بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

مدل سازی انتقال حرارت در پنیر سفید تهیه شده به روش اولترافیلتراسیون

پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی

محسن دلوی اصفهان

استاد راهنما

دکتر ناصر همدمی

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم و صنایع غذایی آقای محسن دلوی اصفهان تحت عنوان:

مدل سازی انتقال حرارت در پنیر سفید تهیه شده به روش اولترافیلتراسیون

در تاریخ ۸۵/۹/۲٤ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر ناصر همدمی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر شهرام دخانی
۳- استاد داور	دکتر محمد شاهدی
٤- استاد داور	دکتر مسعود علیخانی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر شهرام نوربخش

تشکر و قدردانی

لازم می دانم از پدر ومادر مهربانم که مرا در امر تحصیل علم یاری کردند تشکر و قدردانی کنم و از خداوند عزوجل سلامتی و موفقیت روزافزون را برایشان مسئلت می کنم .

از راهنمایی ها و زحمات استاد راهنمای تحقیق جناب آقای دکتر ناصر همدمی کمال تشکر وقدردانی را دارم .

از استاد مشاور پایان نامه جناب آقای دکتر شهرام دخانی و از اساتید آقایان دکتر محمد شاهدی و دکتر مسعود علیخانی که زحمت بازخوانی و داوری ، پایان نامه را تقبل کردند کمال امتنان را دارم .

از همه اساتیدی که افتخار شاگردی در محضر آنها را در تمامی مراحل تحصیل داشتم قدردانی می کنم .

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر عزیز و مادر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب..... هشت
فهرست شکل ها و نمودارها..... یازده
فهرست جداول..... سیزده
چکیده..... چهارده
فصل اول: مقدمه و بررسی منابع
۱-۱-تاریخچه پنیر..... ۱
۱-۲-طبقه بندی پنیر..... ۲
۱-۳-تاریخچه پنیر فتا..... ۲
۱-۳-۱-خصوصیات پنیر فتا..... ٤
۱-۳-۲-تولید ومصرف پنیر فتا در جهان..... ٤
۱-۳-۳-تولید پنیر فتا در ایران..... ٤
۱-۳-٤-فرایند ساخت پنیر فتا به روش اولترافیلتراسیون..... ٤
۱-٤-انتقال حرارت..... ٥
۱-٥-خواص ترموفیزیکی..... ٦
۱-٥-۱-هدایت حرارتی..... ۷
- روش‌های اندازه گیری هدایت حرارتی..... ۹
۱-٥-۲-مدل های هدایت حرارتی..... ۲۱
۱-٥-۳-گرمای ویژه..... ۲۸
- روش‌های اندازه گیری گرمای ویژه..... ۲۹
۱-٥-٤ -ضریب انتقال حرارت در سطح..... ۳٦
- روش‌های اندازه گیری ضریب انتقال حرارت در سطح..... ۳٦
۱-٥-٥- فعالیت آبی..... ٤۲
- روش‌های اندازه گیری فعالیت آبی..... ٤۳
۱-٥-٦- جرم حجمی..... ٤۷
۱-٦-حل آنالیتیک..... ٤۹
۱-۷-حل عددی..... ٥۰
۱-۷-۱-تفاضل محدود..... ٥۱

عنوان **صفحه**

۱-۷-۲-اجزاء محدود ٥٤
۱-۸-مطالعه خصوصیات ترموفیزیکی در مواد لبنی ٥٥
۱-۹-مطالعه انتقال حرارت وجرم در پنیر ٥٧
۱-۱۰- اهداف ٥٩
فصل دوم: مواد و روش ها
۲-۱-دستگاهها و مواد مورد استفاده ٦٠
۲-۱-۱-دستگاهها ٦٠
۲-۱-۲- مواد مصرفی ٦١
۲-۱-۳-مواد شیمیایی ٦١
۲-۲-تجزیه شیمیایی ٦٢
۲-۲-۱-اندازه گیری رطوبت ٦٢
۲-۲-۲- اندازه گیری pH ٦٢
۲-۲-۳- اندازه گیری میزان نمک ٦٢
۲-۲-٤- اندازه گیری میزان پروتئین ٦٣
۲-۲-٥- اندازه گیری میزان خاکستر ٦٤
۲-۲-٦- اندازه گیری میزان چربی ٦٤
۲-۳- اندازه گیری هدایت حرارتی ٦٤
۲-٤- اندازه گیری گرمای ویژه ٦٥
۲-٥-اندازه گیری فعالیت آبی ٦٦
۲-٦-اندازه گیری جرم حجمی ٦٦
۲-۷-تعیین ضریب انتقال جرم و حرارت در سطح ٦٧
۲-۸-مدل سازی انتقال حرارت ٦٨
۲-۸-۱-توسعه مدل ٦٨
۲-۸-۲- مدل تک بعدی ٦٩
۲-۸-۳- مدل سه بعدی ۷۰
۲-۸-٤- تائید مدل ۷۳
۲-۹- طرح آماری مورد استفاده و روش آنالیز نتایج ۷٥
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱-تجزیه شیمیایی نمونه های پنیر ۷۷

