دانشگاه فردوسی مشهد

پایان نامه دکتری

فرمولاسیون کره پسته کم کالری با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی ویژگیهای رئولوژیکی، حسی و شیمیایی آن

بهاره عمادزاده

استاد راهنما

دکتر سیدمحمدعلی رضوی

اساتید مشاور

دکتر رضا فرهوش

دکتر مهدی نصیری محلاتی

۱۳۸۹

چکیده

با توجه به رشد آگاهی مصرف کنندگان نسبت به ارتباط رژیم غذایی با سلامت آنها، تولید محصولات کم کالری از جمله اولویتهای صنعت مواد غذایی قرار گرفته است . در این راستا فرمولاسیون ۴۸ نوع کره پسته کم کالری براساس سطوح ارائه شده توسط طرح مرکب مرکزی صورت گرفت . متغیرهای مستقل عبارت بودند از جایگزینهای چربی (صمغ ریحان، بالنگو و گزانتان) و شیرین کننده ها (ساکارز و ایزومالت) هر یک در سه سطح. پایداری امولسیون در تمامی نمونه ها ارزیابی و تأیید شد. رفتار مستقل از زمان با برازش مدلهای قانون توان ، بینگهام و کاسون و رفتار وابسته به زمان از طریق برازش مدل قانون توان بر منحنی های پیشرو و پسرو و بررسی مقدار حلقه پسماند حاصله صورت گرفت. اثر متغیرهای مستقل بر پارامترهای رئولوژیکی این مدلها نیز ارزیابی گردید. فرمول بهینه با استفاده از روش سطح پاسخ و با توجه به ویژگیهای حسی مطلوب و ویسکوزیته ظاهری مناسب تعیین شد:برای فرمول حاوی صمغ ریحان شرایط بهینه برابر ۰/۰۲۳ درصد صمغ، نسبت ایزومالت به کنجاله ۰/۳۳۳ و ساکارز به کنجاله ۱؛ برای نمونه حاوی صمغ بالنگو عبارت از ۰/۰۳۴ درصد صمغ، نسبت ایزومالت به کنجاله ۱ و ساکارز به کنجاله ۰/۲۵ و برای نمونه حاوی گزانتان برابر ۰/۱ درصد صمغ، نسبت ایزومالت به کنجاله ۰/۸۱ و ساکارز به کنجاله ۰/۷۱ بود. فرمولهای بهینه تحت آزمونهای تکمیلی قرار گرفتند. آزمونهای رئولوژیکی دینامیک نشان داد فرمولهای بهینه دارای رفتار ویسکوالاستیک و شبه ژل بودند ($G'' < G'$). مقادیر ویسکوزیته برشی پایا و ویسکو زیته کمپلکس توسط قانون کوکس- مرز اصلاح شده قابل تطبیق بودند. آزمون دما متغیر نشان داد حرارت دهی فرمول محتوی صمغ گزانتان تا $70^{\circ}C$ و سرد کردن مجدد آن تا $25^{\circ}C$ موجب ایجاد ژل قویتر در محصول شد . آزمونهای اکستروژن برگشتی و آنالیز پروفیل بافت (TPA) نشان دادند نمونه دارای صمغ گزانتان دارای بالاترین مقدار سفتی است . پارامتر های رنگی a و b در نمونه حاوی صمغ دانه ریحان، کمتر و پارامتر L، بیشتر از دو نمونه بهینه دیگر بود.

کلمات واژه ها : ایزومالت، بافت، پایداری امولسیون، جایگزین چربی، رئولوژی، رنگ ، هیدروکلوئید

فهرست مطالب

فصل اول- مقدمه

۱-۱- پسته ۱
۱-۲- امولسیونها ۴
۱-۲-۱- ویژگیهای عمومی امولسیونهای غذایی ۴
۱-۳- لزوم تغییر در رژیم غذایی و تولید محصولات کم کالری ۷
۱-۴- چربیها و نقش آنها در ماده غذایی ۱۰
۱-۴-۱- نقش تغذیه ای ۱۰
۱-۴-۲- نقشهای فیزیکی و شیمیایی ۱۰
۱-۴-۳- نقش حسی ۱۱
۱-۵- جایگزینهای چربی ۱۲
۱-۵-۱- واژه شناسی ۱۲
۱-۵-۲- نکات مهم در تولید محصول کم چربی ۱۴
۱-۵-۲-۱- شبیه سازی ویژگیهای رئولوژیکی ۱۴
۱-۵-۲-۲- شبیه سازی قطرات چربی ۱۵
۱-۵-۲-۳- تأمین ویژگیهای حسی ۱۵
۱-۵-۲-۴- انتخاب جایگزین چربی با توجه به ترکیبات موجود در محصول ۱۵
۱-۵-۲-۵- تأمین پایداری میکروبی محصول ۱۶
۱-۵-۲-۶- تأمین پایداری فیزیکی سیستم ۱۶
۱-۵-۲-۷- تأمین ملاحظات قانونی ۱۶
۱-۵-۲-۸- توجه به هزینه ها و بازاریابی محصول ۱۷
۱-۵-۲-۹- بهینه سازی فرمولاسیون و هماهنگ نمودن تکنولوژی تولید ۱۷

