مواد خام مهم برای ساخت فراورده‌های با کیفیت به وجود آمده است. بعضی از این فراورده‌ها که در حال حاضر کاربرد یافته‌اند در این فصل شرح داده خواهد شد.

جدول ۳ مثال‌هایی برای کاربرد آب پنیر و پودر آب پنیر

آب پنیر	فراورده‌ها آب پنیر									
	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر					پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر				
آب پنیر	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر	پروتئین آب پنیر تغلیظ شده یا پودر
غذای دام	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
مصارف انسانی										
غذای کودک		●				●	●	●	●	●
غذای رژیمی		●				●	●	●	●	●
سس		●				●				
سوپ‌ها		●	●	●	●	●				
فراورده‌های تقوایی	●	●				●				
پوشش‌ها		●				●				
پنیر آب		●				●				
پنیر با فرایند طبیعی		●				●				
توشابه‌ها	●					●				
قنادی		●	●	●	●	●				
فراورده‌های دارویی		●				●				
تولید مخمر	●									
فراورده‌های صنعتی		●	●							

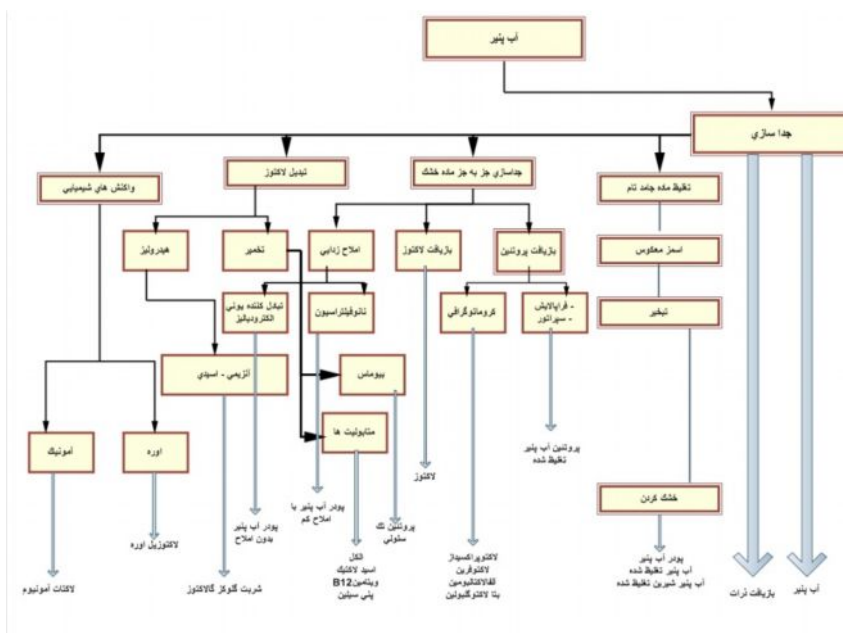
فرایندهای مختلف آب پنیر

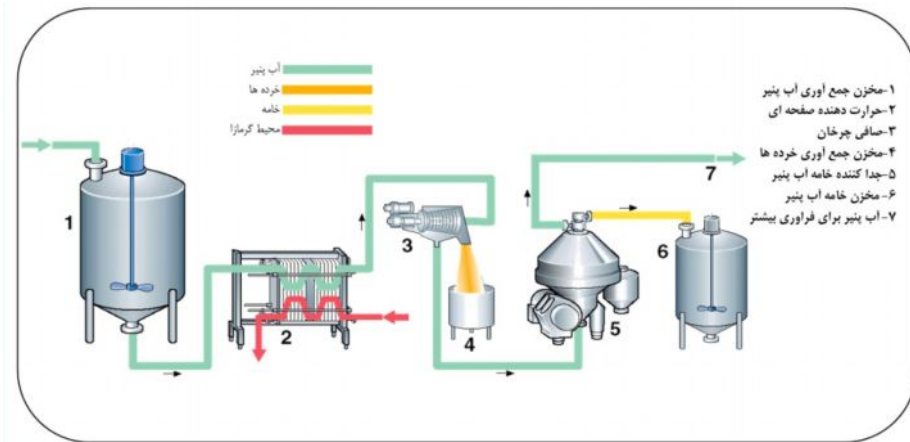
آب پنیر باید به محض جمع‌آوری در اولین فرصت تحت فرایند قرار گیرد، زیرا ترکیبات و دمای آن شرایط مناسب رشد و تکثیر سریع باکتری‌هاست. در صورت انجام نشدن عملیات

حرارتی باید آن را به سرعت تا دمای کمتر از ۵ درجه سانتیگراد خنک نمود. سرما باعث توقف رشد باکتری‌ها می‌شود.

بازیافت خرده‌های کاغذین و جداسازی چربی

خرده‌های کازئین را پس از جداسازی مانند پنیر فشرده و برای تولید پنیر پرورده به کار می‌برند. بازیافت چربی در جداکننده‌های سانتریفوژی انجام می‌پذیرد. از خامه آب‌پنیر اغلب با محتوای چربی ۳۰-۲۵ درصد می‌توان برای استاندارد کردن شیر پنیرسازی استفاده کرد. همچنین، می‌توان آن را مانند خامه تازه برای تولید فرآورده‌های خامه‌ای ویژه به کار برد.





شکل ۱ جداسازی خرده‌های کازئین و چربی از آب پنیر

خنک و پاستوریزه کردن آب پنیر

آب‌پنیری که قرار است ذخیره شود، به محض حذف چربی از آن باید سرد یا پاستوریزه شود. برای زمان کوتاه نگهداری مثلاً ۱۵-۱۰ ساعت خنک کردن برای کاهش فعالیت باکتریایی کافی است. اما برای نگهداری به مدت طولانی‌تر، باید آن را پاستوریزه نمود.

تغلیظ ماده خشک

تغلیظ آب پنیر به طور معمول تحت شرایط خلأ در تبخیرکننده لایه‌ریز در بیشتر از دو مرحله انجام می‌پذیرد. از اواسط دهه هفتاد به بعد تبخیرکننده‌هایی تا هفت بدنه برای استفاده بهینه از انرژی و کاهش هزینه‌ها مرسوم شد. امروزه، سیستم فشردن بخار به طریق مکانیکی و حرارتی عرضه شده است. این نوع تبخیرکننده‌ها به منظور کاهش بیشتر هزینه‌های انرژی طراحی شده‌اند.

از واحد اسمز معکوس^۱ با طرح لوله‌ای^۲ برای تغلیظ مقدماتی آب پنیر قبل از تحویل آن به دامدار (برای مصارف تغذیه دام) یا به تبخیرکننده برای تغلیظ نهایی استفاده می‌شود.

تبخیر را تا رسیدن ماده خشک کل آب پنیر به ۴۵-۶۵ درصد ادامه داده و سپس آن را به سرعت تا دمای ۳۰ درجه سانتیگراد در تبادیل کننده حرارتی صفحه‌ای خنک می‌نمایند و سپس آن را به داخل یک مخزن سه جداره همزن‌دار برای خنک شدن بیشتر

1. Reverse osmosis

2. Tubular

(۲۰-۱۵ درجه سانتیگراد) وارد می‌کنند. این کار باعث تشکیل بلورهای کوچک‌تر می‌شود و به مدت ۸-۶ ساعت ادامه می‌یابد. وقتی این فراورده را با روش پاششی خشک نمایند محصولی غیر هیگروسکوپیک (نم‌ناپذیر) تولید می‌گردد. آب‌پنیر تغلیظ شده (ماده خشک ۵۰-۳۵ درصد) یک محلول فوق اشباع است که می‌توان آن را تحت شرایط معین دما و غلظت لاکتوز، قبل از ترک تبخیرکننده بلورین نمود، در غلظت‌های بالاتر از ماده خشک ۶۵ درصد محصول بسیار ویسکوز شده و به آسانی جریان نمی‌یابد.