عنوان **صفحه**

۳-۲- منحنی تغییرات هدایت حرارتی ۷۸
۳-۳- مدل هدایت حرارتی ۷۸
۳-٤- گرمای ویژه ۸۰
۳-۵- جرم حجمی ۸۱
۳-۵- ۱ –اثر دما بر جرم حجمی ۸۲
۳-۵- ۲ –مدل رگرسیون چند گانه خطی ۸۵
۳-٦-فعالیت آبی ۸۸
۳-۷- ضریب انتقال جرم و حرارت ۸۹
۳-۸- مدل عددی توسعه داده شده برای توصیف انتقال حرارت ۹۱
۳-۸-۱- منحنی تغییرات دما در طی گرم کردن پنیر ۹۱
۳-۸-۲-تائید مدل (مقایسه نتایج روش تفاضل محدود با نتایج حل انالیتیک) ۹۱
۳-۸-۳-تائید مدل (مقایسه پروفیل های دمای پیش بینی شده با مقادیر اندازه گیری شده) ۹۲

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها

٤-۱- نتیجه گیری ۹٦
٤-۲- پیشنهادها ۹۸
منابع ۹۹
Abstract ۱۰۶

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- نمودار طبقه بندی پنیر بر اساس عامل رسیدگی و سفتی پنیر ۳
شکل ۱-۲- طبقه بندی روش های اندازه گیری هدایت حرارتی ۱۰
شکل ۱-۳-دستگاه اندازه گیری هدایت حرارتی فیتچ ۱۳
شکل ۱-٤- ترمیستور مهره ای ۱۵
شکل ۱-۵- پروب تزریق ۱۵
شکل ۱-٦- سیستم مورد استفاده برای اندازه گیری هدایت حرارتی با پروب ۱۸
شکل ۱-۷- نمودار دما به لگاریتم زمان برای پروب هدایت حرارتی ۱۸
شکل ۱-۸- اصول و نمودار روش فلاش- پالس ۲۰
شکل ۱-۹- روش اندازه گیری هدایت حرارتی به روش غیر مستقیم ۲۱
شکل ۱-۱۰- ترموگرام شماتیک روش کالریمتر اسکنی تفرقی برای مواد غذایی ۳۰
شکل ۱-۱۱- طرح شماتیک اندازه گیری گرمای ویژه به روش مخلوط ۳۳
شکل ۱-۱۲- روش صفحه داغ محافظت شده برای اندازه گیری گرمای ویژه ۳٤
شکل ۱-۱۳- مدل های مورد استفاده برای تعیین فعالیت آبی در مواد غذایی نیمه مرطوب ٤۷
شکل ۱-۱٤- مراحل مدل سازی با روش های تفاضل محدود و اجزای محدود ۵۱
شکل۱-۱۵- شمای کرانک نیکلسون در حل معادلات تفاضل محدود ۵۵
شکل ۲-۱- مدار الکتریکی برای اندازه گیری هدایت حرارتی ٦۵
شکل ۲-۲- نمای داخلی اسکن کالریمتر ٦٦
شکل ۲-۳- طرح شماتیک پلی استیرن و قطعه آلومینومی برای اندازه گیری ضریب انتقال حرارت در سطح ٦۷
شکل۲-٤- برش عرضی بسته پنیر UF ۷۱
شکل ۲-۵- دستگاه برش پنیر ۷۳
شکل ۲-٦- چارچوب پلی استیرن و پنیر و موقعیت قرار گیری ترموکوپل ها در حالت یک بعدی ۷٤
شکل ۲-۷- مش بندی مورد استفاده برای پنیر در حالت سه بعدی ۷۵
شکل۳-۱- نمودار تغییرات هدایت حرارتی نمونه های پنیر با نمک و بدون نمک به عنوان تابعی از دما ۷۸
شکل۳-۲- مدل هدایت حرارتی توسعه داده شده ۷۹
شکل۳-۳- نمودار و مقایسه هدایت حرارتی پیش بینی شده توسط مدل های متفاوت ۸۰
شکل۳-٤- نمودار مقایسه گرمای ویژه ظاهری اندازه گیری شده به روش DSC با مدل ۸۱
شکل۳- ۵- نمودار تغییرات جرم حجمی پنیر بعنوان تابعی از دما در غلظت های متفاوت آب نمک ۸۱
شکل۳-٦- نمودار تغییرات لگاریتم دانسیته به عنوان تابعی از عکس دما ۸۳