۱-۵-۳- هایدروکلوئیدها به عنوان جایگزینهای چربی ۱۸
۱-۵-۳-۱- معرفی هایدروکلوئیدها ۱۸
۱-۵-۳-۲- نقشهای عملکردی هایدروکلوئیدها ۱۸
۱-۶- شیرین کننده های جایگزین ۲۱
۱-۶-۱- شیرین کننده ایده آل ۲۲
۱-۶-۲- شیرینی نسبی ۲۳
۱-۶-۳- رویکرد استفاده از شیرین کننده های جایگزین ۲۳

فصل دوم- بررسی منابع

۲-۱- گزانتان ۲۵
۲-۲- صمغ دانه بالنگو ۲۸
۲-۳- صمغ دانه ریحان ۳۰
۲-۴- ایزومالت ۳۳
۲-۴-۱- ویژگیهای حسی ۳۵
۲-۴-۲- ویژگیهای فیزیکی ۳۷
۲-۴-۳- ویژگیهای فیزیولوژیک ۳۹
۲-۵- شبه کره ها ۴۱
۲-۶- شبه کره های کم کالری ۴۷

فصل سوم- مواد و روشها

۳-۱- فرمولاسیون ۵۱
۳-۱-۱- تهیه ماده اولیه ۵۱
۳-۱-۲- آماده سازی فرمولها ۵۲
۳-۲- آزمایشات..... ۵۳
۳-۲-۱- آزمایشات فرمولهای پایه ۵۴
۳-۲-۱-۱- درصد چربی و پروتئین ۵۴
۳-۲-۱-۲- اسیدیته محصول ۵۴
۳-۲-۱-۳- عدد پراکسید..... ۵۵
۳-۲-۱-۴- پایداری امولسیون ۵۷
۳-۲-۱-۵- آزمونهای ویسکومتری ۵۷
۳-۲-۱-۶- آزمونهای حسی ۵۹
۳-۲-۲- آزمایشات نمونه های بهینه ۶۰
۳-۲-۲-۱- آزمونهای رئومتری ۶۰
۳-۲-۲-۲- آزمونهای بافت ۶۲
۳-۲-۲-۳- رنگ سنجی ۶۴
۳-۳- آنالیز آماری ۶۴

فصل چهارم- نتیجه و بحث

۴-۱- ترکیبات شیمیایی ۶۷
۴-۱-۱- درصد چربی و پروتئین کنجاله ۶۷
۴-۱-۲- اسیدیته و عدد پراکسید ۶۷
۴-۲- بررسی اثر سطح و نوع جایگزین چربی و شیرین کننده بر ویژگیهای حسی و ویسکوزیته ظاهری و بهینه یابی فرمولها ۶۸
۴-۲-۱- ارزیابی مدلهای برازش یافته بر داده های آزمون حسی و ویسکوزیته ظاهری در روش سطح پاسخ ۶۸
۴-۲-۲- آنالیز سطح پاسخ ۷۳
۴-۲-۲-۱- بررسی منحنی های سطح پاسخ در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۷۳
۴-۲-۲-۲- بررسی منحنی های سطح پاسخ در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۷۶
۴-۲-۲-۳- بررسی منحنی های سطح پاسخ در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۸۱
۴-۲-۲-۴- بهینه یابی ۸۲
۴-۳- بررسی رفتار رئولوژیکی نمونه ها تحت تأثیر نوع و سطح جایگزین چربی و شیرین کننده ۸۳
۴-۳-۱- رفتار مستقل از زمان ۸۳
۴-۳-۱-۱- ویژگیهای جریان ۸۳
۴-۳-۱-۲- ارزیابی مدلهای برازش یافته بر پارامترهای رئولوژیکی در روش سطح پاسخ ۸۷
۴-۳-۱-۳- آنالیز سطح پاسخ ۹۱
۴-۳-۲- رفتار وابسته به زمان ۱۰۱
۴-۳-۲-۱- ویژگیهای جریان ۱۰۲
۴-۳-۲-۲- ارزیابی مدلهای برازش یافته بر پارامترهای رئولوژیکی در روش سطح پاسخ ۱۰۶
۴-۳-۲-۳- آنالیز سطح پاسخ ۱۱۱
۴-۳-۲-۴- پایداری امولسیون ۱۱۸
۴-۴- آزمونهای نمونه های بهینه ۱۱۸