خشک کردن

آب‌پنیر را با همان روش شیر یا به عبارت دیگر با استفاده از خشک‌کن‌های استوانه‌ای^۱ یا خشک‌کن‌های پاششی خشک می‌نمایند. (برای اطلاعات بیشتر به فصل نهم، تولید پودر شیر مراجعه شود).

مشکل اساسی در خشک کردن آب‌پنیر به‌روش غلتکی (استوانه‌ای) تراشیدن لایه‌های خشک شده از سطح آن است. برای رفع این مشکل معمولاً از یک ماده پرکن یا حجم‌ساز مانند سبوس گندم یا چاودار استفاده می‌نمایند. ماده پرکن را ابتدا با آب‌پنیر مخلوط می‌کنند و سپس برای خشک شدن به سطح خشک‌کن می‌فرستند. این کار، تراشیدن محصول نهایی را از سطح خشک‌کن آسان می‌سازد.

امروزه خشک‌کن‌های پاششی آب‌پنیر کاربردهای بیشتر و وسیع‌تری دارند. قبل از شروع به خشک کردن آب‌پنیر تغلیظ شده، آن را حرارت می‌دهند تا بلورهای کوچک لاکتوز شکل گیرد، این عمل باعث خواهد شد محصول نهایی غیر نم‌گیر شده و وقتی در معرض رطوبت قرار می‌گیرد کلوخه نشود.

آب‌پنیر اسیدی حاصل از پنیر کاتیج و تولید کازئین به علت محتوای بالای اسید لاکتیک در هنگام خشک کردن خیلی سریع در خشک‌کن پاششی متراکم و کلوخه می‌شود. برای سهولت خشک کردن می‌توان هنگام خنثی‌سازی موادی مانند شیر پس‌چرخ و فراورده‌های غله‌ای به آن افزود. اما معمولاً این نوع آب‌پنیر امروزه تولید نمی‌شود.

بازیافت پروتئین

پروتئین‌های آب‌پنیر را با استفاده از روش‌ها و فناوری‌های متفاوت، رسوب‌دهی و جداسازی می‌نمایند. اما امروزه از روش‌های پیچیده جداسازی غشایی (تفکیک جزء به جزء) و فرایندهای

کروماتوگرافی همراه با رسوب دهنده‌ها، برای این کار استفاده می‌شود. داناتوراسیون حرارتی فرایندی است که بیشترین کاربرد را برای جداسازی پروتئین‌های آب‌پنیر از سرم شیر دارد. رسوبدهی پروتئین‌های آب‌پنیر با استفاده از فرایند حرارتی را HPWP^۱ می‌نامند.

فینگ و کسلر در تحقیقی که در سال ۱۹۸۸ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حداکثر داناتوراسیون پروتئین آب‌پنیر حداکثر ۹۰ درصد آن را دربر می‌گیرد. پروتئوز پیتون یعنی ۱۰ درصد باقیمانده، غیر قابل داناتوراسیون است.

پروتئین طبیعی آب‌پنیر را (که از اجزای تشکیل دهنده پودر آب‌پنیر است) می‌توان به آسانی و با دقت در هنگام خشک کردن آب‌پنیر به دست آورد. محدودیت آن‌ها به عنوان ماده غذایی داشتن محتوای بالای لاکتوز و خاکستر در مقابل فقط ۱۱ درصد پروتئین می‌باشد. امروزه جداسازی پروتئین‌های اصلی آب‌پنیر توسعه بیشتری یافته است و با استفاده از جداسازی غشایی^۲ یا تبادل کننده‌های یونی^۳ می‌توان آن‌ها را به شکل تقریباً دست نخورده به دست آورد، به گونه‌ای که خواص کاربردی مناسبی چون حلالیت، تولید کف، تشکیل امولسیون و خواص ژلاتینی داشته باشند.

بازیافت پروتئین با فرایالایش

در حال حاضر غلیظ شده‌های پروتئینی طبیعی با اسیدهای آمینه‌های مرغوب و با نسبت‌های بالایی از لیزین و سیستئین در دسترس قرار دارند. غلیظ شده‌های پروتئینی آب‌پنیر^۴ (WPC) پودرهایی هستند که از تصفیه غشایی آب‌پنیر به دست می‌آیند و آن‌ها را، بر اساس میزان پروتئینی که دارند تعریف می‌نمایند. درصد پروتئین در ماده خشک آن‌ها از ۳۵ تا ۸۵ درصد متغیر است. برای تولید فرآورده‌ای با ۳۵ درصد پروتئین، آب‌پنیر مایع را حدود ۶ برابر تغلیظ می‌کنند تا ماده خشک آن به حدود ۹ درصد برسد.

برای مثال، با تصفیه غشایی ۱۰۰ کیلوگرم آب‌پنیر با درجه غلظت ۶ (۵/۸۸)، حدود ۱۷ کیلوگرم بخش ماندگار (تغلیظ شده) و ۸۳ کیلوگرم بخش عبوری (پساب) تولید می‌شود. بر اساس داده‌های جدول ۴، مقدار درصد پروتئین در ماده خشک برابر ۳۵ است.

$$\frac{100 \times 0.55}{1.57} = 35$$

1. Heat Precipitated Whey Protein
2. membrane separation
3. ion exchanger
4. whey protein concentrates

در جدول ۴، ترکیبات مایع ورودی (آب‌پنیر) و مایع تغلیظ شده و پساب نشان داده شده است.

جدول ۴ ترکیبات آب پنیر، مایع تغلیظ شده و پساب ناشی از فرایند آب‌پنیر

ترکیب	وزن در ۱۰۰ کیلوگرم آب پنیر معمولی		وزن در ۱۷ کیلوگرم تغلیظ شده		وزن در ۸۳ کیلوگرم پساب	
	کیلوگرم	درصد	کیلوگرم	درصد	کیلوگرم	درصد
پروتئین حقیقی	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۳/۲۴	صفر	صفر
لاکتوز	۴/۸	۴/۸	۰/۸۲	۴/۸۲	۳/۹۸	۴/۸
خاکستر	۰/۸	۰/۸	۰/۱۴	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۸
NPN	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۸
چربی	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۸	صفر	صفر
ماده جامد تام	۶/۳۶	۶/۳۶	۱/۵۷	۹/۲۴	۴/۷۹	۵/۷۸

در جریان تغلیظ تقریباً بیشتر پروتئین حقیقی (۹۹ درصد) و تقریباً ۱۰۰ درصد چربی در مایع تغلیظ شده باقی می‌ماند. تغلیظ روی درصد مقدار لاکتوز، NPN و خاکستر، سیال تغلیظ شده و پساب در مقایسه با آب‌پنیر اولیه تغییری ایجاد نمی‌نماید. اما افزایش جزئی روی درصد مواد در بخش سیال تغلیظ شده مشاهده می‌شود. زیرا به جای مقدار درصد لاکتوز حذف شده همان مقدار به درصد دیگر مواد از جمله مواد معدنی افزوده می‌شود. به طور کلی تجمع نسبی مواد در فراپالایش به عوامل زیر وابسته است:

- نوع غشا،
- سرعت جریان مواد،
- خصوصیت‌های سیال ورودی (رقیق کردن اولیه با آب، تغلیظ کردن اولیه پس از حذف مواد معدنی و ...).