عنوان **صفحه**

شکل۳-۷- نمودار تغییرات انرژی فعال سازی در غلظت های مختلف نمک ۸٤
شکل۳-۸- نمودار مقایسه مقادیر دانسیته پیش بینی شده با اندازه گیری شده بعنوان تابعی از دما ۸۵
شکل۳-۹- نمودار پراکنش مانده های مدل رگرسیون ۸۷
شکل۳-۱۰- نمودار تغییرات دانسیته برآورد شده توسط مدل به عنوان تابعی از دما وغلظت نمک ۸۸
شکل۳-۱۱- نمودار مقایسه مقادیر فعالیت آبی پیش بینی شده با مقادیر اندازه گیری شده در دمای ۲۵ سانتیگراد ۸۹
شکل۳-۱۲- نمودار $\ln(T_{\infty}-T_{aluminum})$ نسبت به زمان برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت در سطح ۹۰
شکل۳-۱۳- نمودار مقایسه تغییرات دما در سطح و مرکز پنیر در حین گرم کردن در دمای ٤۰ °C درحالت یک بعدی..... ۹۱
شکل۳-۱٤- نمودار مقایسه بین نمودارهای حل عددی وتحلیلی برای دیوار تخت در مرکز و سطح نمونه ۹۲
شکل۳-۱۵- نمودار مقایسه تغییرات دما در سطح و مرکز پنیر در حین گرم کردن حاصل از حل عددی و تحلیلی معادلات در دمای ٤۰ °C و بمدت ۳ ساعت ۹۲
شکل۳-۱٦- نمودار مقایسه دمای پیش بینی شده و اندازه گیری شده در سطح پنیر در طی حرارت دهی تک بعدی در دمای ٤۰ °C ۹۳
شکل۳-۱۷- نمودار مقایسه دمای پیش بینی شده و اندازه گیری شده در مرکز پنیر در طی حرارت دهی تک بعدی در دمای ۵۰ °C ۹۳
شکل۳-۱۸- نمودار مقایسه دمای پیش بینی شده و اندازه گیری شده در سطح و بخش تحتانی بسته پنیر در طی حرارت دهی سه بعدی در دمای ۵۰ °C ۹٤

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- روابط توصیف کننده وابستگی خصوصیات ترموفیزیکی به دما ۳۸
جدول ۳-۱- درصد ترکیبات نمونه پنیر قبل وبعد از نمک پاشی ۷۷
جدول ۳-۲- مقایسه مقادیر هدایت حرارتی و گرمای ویژه اندازه گیری شده با مقادیر پیش بینی شده در دماهای متفاوت ۸۱
جدول ۳-۳- مقادیر انرژی فعال سازی ، شیب و عرض از مبدأ منحنی های حاصل از رگرسیون خطی ۸٤
جدول ۳-٤- تجزیه آماری اثر عوامل آزمایشی بر جرم حجمی..... ۸۵
جدول ۳-۵- جدول آنالیز واریانس منبع تغییرات مدل ۸٦
جدول ۳-٦- برآورد پارامترهای مدل رگرسیونی ۸٦
جدول ۳- ۷- فعالیت آبی و میزان نمک پنیر در غلظت های مختلف آب نمک ۸۸
جدول ۳-۸- مقایسه ضریب انتقال حرارت و جرم در دمای $50\ ^{\circ}C$ و سرعت ۱/٤ متر بر ثانیه ۹۰
جدول ۳-۹- مقادیر ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا بین داده های تجربی و آزمایشی توسط مدل عددی در حالت یک بعدی در دمای $40^{\circ}C$..... ۹۵
جدول ۳- ۱۰- مقادیر ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا بین داده های تجربی و آزمایشی توسط مدل عددی در حالت سه بعدی در دمای $50\ ^{\circ}C$ ۹۵