۴-۴-۱- رئولوژیکی دینامیک ۱۱۹
۴-۴-۱-۱- تنش متغیر ۱۱۹
۴-۴-۱-۲- فرکانس متغیر ۱۲۳
۴-۴-۱-۳- دما متغیر ۱۳۰
۴-۴-۱-۴- زمان متغیر ۱۳۲
۴-۴-۲- بررسی قانون کوکس- مرز ۱۳۶
۴-۴-۳- بافت ۱۴۰
۴-۴-۴- رنگ ۱۴۲
نتیجه گیری ۱۴۵
پیشنهادات ۱۴۷
فصل پنجم- فهرست منابع

فهرست اشکال

۱-۱- نحوه تشکیل امولسیون و پایدار سازی آن ۵

۲-۱- دانه های بالنگو ۳۰

۲-۲- دانه های بالنگوی خیس شده در آب ۳۰

۲-۳- دانه های ریحان ۳۱

۲-۴- دانه های ریحان خیس شده در آب ۳۱

۲-۵- فرایند تولید ایزومالت از ساکارز ۳۴

۲-۶- محلولهای آبی شیرین ایزومالت و ساکارز (تعیین شده بصورت حسی و تئوریک) ۳۶

۲-۷- گرمای انحلال منفی (kJ/kg) ساکارز و شیرین کننده های الکلی ۳۶

۲-۸- ایزوترم جذب رطوبت در ایزومالت ۳۷

۲-۹- هیدرولیز ساکارز و ایزومالت در برابر زمان در محلول ۱٪ HCl و دمای ۱۰۰ $^{\circ}$C ۳۸

۲-۱۰- انحلال ایزومالت در آب در مقایسه با ساکارز و فروکتوز به عنوان تابعی از زمان ۳۹

۳-۱- نحوه استریل نمودن ظروف زیر تابش UV ۵۳

۳-۲- تصویری از ویسکومتر بوهلین نوع Visco ۸۸ ..... ۵۸

۳-۳- تصویری از رئومتر بوهلین نوع CVO ۶۲

۳-۴- تصویری از بافت سنج نوع TA XT۲ ..... ۶۳

۳-۵- تصویری از رنگ سنج نوع DR LANGE- Micro color ۶۴

۴-۱- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و نسبت ساکارز به کنجاله پسته بر امتیاز پذیرش کلی در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۷۳

۴-۲- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و غلظت صمغ گزانتان بر امتیاز سفتی در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۷۵

۴-۳- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله پسته و غلظت صمغ گزانتان بر امتیاز پذیرش کلی در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۷۵

۴-۴- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله پسته و نسبت ایزومالت به کنجاله پسته بر امتیاز طعم در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۷۷

۴-۵- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله پسته و غلظت صمغ دانه بالنگو بر امتیاز چسبندگی در نمونه های محتوی صمغ دانه بالنگو ۷۸

۴-۶- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و غلظت صمغ دانه بالنگو بر احساس حالت روغنی در نمونه های دارای صمغ دانه بالنگو ۸۰

۴-۷- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و غلظت صمغ دانه بالنگو بر ویسکوزیته ظاهری در نمونه های دارای صمغ دانه بالنگو ۸۰

۴-۸- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و غلظت صمغ دانه بالنگو بر ظاهر روغنی در نمونه‌های حاوی صمغ دانه بالنگو..... ۸۱

۴-۹- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله پسته و غلظت صمغ دانه ریحان بر امتیاز پذیرش کلی در نمونه های محتوی صمغ دانه ریحان ۸۲

۴-۱۰- نمونه ای از رئوگرام مربوط به کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان (آزمون مستقل از زمان) ۸۵

۴-۱۱- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ بالنگو بر مقدار ضریب قوام در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۹۲

۴-۱۲- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ ریحان بر مقدار ضریب قوام در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۹۲

۴-۱۳- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و نسبت ساکارز به کنجاله بر اندیس رفتار جریان‌در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۹۴