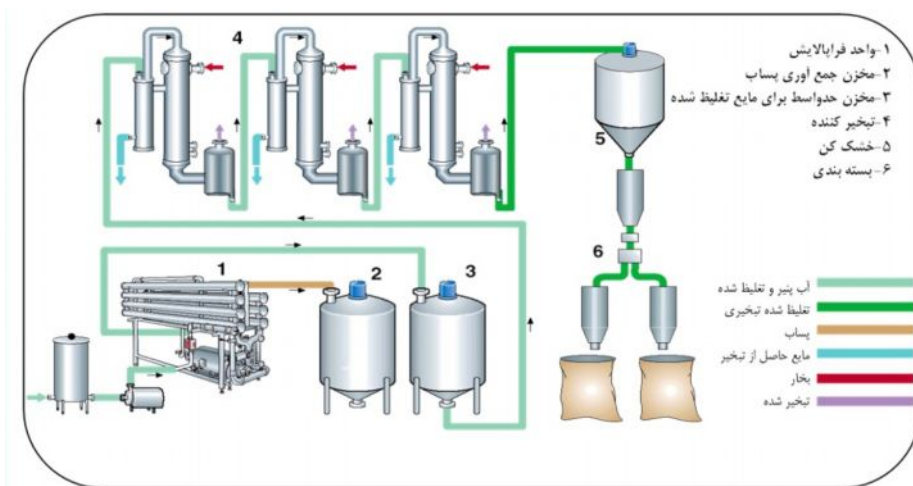
برای به دست آوردن پروتئین تغلیظ‌شده (۸۵ درصد)، مایع آب‌پنیر را ابتدا ۲۰-۳۰ برابر با فراپالایش مستقیم تا رسیدن ماده جامد ۲۵ درصد تغلیظ می‌نمایند. این حالت حداکثر توجه اقتصادی عملیات را دارد. پس از آن لازم است بخش غلیظ شده (در عملیات فراپالایش) تحت فرایند دیافیلتر^۱ قرار داده شود تا لاکتوز و مواد معدنی بیشتری از آن حذف (جدا) شود و غلظت پروتئین نسبت به ماده خشک کل افزایش یابد. دیافیلتراسیون^۲ عملیاتی است که در آن به ماده ورودی آب اضافه می‌شود و در نتیجه در ضمن تصفیه غشایی،

1. Diafilter

2. Diafiltration

مولکول‌های کوچک همراه آب شسته شده و از میان غشا عبور می‌نماید. این مواد شامل لاکتوز و مواد معدنی‌اند. در جدول ۵ ترکیبات چند نوع پودر پروتئین آب‌پنیر تغلیظ شده نشان داده شده است.

خط فرایند تولید پروتئین خشک با استفاده از فرآپالایش در شکل ۲ نشان داده شده است، در این فرایند تقریباً ۹۵ درصد آب پنیر ورودی به صورت پساب در می‌آید و غلظت پروتئین تغلیظ با ۸۵-۸۰ درصد (محاسبه بر اساس محتوای ماده خشک) در محصول خشک شده است.



شکل ۲ فرایند بازیافت پروتئین تغلیظ شده خشک با بکارگیری فرآپالایش

حذف چربی از غلیظ‌شده‌های پروتئینی آب‌پنیر

پودر پروتئینی آب‌پنیر بدون چربی^۱ حاوی ۸۵-۸۰ درصد پروتئین در ماده خشک است و کاربردهای وسیعی دارد. برای مثال، این پودر جانشین مناسبی برای سفیده تخم‌مرغ در فراورده‌های زدنی مانند مرینگوس (نوعی دسر با پایه لبنی) است و برای افزایش ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی مختلف و آب‌میوه‌جات نیز به کار می‌رود.

محتوای چربی پودر پروتئینی تغلیظ شده (با محتوای پروتئین ۸۵-۸۰ درصد) را می‌توان با واحد ریزپالایش از ۷/۲ درصد به کمتر از ۰/۴ درصد کاهش داد. ریزپالایش همچنین باعث تغلیظ غشایی گویچه‌های چربی و بیشتر باکتری‌ها در بخش تغلیظ‌شده می‌شود که آن‌ها را جمع‌آوری و جدا می‌نمایند. پساب بدون چربی که از عملیات ریزپالایش به‌دست آمده است

1. defatted whey protein concentrate

برای تغلیظ بیشتر به واحد فرا پالایش ثانویه فرستاده می‌شود و پس از آن دیافیلتراسیون نیز انجام می‌شود.

همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است آب‌پنیر پس از حرارت مقدماتی (۱) به وسیله خامه‌گیر سانتریفوژی (۲) (برای بازیافت هرچه بیشتر چربی) تحت فرایند قرار می‌گیرد. محصول این مرحله به صورت خامه ۳۰-۲۵ درصد برای استاندارد کردن شیر پنیرسازی به کار می‌رود. این مرحله از جداسازی شامل حذف خرده‌های کازئینی نیز هست، پس از این مرحله آب پنیر پاستوریزه (۱) شده و قبل از انتقال به مخزن نگه‌دارنده تا دمای ۶۰-۵۵ درجه سانتیگراد خنک می‌شود.

جدول ۵ درصد ترکیبات چند نوع پودر تغلیظ شده پروتئین آب‌پنیر

درصد ترکیب	محصول	۱	۲	۳	۴
پروتئین در ماده خشک		۳۵	۵۰	۶۵	۸۰
رطوبت		۴/۶	۴/۳	۴/۲	۴
پروتئین خام (N* ۶/۳۸)		۳۶/۲	۵۲/۱	۶۳	۸۱
پروتئین حقیقی		۲۹/۷	۴۰/۹	۵۹/۴	۷۵
لاکتوز		۴۶/۵	۳۰/۹	۲۱/۱	۳/۵
چربی		۲/۱	۳/۷	۵/۶	۷/۲
خاکستر		۷/۸	۶/۴	۳/۹	۳/۱
اسیدلاکتیک		۲/۸	۲/۶	۲/۲	۱/۲

خصوصیات محصول:

- ۱- جانشین شیر پس چرخ ۳۵ درصد پروتئین در ماده خشک
- ۲- مکمل پروتئینی به غذاهای دیگر ۵۰ درصد پروتئین در ماده خشک
- ۳- حد عملی تغلیظ پروتئین به وسیله اولترافیلتراسیون تنها، ۶۵ درصد پروتئین در ماده خشک
- ۴- محصول اولترافیلتراسیون و دیافیلتراسیون، ۸۰ درصد پروتئین در ماده خشک

پس از طی زمان نگهداری، آب‌پنیر با پمپ به اولین واحد فراپالایش (۴) ارسال و تا حدود سه برابر تغلیظ می‌شود. مایع تغلیظ‌شده به واحد ریزپالایش (۵) فرستاده می‌شود و پس از آن دیافیلتراسیون نیز انجام می‌شود. مایع تغلیظ‌شده ناشی از فرایند ریزپالایش که حاوی چربی و باکتری‌هاست به طور جداگانه جمع‌آوری شده و پس از آن دیافیلتراسیون (۶) فرستاده می‌شود. نتیجه کار به دست آمدن مایع تغلیظ‌شده پروتئینی آب پنیر با ۲۵-۲۰

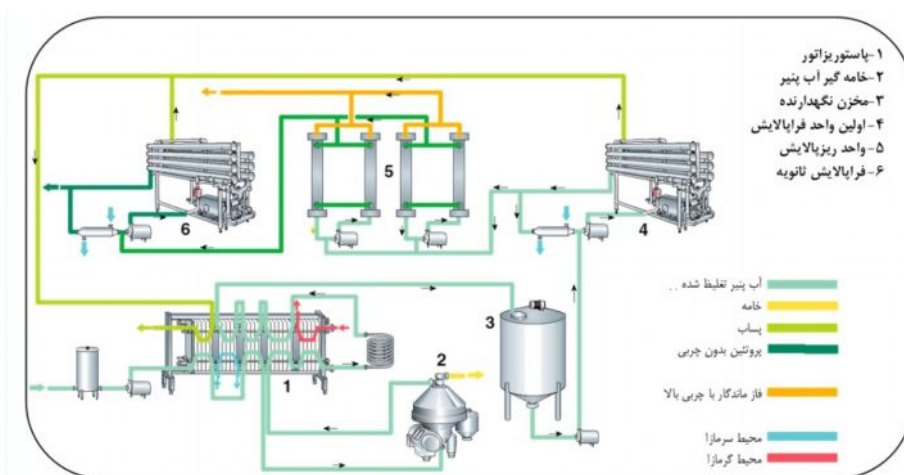
درصد ماده خشک است که برای خشک کردن نهایی به خشک کن پاششی فرستاده می‌شود. در اینجا رطوبت آن به حداکثر ۴ درصد می‌رسد و آماده بسته‌بندی می‌شود.