چکیده

دما و رطوبت نقش مهمی را در خصوصیات کیفی پنیر از جمله بار میکروبی ، خصوصیات بافتی و ارگانولپتیک بازی می کنند .تحقیق حاضر شامل مدل سازی خصوصیات ترموفیزیکی و در ادامه شبیه سازی و معتبر سازی انتقال حرارت و پیش بینی پروفیل های دما در حین آب نمک گذاری در پنیر تهیه شده به روش اولترافیلتراسیون می باشد .

خصوصیات ترموفیزیکی شامل: هدایت حرارتی، گرمای ویژه، دانسیته و فعالیت آبی پنیر اندازه گیری گردید. سپس معادلات ریاضی برای توصیف ویژگیهای مذکور به عنوان تابعی از دما و ترکیب شیمیایی پنیر ارائه شد. نتایج نشان داد که خصوصیات مزبور به شدت تحت تاثیر رطوبت ودما می باشند . در ادامه به توسعه مدل هدایت حرارتی بر اساس مدل های موازی و ماکسول پرداخته شد و با استفاده از روش رگرسیون خطی چند گانه وابستگی فعالیت آبی و دانسیته به دما و رطوبت تعیین گردید .

میانگین ضریب انتقال حرارت و جرم در سطح به صورت با استفاده از روش آزمایشی دمای گذار و روش اعداد بدون بعد تعیین گردید .

در ادامه تحقیق برای توصیف انتقال حرارت سه بعدی در پنیر مدل عددی تفاضل محدود بر روی نرم افزار مطلب توسعه داده شد. وابستگی دمائی خصوصیات ترموفیزیکی پنیر به جزء هدایت حرارتی، ثابت فرض شده است . مقایسه پروفیل دمایی پیش بینی شده، با نتایج آزمایشی نشان‌داد که همبستگی خوبی(بیش از ۹۹ درصد) بین آنها وجود دارد و مدل مذکور قادر است اولاً مکانیسم انتقال حرارت و ثانیاً پروفیل های دما در پنیر تهیه شده به روش اولترافیلتراسیون را بخوبی پیش بینی نماید.