۴-۱۴- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و غلظت صمغ دانه بالنگو بر اندیس رفتار جریان در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۹۵

۴-۱۵- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ دانه ریحان بر اندیس رفتار جریان در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۹۵

۴-۱۶- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و غلظت صمغ گزانتان بر تنش تسلیم کاسون در نمونه های حاوی صمغ

گزانتان ۹۷

۴-۱۷- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و اثر نسبت ایزومالت به کنجاله بر تنش تسلیم کاسون در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۹۷

۴-۱۸- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و اثر نسبت ایزومالت به کنجاله بر ویسکوزیته کاسون در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان ۹۸

۴-۱۹- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ گزانتان بر ویسکوزیته کاسون در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۹۹

۴-۲۰- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و نسبت ساکارز به کنجاله بر تنش تسلیم بینگهام در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۱۰۰

۴-۲۱- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و غلظت صمغ گزانتان بر ویسکوزیته بینگهام در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۱۰۱

۴-۲۲- نمونه ای از رئوگرام مربوط به کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان ۱۰۲

۴-۲۳- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و نسبت ایزومالت به کنجاله بر ضریب قوام منحنی پیشرو در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو ۱۱۱

۴-۲۴- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ گزانتان بر اندیس رفتار جریان منحنی پیشرو در نمونه های تهیه شده از صمغ گزانتان ۱۱۲

۴-۲۵- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ گزانتان بر اندیس رفتار جریان منحنی پیشرو در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۱۱۳

۴-۲۶- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ ریحان بر اندیس رفتار جریان منحنی پسرو در نمونه های حاوی صمغ ریحان ۱۱۵

۴-۲۷- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و غلظت صمغ ریحان بر ضریب قوام منحنی پسرو در نمونه های حاوی صمغ ریحان ۱۱۵

۴-۲۸- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ایزومالت به کنجاله و نسبت ساکارز به کنجاله بر اندیس رفتار جریان منحنی پسرو در نمونه های حاوی صمغ گزانتان ۱۱۶

۴-۲۹- منحنی سطح پاسخ برای اثر نسبت ساکارز به کنجاله و غلظت صمغ ریحان بر سطح لوپ هیسترسیس در نمونه های حاوی صمغ ریحان ۱۱۷

۴-۳۰- تغییرات مدول الاستیک به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی‌صمغ دانه بالنگو (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۰

۴-۳۱- تغییرات مدول ویسکوز به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو (◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۰

۴-۳۲- تغییرات مدول الاستیک به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۱

۴-۳۳- تغییرات مدول ویسکوز به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دله ریحان (◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۱

۴-۳۴- تغییرات مدول الاستیک به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ گزلتان (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۲

۴-۳۵- تغییرات مدول ویسکوز به عنوان تابعی از تنش برشی برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ گزانتان(◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در فرکانس ۱ Hz ۱۲۲

۴-۳۶- تغییرات مدول الاستیک در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۳

۴-۳۷- تغییرات مدول ویسکوز در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان(◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۳

۴-۳۸- تغییرات مدول الاستیک در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۴

۴-۳۹- تغییرات مدول ویسکوز در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو (◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۴

۴-۴۰- تغییرات مدول الاستیک در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ گزانتان (◇، ۵°C؛ △، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۵

۴-۴۱- تغییرات مدول ویسکوز در برابر فرکانس برای نمونه کره پسته کم کالری محتوی صمغ گزانتان (◆، ۵°C؛ ▲، ۲۵°C؛ ■، ۴۵°C و ●، ۶۵°C) در تنش برشی ۱۰ Pa ۱۲۵

۴-۴۲- تغییرات تانژانت اتلاف به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ دانه ریحان (△، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C)، فرکانس ۱Hz و تنش برشی ۱۰ Pa ۱۳۳

۴-۴۳- تغییرات تانژانت اتلاف به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ دانه بالنگو (△، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C)، فرکانس ۱Hz و تنش برشی ۱۰ Pa ۱۳۴

۴-۴۴- تغییرات تانژانت اتلاف به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ گزانتان (△، ۲۵°C؛ □، ۴۵°C و ○، ۶۵°C)، فرکانس ۱Hz و تنش برشی ۱۰ Pa ۱۳۴

۴-۴۵- تغییرات مدول کمپلکس به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ دانه بالنگو (○،۲۵°C؛ □، ۴۵°C و △، ۶۵°C)، تنش برشی ۱۰ Pa و فرکانس ۱ Hz ۱۳۵