بازیافت پروتئین‌های دناتوره شده از آب پنیر

عموماً پروتئین‌های سرمی یا پروتئین‌های آب پنیر را نمی‌توان به وسیله مایه پنیر یا اسید رسوب داد. باید ابتدا آن را با حرارت دناتوره نمود. این فرایند به دو مرحله قابل تقسیم است:

- رسوب دادن (دناتوره کردن) پروتئین با ترکیبی از عملیات حرارتی و تنظیم pH،
- تغلیظ پروتئین‌ها با جداسازهای سانتریفوژی.

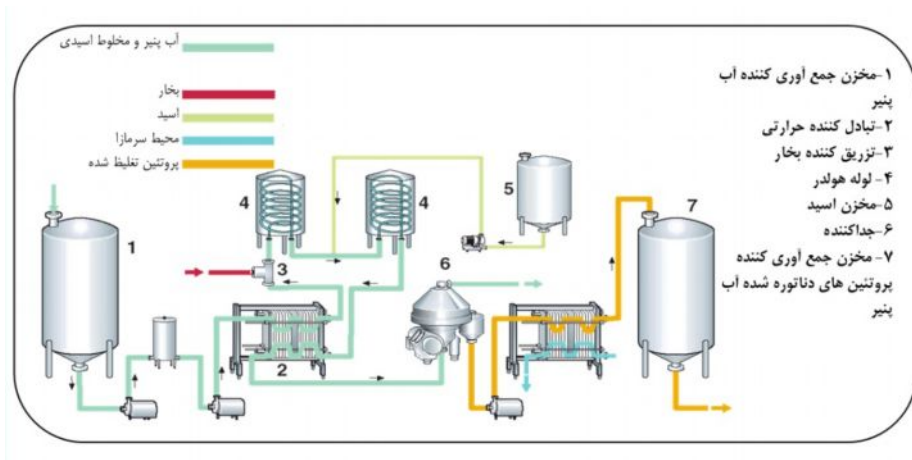
پروتئین دناتوره شده آب پنیر را می‌توان قبل از آنزیم زدن به شیر پنیرسازی افزود. در این حالت، آن‌ها در داخل شبکه ساختمانی ایجاد شده به وسیله کازئین (در زمان لخته‌سازی) باقی می‌مانند. این کاربرد، لزوم دستیابی به یک روش مطلوب رسوب‌دهی و جداسازی پروتئین آب پنیر را ایجاب می‌نماید.



شکل ۳ فرایند حذف چربی از پروتئین تغلیظ شده آب پنیر

در شکل ۴ قسمتی از خط فرایند آب پنیر برای تولید پروتئین دناتوره نشان داده شده است. آب پنیر پس از تنظیم pH با پمپ از مخزن بینابینی (۱) به تبادله کننده حرارتی صفحه‌ای (۲) برای بازیافت حرارتی فرستاده می‌شود. سپس دمای آب پنیر با تزریق مستقیم بخار (۳) تا ۹۵-۹۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد و از میان هولدر لوله‌ای (۴) عبور داده می‌شود، زمان عبور آب پنیر از میان لوله هولدر ۳-۴ دقیقه است. در این مرحله از اسید برای

پایین آوردن pH استفاده می‌شود. ممکن است از اسیدهای آلی یا معدنی (اسید لاکتیک یا اسید کلریدریک) برای این منظور استفاده شود.



شکل ۴ بازایافت پروتئین‌های دناتوره شده آب‌پنیر

پروتئین‌ها که باحرارت دادن و اسید برای رسوب شدن آماده شده‌اند در مدت ۶۰ ثانیه در یک بخش از هولدر لوله‌ای (۴) رسوب می‌نماید.

پس از خنک کردن با روش بازایافت حرارتی تا دمای تقریباً ۴۰ درجه سانتیگراد، پروتئین‌های رسوبی را با دستگاه جداکننده مواد جامد^۱ (۶) از فاز مایع جدا می‌نمایند. جداکننده، مواد رسوبی را در فواصل زمانی ۳ دقیقه‌ای تخلیه می‌کند. در این حالت، رسوب پروتئینی تا ۱۵-۱۲ درصد تغلیظ می‌شود و تقریباً حاوی ۸-۱۰ درصد پروتئین است. با این روش می‌توان ۹۵-۹۰ درصد پروتئین قابل دناتوره‌شدن را بازایافت نمود.

اضافه کردن تغلیظ‌شده پروتئینی آب‌پنیر (دناتوره) به شیر پنی‌سازی برای انواع پنیرهای نرم و نیمه‌سخت تغییرات ناچیزی در خواص لخته پدید می‌آورد. در این حالت، ساختمان لخته در مقایسه با روش مرسوم ظرافت و یکنواختی بیشتری دارد. پروتئین‌های آب‌پنیر فرایند شده در مقایسه با کازئین از خواص آبدوستی بیشتری دارند. برای نمونه، افزودن پروتئین‌های آب‌پنیر فراوری شده در تولید پنیر کاممبرت بازده را ۱۲ درصد افزایش داده است.

نوشیدنی‌های آب‌پنیر

استفاده از WPC برای فرمولاسیون نوشابه‌های غیر گازدار مغذی، آب‌میوه‌ها و آشامیدنی‌های بر پایه شیر و غنی از پروتئین مناسب است. به هر حال، استفاده از WPC در نوشابه‌ها باید با در نظر گرفتن خواست مصرف کنندگان از نظر خواص ارگانولپتیکی و کیفیت کاربردی آن‌ها انجام پذیرد، این بدان معنی است که در تولید این فراورده‌ها باید از WPC بدون طعم استفاده شود. حلالیت پروتئین‌ها در نوشیدنی‌های غنی شده یکی از خواص اصلی است. در آب‌میوه‌های اسیدی و نوشابه‌های گازدار اسیدی ثبات حلالیت در طی دوره نگهداری ضروری است. به علاوه، پروتئین نباید رنگ و طعم افزوده شده به محصول را جذب کند و یا طعم‌های نامطبوع از خود بروز دهد. نوشابه‌های غیر گازدار غنی با پروتئین در pH ۲/۵ تا ۳/۵ با وجود شکر و اسیدهای آلی و امولسیفایرها حلالیت خوبی دارند. این وضعیت در آب‌میوه‌ها نیز صادق است. به طور کلی، استفاده از WPC در pH ۳/۵ تا ۴/۵ پایداری کلونیدی مناسبی دارد.

نوشیدنی‌های غیر الکلی کربونیزه (گازدار) را می‌توان تا حداکثر ۱ درصد با پروتئین‌های آب‌پنیر، بدون اینکه تغییری در ظاهر یا طعم آن‌ها پدید آید، غنی‌سازی کرد. با افزودن مقادیر بیشتر ممکن است طعم معمولی نوشابه تغییر یابد. ظاهراً این تغییر طعم به علت پیوند اجزای طعم‌دهنده با برخی از پروتئین‌های آب‌پنیر است. در صورت استفاده از غلظت‌های متوسط WPC در نوشیدنی‌های شبیه شیر یا نوشیدنی‌های غیر الکلی باید WPC بدون طعم و مقدار خاکستر آن پایین باشد.