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

۱-۱-تاریخچه پنیر

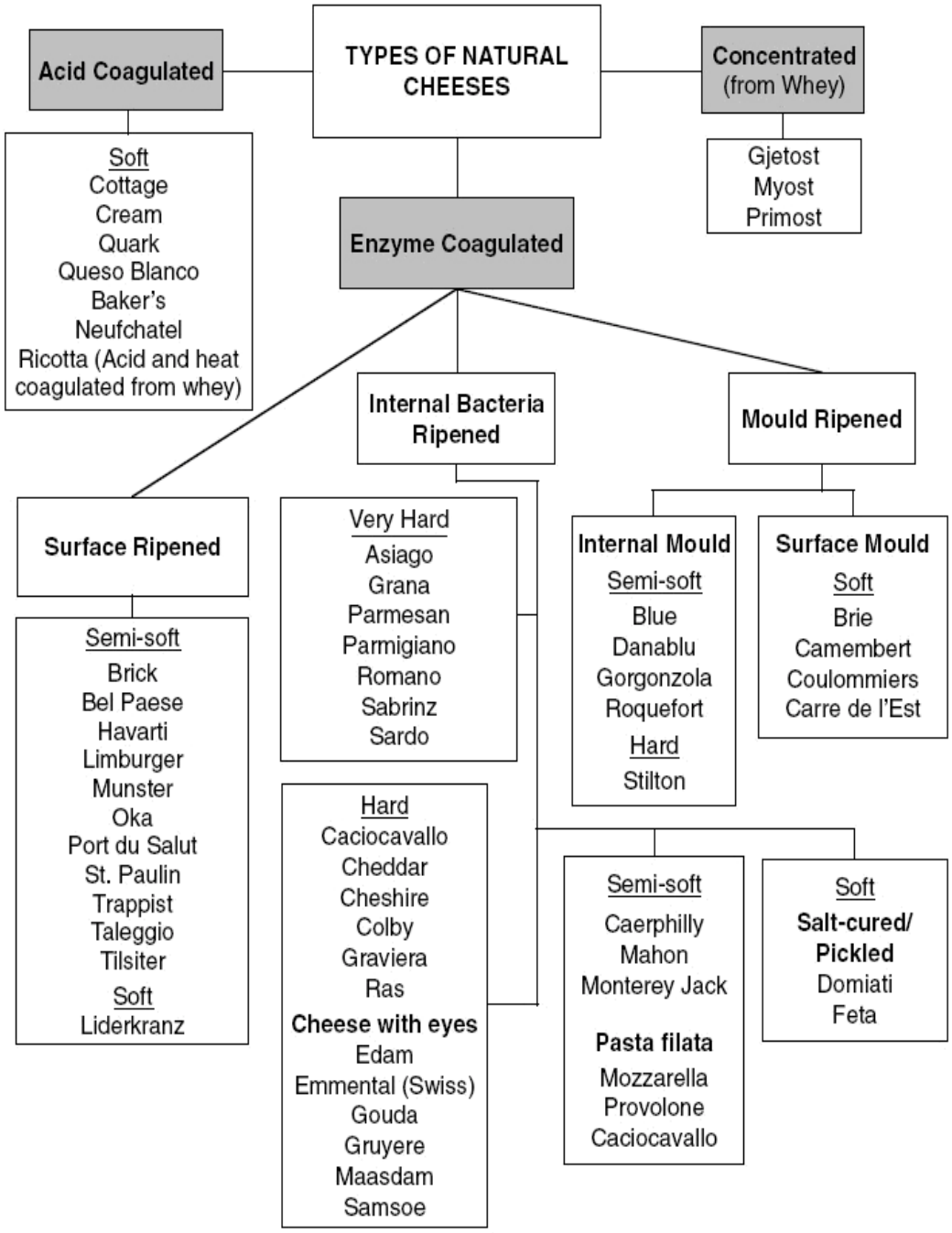
کلمه پنیر از کلمه انگلیسی Cese و کلمه لاتین Chiese مشتق شده که لغت معادل آن در آلمانی Kase و در زبان فرانسوی Fromage در اسپانیایی Queso و در ایتالیایی Fromaggio می باشد . به علل گوناگونی از جمله گستره وسیع و تنوع تولید انواع مختلف پنیر، یک تعریف ساده و جامع برای آن بسیار مشکل است .بنابر نظر فاکس پنیر یک نام عمومی برای گروهی از محصولات لبنی بر پایه شیر تخمیر شده است که در انواع مختلفی از نظر عطر و طعم، بافت و شکل تولید می‌شوند. طبق گزارشات مختلف در حدود ۱۰۰۰ نوع پنیر در جهان وجود دارد[۳۱].

۱-۲-طبقه بندی پنیر:

طبقه بندی پنیر برحسب معیارهای متنوعی از قبیل عامل انعقاد کازئین، درجه سفتی، میزان رطوبت پنیر واستفاده از قارچ های مختلف صورت می گیرد، که در این بین طبقه بندی پنیر بر اساس قوام و سفتی بافت و نوع آغازگر افزوده شده متداول تر می باشد (شکل ۱-۱) [۳۶].

۱-۳-تاریخچه پنیر فتا:

مدارکی از نوشته های قدیمی و منابع باستان شناسی مربوط به پنیر وجود دارد که احتمالاً می توان پنیر آب نمکی را جزء قدیمی ترین انواع پنیر دانست. بر مبنای نظر تامیم پنیر آب نمکی ابتدا در نواحی خاور میانه رواج یافته و سپس از طریق پیشه ور های شرقی به اروپا منتقل گردیده است. پنیر فتا بعنوان یک پنیر آب نمکی معروف به صورت سنتی در یونان از زمان هومری ها تولید می شده است. منشأ پنیر فتا تپه های خشک و پست آتن بوده است که چوپانان این نوع پنیر را از شیر گوسفند و گاهی مواقع از شیر بز تهیه می نمودند. گستره مصرف پنیر فتا تا مدتها به کشور های حوزه بالکان محدود می گشت. مهاجرت یونانیان به کشور های مختلف به ویژه استرالیا، امریکا، کانادا و آلمان موجب گردید که تجارت بین المللی پنیر فتا رواج یابد و چون میزان پنیر فتای سنتی جوابگوی میزان تقاضا نبود، تلاش برای تولید پنیر فتا از شیر گاو معطوف گردید [۲].