۴-۴۶- تغییرات مدول کمپلکس به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ دانه ریحان (○،۲۵°C؛ □، ۴۵°C و △، ۶۵°C)، تنش برشی ۱۰ Pa و فرکانس ۱ Hz ۱۳۵

۴-۴۷- تغییرات مدول کمپلکس به عنوان تابعی از زمان در کره پسته کم کالری حاوی صمغ گزانتان (○،۲۵°C؛ □، ۴۵°C و △، ۶۵°C)، تنش برشی ۱۰ Pa و فرکانس ۱ Hz ۱۳۶

۴-۴۸- تغییرات ویسکوزیته برشی پایا به عنوان تابعی از درجه برش و ویسکوزیته کمپلکس به عنوان تابعی از فرکانس در نمونه های حاوی صمغ دانه ریحان در دماهای مختلف (□،۵°C؛ △،۲۵°C؛ ○، ۴۵°C و ◇، ۶۵°C)- علائم توخالی نشان دهنده ویسکوزیته برشی پایا و علائم توپر نشان دهنده ویسکوزیته کمپلکس ۱۳۸

۴-۴۹- تغییرات ویسکوزیته برشی پایا به عنوان تابعی از درجه برش و ویسکوزیته کمپلکس به عنوان تابعی از فرکانس در نمونه های حاوی صمغ دانه بالنگو در دماهای مختلف (□،۵°C؛ △،۲۵°C؛ ○، ۴۵°C و ◇، ۶۵°C)- علائم توخالی نشان دهنده ویسکوزیته برشی پایا و علائم توپر نشان دهنده ویسکوزیته کمپلکس ۱۳۸

فهرست جداول

۱-۱- ارزش تغذیه ای حاصل از صد گرم پسته ۲

۱-۲- معیارهای قانونی برای مقایسه تغذیه ای محصولات مختلف با کالری، چربی یا شیرینی کم یا کاهش یافته ۹

۱-۳- خلاصه ای از نقش چربیها در برخی مواد غذایی ۱۱

۱-۴-اسامی و منشأ برخی از هایدروکلوئیدهای مهم تجاری ۱۹

۱-۵- فهرستی از قوام دهنده های هایدروکلوئیدی در مواد غذایی ۲۱

۱-۶- شیرینی نسبی برخی از شیرین کننده ها ی جایگزین نسبت به ساکارز ۲۴

۳-۱- طرح مرکب مرکزی برای متغیرهای مستقل (اعداد حقیقی و کد شده) ۵۵

۴-۱- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر ویژگیهای حسی و ویسکوزیته ظاهری کره پسته کم کالری محتوی صمغ گز انتان ۷۰

۴-۲- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر ویژگیهای حسی و ویسکوزیته ظاهری کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو ۷۱

۴-۳- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر ویژگیهای حسی و ویسکوزیته ظاهری کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان ۷۲

۴-۴- سطوح پیش بینی شده از مواد برای دستیابی به امتیاز مناسب ویژگیهای حسی و ویسکوزیته ظاهری ۸۳

۴-۵- پارامترهای رئولوژیکی مربوط به مدلهای پاورلا، بینگهام و کاسون کره پسته کم کالری به همراه ضرایب تبیین و میانگین مجذورات خطا برای فرمولهای تهیه شده در نقطه مرکزی ۸۶

۴-۶- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدلهای رئولوژیک کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان ۸۹

۴-۷- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدلهای رئولوژیک کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو ۹۰

۴-۸- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدلهای رئولوژیک کره پسته کم کالری محتوی صمغ گزانتان ۹۱

۴-۹- پارامترهای مربوط به مدل پاورلا درمنحنی های پیشرو و پسرو به همراه ضرایب تبیین و میانگین مجذورات خطا برای فرمولهای تهیه شده در نقطه مرکزی ۱۰۴

۴-۱۰- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدل پاورلا لوپ هیسترسیس در کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه ریحان ۱۰۸

۴-۱۱- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدل پاورلا لوپ هیسترسیس در کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه بالنگو ۱۰۹

۴-۱۲- ضرایب پیش بینی شده و R^2 مربوط به مدلهای درجه دوم بر پارامترهای مدل پاورلا لوپ هیسترسیس در کره پسته کم کالری محتوی صمغ دانه گزانتان ۱۱۰

۴-۱۳- مدلهای توصیف کننده وابستگی مدولهای دینامیک به فرکانس در دماهای مختلف و ضرایب تبیین آنها..... ۱۲۷