چنانچه از WPC برای تقویت نوشیدنی‌های غیر الکلی استفاده شود، باید قبل از عملیات فرآپالایش آب‌پنیر را با استفاده از یک مرحله خامه‌گیری، کاملاً چربی زدایی کرد. نوشیدنی غیر الکلی غنی شده با WPC بدون چربی، ظاهر تمیزتری دارد و در طی دوره نگهداری پایدار می‌ماند. محصولاتی که با استفاده از WPC چربی‌زدایی نشده غنی شوند ظاهر کدري دارند و در دوره نگهداری رسوب می‌دهند و ممکن است در سطح بالای بطری نیز یک لایه چربی تشکیل شود.

چنانچه آب‌میوه‌های غنی شده با پروتئین‌های آب‌پنیر پاستوریزه شوند، ممکن است پروتئین‌های آب‌پنیر تغییر ماهیت دهند ولی می‌توان با کاهش pH تا حد ۳/۵ از بروز این پدیده جلوگیری کرد. با استفاده از این روش می‌توان آب‌پرتقال غنی شده با پروتئین آب‌پنیر را پاستوریزه نمود، بدون این که مشکلات ناشی از عدم پایداری در آن به وجود آید.

جداسازی لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین با روش کروماتوگرافی

کاربرد عوامل بیواکتیو طبیعی^۱ به طور وسیعی در فرمولاسیون موادی مانند غذای نوزادان، غذاهای شفابخش، کرم‌های مخصوص پوست و خمیردندان رایج است. تعدادی از چنین ترکیباتی مانند پروتئین‌های بیواکتیو لاکتوپراکسیداز^۲ و لاکتوفرین^۳ به مقدار بسیار کم در آب‌پنیر موجودند. برای نمونه در یک لیتر آب پنیر ۲۰ میلی‌گرم لاکتوپراکسیداز و ۳۵ میلی‌گرم لاکتوفرین وجود دارد.

طرحی برای جداسازی این پروتئین‌ها در مقیاس صنعتی بر پایه روش کروماتوگرافی وجود دارد. اصول فرایند بر اساس نقطه ایزوالکتریک هر دو پروتئین (لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین) که در pH ۹/۵-۹ قرار دارد، استوار است. بدین معنی که این پروتئین‌ها در pH طبیعی آب‌پنیر شیرین یعنی ۶/۶-۶/۲ بار مثبت دارند. در حالی که دیگر پروتئین‌های آب‌پنیر مانند بتالاکتوگلوبولین، آلفالاکتالبومین و سرم آلبومین گاوی در این محدوده از pH دارای بار منفی دارند. یک فرایند مناسب برای جداسازی لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین عبور دادن آن‌ها از میان رزین‌های تبادل‌کننده کاتیونی برای جذب انتخابی است، مولکول لاکتوپراکسیداز و لاکتوفرین با بار منفی به گروه فعال تبادل‌کننده کاتیونی بر اساس جذب بارهای غیر هم‌نام اتصال پیدا می‌کنند و روی رزین تبادل‌کننده یونی تثبیت می‌شوند، در حالی که دیگر پروتئین‌های آب‌پنیر چون دارای بار منفی می‌باشند از داخل محیط بدون تغییر عبور می‌نمایند.

برای پویا ساختن این فرایند در مقیاس صنعتی، به توجهات خاصی نیاز است. به این نکته باید توجه شود که سرعت جریان آب‌پنیر (بدون ذرات) در هنگام عبور از میان رزین بالا باشد. زیرا باید حجم زیادی از آب پنیر برای دستیابی به حد اشباع، از میان رزین تبادل‌کننده یونی عبور داده شود. عبور دادن آب‌پنیر از ریزپالایش با منافذ ۱/۴ میکرون تحت فشار بین غشایی یکسان^۴ روش موفقی برای تولید آب‌پنیر بدون ذرات است. جریان عبوری ثابت^۵ برابر ۱۵۰۰-۱۲۰۰ لیتر در مترمربع در ساعت را می‌توان به آسانی در این فرایند به مدت ۱۵ تا ۱۶ ساعت برقرار کرد. این نوع فراوری مقدماتی آب پنیر، از افزایش فشار برگشتی بر ستون تبادل یونی جلوگیری می‌کند.

1. natural bioactive agents

2. lactoperoxidase

3. lactoferine

4. uniform transmembrane pressure or UTP

5. stable flux

بازیافت لاکتوز

لاکتوز اصلی‌ترین جزء آب‌پنیر است. برای بازیافت لاکتوز با توجه به نوع ماده خام آن دو روش وجود دارد.

- بلورین‌سازی لاکتوز در آب‌پنیر تغلیظ‌شده و فراوری نشده،
- بلورین‌سازی لاکتوز از آب‌پنیری که پروتئین آن با فراپالایش یا دیگر روش‌ها قبل از تغلیظ، حذف شده است.

در هر دو روش یک پس‌مانده یعنی ملاس^۱ تولید می‌شود که می‌توان آن را خشک کرد و برای تغذیه دام به کار برد. با نمک‌گیری از ملاس و افزودن پروتئین با کیفیت بالا می‌توان ارزش تغذیه‌ای آن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا برد.

بلورین‌سازی

چرخه بلورین‌سازی به وسیله عوامل زیر تعیین می‌شود:

- سطح قابل دسترس رشد بلورها،
- خلوص محلول،
- درجه اشباع،
- دما،
- ویسکوزیته،
- همزدن بلورها در محلول.

تعدادی از عوامل بالا مانند درجه اشباع و ویسکوزیته بر هم تاثیر معکوس دارند. در شکل ۵ خط تولید لاکتوز نشان داده شده است. آب‌پنیر در این خط ابتدا با تبخیرکننده‌ها تا رسیدن به ماده خشک ۶۲-۶۰ درصد غلیظ می‌شود و سپس به مخزن بلورین‌ساز (۲) انتقال می‌یابد. در این محل با دانه‌پاشی بلورها (افزودن پودر بلور به محلول اشباع) بلورین شدن ایجاد می‌شود و بر اساس برنامه از پیش تعیین شده پیش می‌رود. مخزن دارای پوشش خنک‌کننده و مجهز به لوازمی برای کنترل دماست. در داخل آن‌ها همزن‌های ویژه‌ای کار گذاشته شده است.

پس از تشکیل دانه‌های بلور در مایع آبکی، مخلوط را برای جدا نمودن بلورها به جداکننده دکانتوری^۲ (۳) می‌فرستند. پس از آن بلورها را خشک (۴) نموده و با آسیاب

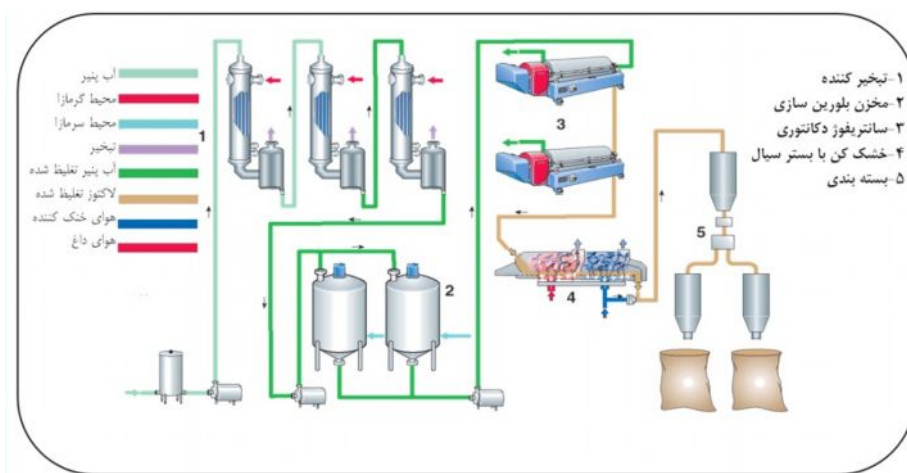
1. molasses

2. decanter centrifuges

چکشی به شکل پودر درمی‌آورند و پس از الک کردن لاکتوز را بسته‌بندی می‌نمایند (۵). برای افزایش کارایی و تسهیل در جداسازی بلورهای لاکتوز از مایع مادر، باید فرایند به گونه‌ای ترتیب داده‌شود که اندازه بلورها بیشتر از $0/2$ میلی‌متر باشد. درجه تبلور با مقدار تبدیل لاکتوز به نوع لاکتوز آلفا مشخص می‌شود. بنابراین، روند خنک کردن مایع تغلیظ‌شده باید با دقت کنترل و تنظیم شود.