شکل۱-۱-طبقه بندی پنیر بر اساس عامل رسیدگی و سفتی پنیر [۳۶].

۱-۳-۱-خصوصیات پنیر فتا :

پنیر فتا در گروه پنیرهای نرم با رطوبت بالا طبقه بندی می گردد. این پنیر در اندازه های مختلف ولی اغلب به صورت قرص یا گرد ساخته می شود. واژه فتا معنای خاصی در زبان یونانی دارد و مترادف Slice در زبان انگلیسی و Tranche در زبان فرانسوی است. فتا در اصل یک نوع پنیر آب نمکی است که دارای مزه نسبتاً شور، کمی اسیدی و عطر خوشایند است که به شکل قاچ (فتا) درون آب نمک نگهداری می شود. این پنیر در ابتدا منحصرا از شیر گوسفند و بز تهیه می شده است. ولی با افزایش تقاضا، امروزه از شیر گاو نیز برای تولید آن استفاده می شود. متوسط بازده پنیر فتا از شیر گوسفند در حدود ۲۵ ٪ است که این مقدار در ماههای زمستان کمی بیشتر و در ماههای بهاری کمی کمتر است. طبق استاندارد یونان در سال ۱۹۸۷ مقدار رطوبت پنیر فتا نباید حداکثر از ۵۶ ٪ و مقدار ماده خشک (FDM) آن از حداقل ۴۳ ٪ تجاوز نماید[۲].

۱-۳-۲-تولید ومصرف پنیر فتا در جهان :

بزرگترین تولید کننده پنیر فتا از شیر گاو کشور دانمارک است و بعد از آن کشور های آلمان، مجارستان، ایرلند، هلند و انگلستان قرار دارند. در بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ میزان تولید پنیر فتا در دانمارک بین ۳۷ و ۱۱۸ هزار تن بوده است ارزش کل صادرات جهانی پنیر فتا در سال ۱۹۹۴ معادل ۸۵۸۵۰۹ هزار دلار بوده است که این رقم بطور متوسط تا سال ۱۹۹۸، ۵/۶ درصد رشد داشته است. ارزش واردات جهانی پنیر فتا در سال ۱۹۹۴، ۸۳۰۸۷۲ هزار دلار با رشد متوسط ۷/۱ درصد تا سال ۱۹۹۸ بوده است[۲].

۱-۳-۳-تولید پنیر فتا در ایران :

تولید پنیر فتا در ایران از شیر معمولی و تغلیظ شده به روش اولترافیلتراسیون صورت می گیرد. از مزایای تولید پنیر از شیر تغلیظ شده به روش اولترافیلتراسیون نسبت به شیر تغلیظ نشده می توان افزایش در میزان فرآورده، نگهداری راحت تر شیر تغلیظ شده، کاهش در میزان مصرف مایه پنیر، کاهش هزینه ها، کاهش در آلودگی محیط زیست، کاهش در شکستگی لخته ها و آسانی انتقال آنها و افزایش ظرفیت بافری شیر اشاره نمود در عین حال محدودیت در رسوب زدایی و تمیز کردن فیلتر ها از معایب این روش می باشد [۳].

۱-۳-٤-فرایند ساخت پنیر فتا به روش اولترافیلتراسیون :

دمای شیر یس از دریافت، بوسیله مبدل حرارتی (پلیت کولر) به ٦-٤ درجه سانتیگراد کاهش یافته و در مخازن استیل تا زمان فرآیند ذخیره می شود. در هنگام فرایند دمای شیر به ۵۰ درجه سانتیگراد رسانده شده

و به خامه گیر (سپراتور) فرستاده می شود و چربی شیر به میزان ۳/۵ درصد تنظیم می شود و پس از عبور از دو مرحله باکتوفوگاسیون برای کاهش بار میکروبی شیر تا پایین تر از ۹۶ درصد میزان اولیه، در دمای ۷۷-۷۶ به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه شده و بلافاصله تا دمای ٦-٤ درجه سانتیگراد سرد گردیده و در مخازن شیر پاستوریزه ذخیره می شود. در مرحله تغلیظ، دمای شیر پاستوریزه بوسیله تبادل حرارت با پرمیت به ۵۰ درجه سانتیگراد افزایش یافته و جهت تغلیظ وارد سیستم اولترافیلتراسیون می گردد. سیستم شامل : ۳ چرخه (لوپ) که چرخه های یک و دو دارای ٦ مودول و چرخه سه دارای پنج مودول می باشد. فشار۵ مگا پاسگال در سیستم برقرار می شود و ماده خشک شیر پس از عبور از مراحل متفاوت به حداقل ۳٤ درصد افزایش می یابد. سپس در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد هموژن شده و در دمای ۷۸ درجه سانتیگراد به مدت ۳-۲ دقیقه پاستوریزه می گردد. پس از انتقال به مخزن رتنتت، در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به میزان ۳ -۲/۵ درصد استاتر به آن افزوده شده (استارتر ترکیبی از باکتری های مزوفیل و ترموفیل می باشد) و به مدت ۳۰ دقیقه بهم زده می شود تا pH به حدود ٦/٤ برسد. در حین پر کردن رتنتت حاوی استارتر در ظروف ٤۵۰ گرمی، آنزیم رنت به میزان ۱۵ میلی لیتر بوسیله دوزینگ پمپ به آن افزوده می شود. پس از افزودن ضد کف (آنتی فوم) بر روی سطح، ظروف حاوی رتنتت دارای استارتر و آنزیم وارد تونل انعقاد به طول ۲۰ مترو دمای ۳۱-۳۰ درجه سانتیگراد می شوند. پس از طی طول تونل انعقاد در مدت زمان ۱۲-۱۱ دقیقه، pH پنیر به ٦/۲-۱-٦ کاهش یافته و لخته تشکیل شده است. در خروج از تونل بر روی سطح پنیر کاغذ پارچمنت [۱] گذاشته شده و به میزان ۱٤-۱۳ گرم نمک طعام زبر به روی آن ریخته می شود. سپس در حین دربندی به فضای خالی بالای ظروف گاز دی اکسید کربن تزریق شده و ظروف دربندی شده وارد گرمخانه دارای دمای ۲۷-۲۵ درجه سانتیگراد می شوند. پس از ۲٤-۱۸ ساعت گرمخانه گذاری، pH به زیر ٤/۸ کاهش یافته و پنیر ها به سردخانه ۵ درجه سانتیگراد منتقل می شوند [۲].

۱-٤-انتقال حرارت :

انتقال حرارت، پدیده ای است که تقریباً در اکثر فرایندها مانند گرم کردن، خشک کردن، استریلیزه کردن و منجمد کردن مواد غذایی با آن درگیر می باشیم. با توجه به اهمیت بالای این پدیده درک و شناخت انتقال حرارت در صنایع غذایی کاملاً ضروری می باشد.

میزان انتقال حرارت از یک ماده به ماده دیگر، به اختلاف دمای بین دو ماده بستگی دارد. با افزایش مقدار اختلاف دما، مقدار انتقال حرارت نیز افزایش می یابد. بنابراین اختلاف دما بین محیط گرم کننده و ماده گرم

---

[۱] Parchment

شونده، نیروی محرکه انتقال حرارت محسوب می گردد. حرارت در حین انتقال از یک ماده به مادهٔ دیگر در هر حال از مواد یا واسطه هایی در مسیر خود عبور می کنند که هر یک از آن ها به درجات مختلف مقاومتی در برابر این انتقال ایجاد می کنند. هر چه مقدار این مقاومت کمتر باشد، شدت انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. بنابراین مقدار انتقال حرارت با مقدار اختلاف دما نسبت مستقیم و با مقدار مقاومت موجود در جهت جریان نسبت عکس دارد.

انتقال حرارت به سه طریق صورت می گیرد : از طریق هدایت، جابجائی و تشعشع یا تابش.

در روش هدایت، ملکول های دارای انرژی بیشتر مقداری از این انرژی را به ملکول های مجاور خود که دارای انرژی کمتری هستند منتقل می کنند.

در جابجائی، انتقال حرارت بوسیله جابجائی و حرکت گروهی ملکول ها در سیال انجام می گیرد و در روش تشعشع، انتقال حرارت بوسیله امواج الکترومگنتیک صورت می گیرد [۴۲،۵ و۵۳].