جداسازی لاکتوز

از انواع گوناگونی از سانتریفوژها را برای جداسازی بلورهای لاکتوز استفاده می‌شود. یکی از آن‌ها سانتریفوژ دکانتور افقی است که در شکل ۶ نشان داده شده است. نقاله پیچی شکل موجود در این دستگاه به طور پیوسته کار برداشت و تخلیه بلورهای لاکتوز را به انجام می‌رساند. معمولاً برای افزایش بازده از دو دستگاه که به طور پشت سرهم و ردیفی کار گذاشته شده‌اند، استفاده می‌شود. بلورهای لاکتوز از دستگاه اول و سپس از دستگاه دوم عبور می‌کند. در زمان جداسازی ناخالصی‌های همراه بلور شسته می‌شود و بنابراین درجه خالص شدن بالاتر به دست می‌آید. رطوبت باقیمانده در بلور لاکتوز پس از عبور از جداساز دوم به کمتر از ۹ درصد می‌رسد. لاکتوز خالص تقریباً ۹۹ درصد ماده خشک دارد.



شکل ۵ خط تولید لاکتوز

خشک کردن

لاکتوز را پس از جداسازی تا رسیدن به رطوبت ۰/۱-۰/۵ درصد بسته به نوع کاربرد آن خشک می‌نمایند. دما در زمان خشک کردن نباید از ۹۳ درجه سانتیگراد تجاوز نماید، زیرا در دمای بالا، لاکتوز بتا تشکیل می‌شود. مدت زمان خشک کردن نیز بسیار اهمیت دارد. خشک کردن سریع باعث تشکیل لایه نازک بی‌شکلی (غیر بلورینه) از لاکتوز به شکل بلور لاکتوز آلفا و در نتیجه کلوخه شدن فراورده نهایی می‌شود. معمولاً خشک کردن را در واحد خشک کن بستر سیال^۱ انجام می‌دهند. خشک کردن در ۹۲ درجه سانتیگراد ۲۰-۱۵ دقیقه به طول می‌انجامد. پودر خشک شده را با هوای ۳۰ درجه سانتیگراد انتقال می‌دهند و هم‌زمان آن را خنک می‌نمایند. بلورها باید بلافاصله پس از آسیاب به شکل پودری بسته‌بندی شوند.

تصفیه لاکتوز

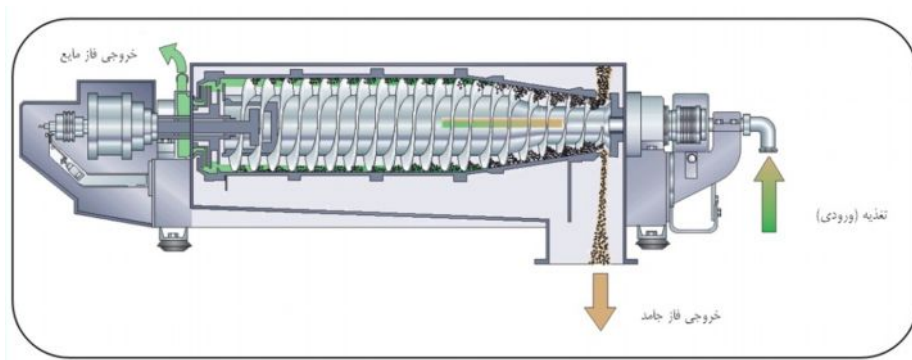
در بعضی از موارد مثلاً در کاربردهای دارویی به درجه خلوص بالایی از لاکتوز نیاز است. بنابراین، برای چنین کاربردهایی باید تصفیه بیشتری روی لاکتوز اعمال شود. برای این کار بلور لاکتوز را مجدداً در داخل آب داغ تا غلظت ۵۰ درصد حل می‌کنند. مقداری کربن فعال، فسفات و یک عامل کمکی در صاف کردن را به آن می‌افزایند و محلول را از صافی عبور می‌دهند. در این واحد مایع غلیظ با انتقال مجدد مخزن تبلور خشک، آسیاب و بسته‌بندی می‌شود.

حذف املاح و نمک‌گیری

آب پنیر به طور متوسط دارای محتوای املاح بالایی در حدود ۸-۱۲ درصد بر اساس وزن خشک است. این حالت مصرف آن را در چرخه غذایی انسان محدود می‌سازد. با حذف املاح از آب پنیر زمینه‌های مختلفی از مصرف را می‌توان برای آن پدید آورد. مواد معدنی و املاح را به طور جزء به جزء تا (۳۰-۲۵ درصد) و یا بالاتر (۹۶-۶۰ درصد) از آب پنیر حذف می‌کنند. آب پنیر تغلیظ شده را که املاح آن به روش جزء به جزء حذف یا کاهش داده شده‌اند می‌توان برای فرمولاسیون بستنی، فراورده‌های نانوایی یا حتی در کوارک (نوعی پنیر نرم) به

1. fluidized bed drier

کار برد. آب پنیر ملح‌زدایی شده به صورت پودر یا تغلیظ شده در فرمولاسیون غذای کودک، شیر خشک نوزاد و گروه وسیعی از فراورده‌های غذایی دیگر کاربرد دارد.



شکل ۶ سانتریفوژ دکانتور

اصول حذف مواد معدنی

حذف املاح در آب پنیر شامل نمک‌های غیر آلی و کاهش یون‌های معدنی مانند لاکتات‌ها و سیترات‌ها است. حذف جزء به جزء املاح در اصل بر پایه عبور دادن مایع از میان غشاهای مخصوص است که برای کاهش دادن این مواد تا حد نانومتر طراحی شده‌اند. این نوع تصفیه غشایی را نانوفیلتراسیون می‌نامند.

حذف املاح در درجات بالاتر با کمک دو روش زیر انجام می‌پذیرد:

- الکترو دیالیز،^۱
- تبادل یونی.^۲

حذف جزء به جزء املاح با نانوفیلتراسیون

با استفاده از طرح ویژه‌ای از غشا اسمز معکوس می‌توان ذرات کوچکی از یون‌های تک‌ظرفیتی مانند سدیم، پتاسیم، کلر و مولکول‌های کوچک آلی مانند اوره و اسید لاکتیک را از غشا عبور داد. این نوع غشا را به نام‌های گوناگونی مانند اولتراسمز^۳، اسمز معکوس تراوش‌کننده^۴ و نانوفیلتراسیون می‌شناسند. در جدول ۶ مقدار درصد کاهش املاح و برخی

1. electro dialysis

2. ion exchange

3. ultraosmosis

4. leaky RO

مواد آلی در تصفیه آب‌پنیر شیرین با روش نانوفیلتراسیون نشان داده شده است، جدول نشان می‌دهد که مقدار کلر در آب‌پنیر شیرین تا بیشتر از ۶۵ درصد و سدیم و پتاسیم تا ۳۵-۳۰ درصد کاهش می‌یابد. دلیل این اختلاف در غلظت حذف مواد بر اساس ایجاد تعادل الکتروشیمیایی بین یون‌های منفی و مثبت است.