۱-۵- خواص ترموفیزیکی :

در مطالعه انتقال حرارت در طی فرایندهای گوناگون، اطلاع دقیق از خصوصیات ترموفیزیکی مواد اهمیت فوق العاده ای دارد. این خواص به دو دسته متمایز تقسیم می شوند که عبارتند از خواص انتقالی و ترمودینامیکی. خواص انتقالی شامل ضریب های نرخ پخش مانند هدایت حرارتی (ضریب رسانائی گرما) ولزجت سینماتیکی می باشند در حالیکه خواص ترمو دینامیکی به حالت تعادل یک سیستم مربوط می باشد. چگالی و گرمای ویژه دو نمونه از این خواص هستند که به طور گسترده در تجزیه وتحلیل ترمودینامیکی به کار می روند و به حاصلضرب این دو ضریب (گرمای ویژه × دانسیته) ظرفیت گرمائی حجمی گفته می شود (معیار توانائی ذخیره انرژی توسط ماده).

نسبت ضریب رسانائی گرما به ظرفیت گرمائی که خاصیت مهمی در تجزیه وتحلیل انتقال گرما به شمار می آید، ضریب پخش گرما[۱] گفته می شود و بر حسب متر مربع بر ثانیه بیان می گردد. این کمیت معیاری است از توانائی یک ماده در رسانائی انرژی گرمائی در مقایسه با توانائی آن در ذخیره انرژی گرمائی. به نسبت هدایت حرارتی به مجذور ضریب پخش گرما اصطلاحاً افیوزیویته[۲] حرارتی گفته می شود. در زیر به بررسی برخی از خصوصیات حرارتی مهم پرداخته می شود [۴۲].

---

[۱] Thermal Diffusivity

[۲] Thermal Effusivity

۱-۵-۱-هدایت حرارتی :

ضریب هدایت حرارتی یک ماده، مقدار کمی حرارتی را نشان میدهد که در صورت وجود یک درجه اختلاف دمای در دو طرف ضخامت آن ماده، از واحد ضخامت آن منتقل می شود. واحد آن در سیستم SI وات بر متر درجه سانتیگراد می باشد. انتقال حرارت از طریق هدایت در موادی که ضریب هدایت حرارت آن ها بالا است با سهولت و سرعت انجام می شود. مقدار ضریب هدایت حرارتی مواد در صورتیکه دچار تغییر فاز نشوند با تغییر دما به صورت جزئی تغییر می کند و به این ترتیب به صورت یک ضریب ثابت در نظر گرفته می شود.

در مواد جامد هدایت حرارتی ناشی از دو اثر متفاوت جریان الکترون های آزاد و امواج ارتعاشی شبکه می باشد این اثر ها جمع پذیرند به نحوی که ضریب رسانائی گرما، حاصل جمع جزء الکترونی k_e و جزء شبکه ای k_l می باشد:

$$k=k_e+k_l \qquad [۱.۱]$$

k_e تقریباً با عکس مقاومت الکتریکی رابطه دارد. در جامدات غیر فلزی می توان از اثر جزء الکترونی در ضریب رسانائی گرما صرف نظر کرد.

در گازها هدایت حرارتی به عوامل متعددی از قبیل تعداد ذرات در واحد حجم ، سر عت متوسط ملکولی و طول مسیر آزاد میانگین یا مسافتی که ملکول ها قبل از برخورد با مانع طی می کنند وابسته می باشد.

چون مقدار سرعت متوسط ملکولی با افزایش دما و کاهش وزن ملکولی زیاد می شود، ضریب رسانائی گرمائی یک گاز با افزایش دما و کاهش وزن ملکولی، افزایش می یابد ولی چون تعداد ذرات در واحد حجم و طول مسیر آزاد میانگین به ترتیب نسبت مستقیم و معکوس با فشار دارند، ضریب هدایت حرارتی در گازها مستقل از فشار است [۴۲].

هدایت حرارتی در مواد غذایی :

یکی از عوامل موثر در میزان هدایت حرارتی محصولات کشاورزی، ترکیب شیمیائی آنها می باشد به طوریکه در محصولاتی که میزان رطوبت بیشتری دارند، هدایت حرارتی آنها به طور چشمگیری بالاتر از دیگر محصولات می باشد. زمانیکه آب موجود به یخ تبدیل می شود هدایت حرارتی در حدود ۴ برابر