نکته مهم در فرایند نانوفیلتراسیون آب‌پنیر، جلوگیری از نشت لاکتوز به سمت پساب است، زیرا نشت بیشتر از ۱/۰ درصد باعث افزایش نیاز اکسیژن بیولوژیکی^۱ در فاضلاب (پساب) می‌شود. به کارگیری نانوفیلتراسیون در فرایند آب‌پنیر باید به حالات زیر توجه کرد:

- راه حلی با هزینه پایین برای کاستن طعم نمکی پودر آب‌پنیر:
- مرحله مقدماتی برای حذف کامل املاح از آب‌پنیر با الکترودیالیز و تبادل‌کننده یونی است.
- برای حذف اسید هیدروکلریک و اسید لاکتیک در آب‌پنیر حاصل از تولید کازئین قابل استفاده است باید توجه داشت که شدت نفوذ از غشا برای یون لاکتات پایین اما برای مولکول اسید لاکتیک آزاد بالاست.
- برای کاهش نمک از آب‌پنیر نمک‌دار (برای مثال آب‌پنیر ناشی از تولید پنیر چدار) مناسب است.

درجات بالاتر حذف املاح

الکترودیالیز

در الکترودیالیز انتقال یون از میان غشای نیمه‌تراوا به صورت غیر انتخابی تحت اثر جریان مستقیم^۲ الکتریکی انجام می‌پذیرد. غشاها کار تبادل آنیون و کاتیون را بر عهده دارند. در فرایند الکترودیالیز محتوای مواد معدنی در مایع تحت فرایند مانند آب دریا یا آب‌پنیر کاهش می‌یابد.

در شکل ۷ تصویر طراحی شده واحد الکترودیالیز نشان داده شده است. این واحد با دیواره‌های غشایی که به طور متناوب قابلیت تبادل‌کنندگی کاتیونی و آنیونی دارند به خانه‌هایی تقسیم شده‌اند. فضای بین خانه‌ها تقریباً یک میلی‌متر یا کمتر است. در انتهای هر خانه الکترودهایی کار گذاشته شده است. ممکن است بین هر جفت الکترودها بیشتر از ۲۰۰ جفت سلول (خانه) قرار داشته باشد. دو الکتروده در انتهای مجموعه دسته سلول‌ها همراه با مجاری جداگانه شستشوکننده در این شکل نشان داده شده است. یک جریان اسیدی

1. Biological Oxygen demand or BOD

2 Direct current = DC

جداکننده برای محافظت الکترودها در برابر واکنش‌های شیمیایی در اطراف آن‌ها چرخش داده می‌شود.

برای بهبود کیفیت آب‌پنیر، آن را همراه با آب‌نمک اسیدی شده به طور متناوب از میان مجموعه خانه‌ها عبور می‌دهند. ساختمان دستگاه بیشتر به تبادل‌کننده حرارتی صفحه‌ای یا لایه‌های صافی فراپالایش شباهت دارد.

جدول ۶ درصد کاهش املاح و برخی مواد آلی آب‌پنیر شیرین با تصفیه غشایی

درصد	مواد کاهش یافته	ویژگی‌های آب پنیر تحت فرایند	
۳۱	پتاسیم	۲۲ درصد	ماده خشک نهایی
۳۳	سدیم	۴	ضریب تغلیظ
۶۷	کلر	۲۱ درجه سانتیگراد	دما
۳	کلسیم	۲/۵ مگاپاسکال (۲۵ بار)	فشار
۶	فسفر		
صفر	سیترات		
کمتر از ۳	لاکتات		
۲۵	خاکستر		
۳	ماده خشک		
۲۷	NPN		
کمتر از ۰/۰۳	لاکتوز		

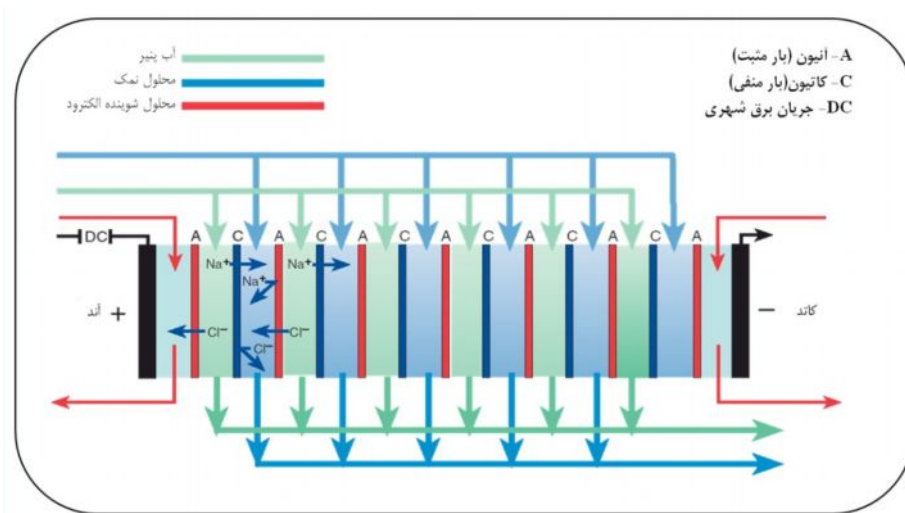
اصول عملیات

خانه‌های متناوب در مجموعه الکترودیالیز کار غلیظ شدن و رقیق شدن را به ترتیب انجام می‌دهند. آب‌پنیر از میان خانه‌های رقیق‌کننده عبور می‌کند و آب نمک با غلظت ۵ درصد به عنوان محلول حامل از میان خانه‌های تغلیظ‌کننده چرخش داده می‌شود.

با برقراری جریان برق مستقیم^۱ از میان خانه‌ها، کاتیون‌ها به طرف کاتد و آنیون‌ها به طرف آند شروع به حرکت می‌کنند. حرکت یون‌ها آزادانه صورت نمی‌پذیرد زیرا غشاها مانند یک سد در برابر یون‌های غیر هم نام عمل می‌نمایند. یعنی آنیون‌ها فقط می‌توانند از میان غشای آنیونی عبور کنند و امکان عبور غشاء کاتیونی را ندارند و به‌عکس. نتیجه کار تخلیه

یون‌ها در خانه محتوی آب‌پنیر (رقیق) است. سرانجام در این عملیات آب‌پنیر در یک دامنه معین ملح زدایی می‌شود.

واحد الکترودیالیز ممکن است به صورت پیوسته یا غیرپیوسته عمل نماید. فرایند غیرپیوسته، که اغلب آن را برای ملح‌زدایی بالای ۷۰ درصد به‌کار می‌برند، ممکن است دسته‌های غشایی بالاتری داشته باشد. مایع فرایند شونده مثلاً آب‌پنیر آن‌قدر در آن چرخش داده می‌شود تا به مقدار خاکستر معینی در محصول دسترسی پیدا شود. برای ملح‌زدایی تا ۹۰ درصد، زمان نگهداری در فرایند غیر پیوسته بیشتر از ۶ - ۵ ساعت در دمای ۳۰ - ۴۰ درجه سانتیگراد است. تغلیظ مقدماتی آب‌پنیر تا مقدار ۳۰ - ۲۰ درصد ماده خشک با توجه به ظرفیت مورد استفاده و مصرف انرژی الکتریکی مطلوب به نظر می‌رسد. آب‌پنیر تغلیظ شده باید قبل از ورود به واحد الکترودیالیز با جداساز سانتریفوژی تحت فرایند قرار گیرد.



شکل ۷ نمای شماتیک الکترودیالیز

به‌کارگیری دمای بالاتر در فرایند، خطر رشد بیولوژیکی را در محصول همراه خواهد داشت. بنابراین، در صورت مجاز بودن از یک توقف‌دهنده رشد باکتریایی مانند آب‌اکسیژنه استفاده می‌شود و آن را به آب‌پنیر اضافه می‌نمایند. مایع تحت اثر فرایند گرم می‌شود. بنابراین، یک مرحله خنک‌سازی برای تعدیل حرارتی لازم است. معمولاً واحد پیوسته شامل پنج دسته غشایی است که به طور ردیفی پشت سر هم قرار داده شده‌اند، زمان نگهداری سیال در آن‌ها ۴۰ - ۱۰ دقیقه است. حداکثر توان ملح‌زدایی چنین واحدی اغلب محدود و

تقریباً ۷۰ - ۶۰ درصد است. در مقایسه ظرفیت سطح غشای کار گذاشته شده در واحد پیوسته، بیشتر و بزرگ‌تر از واحد غیر پیوسته است.

تولید مکمل غذایی نشخوارکنندگان

در برنامه غذایی نشخوارکنندگان می‌توان از مواد نیتروژن دار غیر پروتئینی مانند اوره و آمونیاک به جای پروتئین استفاده کرد زیرا میکروارگانیسم‌های داخل شکمبه آن‌ها قادر است از این مواد پروتئین بسازد. با توجه به ضرورت تعادل در نیتروژن و انرژی رژیم غذایی دام، اوره و آمونیاک بهترین شرایط مصرف را برای این منظور دارند زیرا نیتروژن موجود در آن‌ها به تدریج در داخل شکمبه آزاد و از آن‌ها برای ساختن پروتئین‌ها استفاده می‌شود. لاکتوزیل اوره و لاکتات آمونیوم دو محصول قابل تولید از آب پنیرند.

لاکتوزیل اوره

برای تولید لاکتوزیل اوره آب پنیر را در دو مرحله تا دمای ۷۵ درجه سانتیگراد غلیظ می‌نمایند. پس از اضافه نمودن اوره و اسید سولفوریک خوراکی، آن را در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ ساعت نگهداری می‌کنند. در این مدت مخلوط به آرامی با همزن‌های قوی هم‌زده می‌شود، که با واکنش لاکتوز و اوره لاکتوزیل اوره تولید می‌شود. در ادامه محصول را خنک می‌کند و آن را به کارخانه تولید غذای کنسانتره دام یا دامداری‌ها می‌فرستند.

لاکتات آمونیوم

این فراورده با تخمیر لاکتوز موجود در آب پنیر با کمک اسید لاکتیک و حفظ pH آن با آمونیاک تولید می‌شود. پس از تغلیظ این ماده تا ۶۲ درصد ماده خشک، برای استفاده در غذای دام آماده شده است.

نمونه سؤالات این فصل

۱. غلظت لاکتوز در آب‌پنیر شیرین و اسیدی چه تفاوتی دارد و چرا؟
۲. علت بکارگیری دیافیلتراسیون در فراوری آب پنیر چیست؟
۳. با چه روشی املاح از آب‌پنیر حذف می‌شود؟
۴. لاکتوزیل‌اوره چیست و چه کاربردی دارد؟

منابع و مأخذ

۱. فرهنودی، فرهاد، با همکاری فرانک آذین (۱۳۸۳)، ارزش غذایی شیر و فراورده های آن، شرکت سهامی صنایع شیر ایران.
۲. فرهنودی، فرهاد، (۱۳۷۷)، صنعت شیر (جلد اول و دوم)، ترجمه، شرکت سهامی صنایع شیر ایران.
۳. فرهنودی، فرهاد، (۱۳۸۲)، فناوری تولید پنیر، ترجمه، شرکت سهامی صنایع شیر ایران.
۴. فرهنودی، فرهاد، مجید دیدری، ۱۳۷۹، کاربرد فراپالایش (اولترافیلتراسیون) در صنایع لبنی، ترجمه، شرکت سهامی صنایع شیر ایران.

1. alfa Laval/Tetra Pak (1995). *Dairy Processing Handbook*, Tetra Pak Processing Systems, S-221 86, Lund, Sweden.
2. Atherton, H.V. and J.A. Newlander (1977). *Chemistry and Testing of Dairy Products*, 4th Edn., AVI Publ., Westport, CT.
3. Bassette, R., D.Y. Fung, and V.R. Mantha (1986). Off-flavors in milk. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 24:1-52.
4. Bodyfelt, F.W., J. Tobias and G.M. Trout (1988). *The Sensory Evaluation of Dairy Products*, AVI Publ., Westport, CT.
5. Fondation de Technologie Laitiere du Quebec (1985). *Dairy Science and Technology: Principles and Applications*. Laval University Press.
6. Fox, P.F. and P.L.H. McSweeney (1998). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Blackie Academic and Professional.
7. Fox, P.F., T. P. Guinee, T. M. Cogan and P.L.H. McSweeney (2000). *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publication.
8. Goff, H.D. and A.R. Hill (1993). Chemistry and physics. In Y.H. Hui (ed.), *Dairy Science and Technology Handbook Vol.1: Principles and Properties*, pp. 1-82. VCH Publishers, New York.
9. Hui, Y. H. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook. Vol. 1. Principles and Properties*. VCH. (Chap. 1 Dairy Chemistry and Physics).
10. Hui, Y. H. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook. Vol. 2. Product Manufacturing*. VCH. (Chap. 2, Ice Cream)

11. Hui, Y. H. (1993). *Dairy Science and Technology Handbook. Vol.3. Technology and Engineering*. VCH. (Chap. 1, QA, Chap. 3, Expert Systems, Chap. 4 Equipment, Chap.5, Plant Engineering)
12. Kessler, H. G. (1981). *Food Engineering and Dairy Technology*. Verlag A. Kessler, Germany.
13. Larsson, K. and S. Friberg, eds. (1990). *Food Emulsions*. 2nd Edn. Marcel Dekker, Inc., NY.
14. Marshall, R. T., Goff, H. D. and Hartel, R. W. (2003). *Ice Cream*. 6th Edition. Kluwer Academic.
15. Mulder, H., and P. Walstra (1974). *The Milk Fat Globule. Emulsion as Applied to Milk Products and Comparable Foods*. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.
16. Robinson, R. K., ed. (1994). *Modern Dairy Technology. Vol. 1. Advances in Milk Products* , 2nd Edition. Elsevier, NY.
17. Robinson, R. K., ed. (1994). *Modern Dairy Technology. Vol. 2. Advances in Milk Processing* . Elsevier, NY.
18. Shipe, W.F., 1978. Off flavors in milk: nomenclature, standards, and bibliography. *J. Dairy Sci.* 61:855-869.
19. Vasavada, P.C., and M.A. Cousin. (1993). Dairy microbiology and safety. In Y.H. Hui (ed.), *Dairy Science and Technology Handbook Vol.2: Product Manufacturing*, pp. 301-426. VCH Publishers, New York.
20. Walstra, P. (1990). On the stability of casein micelles. *J. Dairy Sci.* 73:1965-1979.
21. Walstra, P. and R. Jenness. (1984). *Dairy Chemistry and Physics*. John Wiley and Sons, New York.
22. Walstra, P., T.J. Geurts, A. Noomen, A. Jelema, and M.A.J.S. van Boekel. (1999). *Dairy Technology (Principles of Milk Properties and Processes)*. Marcel Dekker, Inc.
23. Wong, N.P., R. Jenness, M. Keeney, and E.H. Marth ,ed. (1988). *Fundamentals of Dairy Chemistry*, 3rd edit. Van Nostrand Reinhold, New York.