۴-۱۴- مقادیر میانگین و انحراف معیار مربوط به مدول الاستیک (G')، مدول ویسکوز (G'')، تانژانت اتلاف ($\tan\delta$) و ویسکوزیته کمپلکس (G^*) در نمونه های کره پسته کم کالری در فرکانس Hz ۱ و تنش برشی Pa ۱۰ ..... ۱۲۹

۴-۱۵- مقادیر میانگین و انحراف معیار مربوط به مدول الاستیک (G')، مدول ویسکوز (G'')و تانژانت اتلاف ($\tan\delta$) در نمونه های کره پسته کم کالری در دماهای مختلف، فرکانس Hz ۱ و تنش برشی Pa ۱۰ ..... ۱۳۲

۴-۱۶- مقادیر فاکتور شیفت و ضرایب تبیین نمونه های کره پسته کم کالری در دماهای مختلف، برای تطبیق داده های ویسکوزیته برشی پایا بر ویسکوزیته کمپلکس ۱۴۰

۴-۱۷- ویژگیهای بافتی در فرمولهای کره پسته کم کالری ۱۴۲

۴-۱۸- میانگین پارامترهای رنگی و مقادیر انحراف معیار در فرمولهای کره پسته کم کالری ۱۴۴

فهرست علائم و اختصارات

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
مدول الاستیک (ذخیره)	Elastic modulus	G'
مدول ویسکوز (اتلاف)	Viscous modulus	G''
تانژانت اتلاف	Loss tan	$\tan \delta$
ویسکوزیته برشی پایا	Steady shear viscosity	η
ویسکوزیته کمپلکس	Complex viscosity	η^*
مدول کمپلکس	Complex modulus	G^*
فرکانس	Frequency	ω
درجه برش	Shear rate	$\dot{\gamma}$
تنش تسلیم بینگهام	Bingham yield stress	τ_0^B
ویسکوزیته بینگهام	Bingham viscosity	μ_B
تنش تسلیم کاسون	Casson yield stress	τ_0^C
ویسکوزیته کاسون	Casson viscosity	μ_C
میانگین مجذور خطا	Root Mean Square Error	RMSE
آنالیز پروفیل بافت	Texture Profile Analysis	TPA

فصل اول- مقدمه

۱-۱- پسته

پسته یکی از مهمترین محصولات صادراتی ایران است و شواهد نشان می دهند که موطن اصلی این گیاه نیز مناطقی از خاورمیانه به ویژه ایران، ترکمنستان و افغانستان بود ه است. در حال حاضر کشورهای دیگری از جمله آمریکا، ترکیه، یونان، سوریه و ایتالیا نیز به دلیل جنبه های اقتصادی موجود در تولید پسته به جرگه تولید کنندگان این محصول تجاری پیوسته اند . در زمینه تولید، کیفیت و صادرات ، همچنان پسته ی تولید شده در ایران در رتبه نخست جهانی قرار دارد (رضوی، ۲۰۰۶[۱]).

پسته منبع ارزشمندی از مواد غذایی مختلف از جمله پروتئین، فیبر، چربی، مواد معدنی و ویتامینها (مخصوصاً ویتامینهای A، E، B_1 وB_2) است. جدول ۱-۱ ارزش تغذیه ای حاصل از ۱۰۰ گرم پسته را نشان می دهد .

[۱] - Razavi, ۲۰۰۶

جدول ۱-۱- ارزش تغذیه ای حاصل از صد گرم پسته

اسیدهای چرب		مواد معدنی و ویتامینها		وعده غذایی			
اسید پالمیتیک	۶/۲۷۰	پتاسیم	۱/۰۲۰		گرم	KJ	Kcal
اسید مریستیک	۰/۱۰۰	فسفر	۵۰۰۰/۰۰۰	پروتئین	۲۰/۸	۳۸۷/۲۷	۹۲/۵۶
اسید لوریک	۰/۰۵۰	منیزیم	۱۵۸/۰۰۰	چربی	۵۱/۶	۲۰۰۷/۸۲	۴۷۹/۸۸
اسید اولئیک	۳۶/۰۰۰	کلسیم	۱۳۶/۰۰۰	کربوهیدرات	۱۶/۴	۲۳۱/۹۹	۵۰/۲۸
اسید لینولئیک	۹/۵۰۰	آهن	۷/۳۰۰	غیره	۱۱/۲	۵۶/۲	۱۸/۶
اسید استئاریک	۰/۷۱۰	سلنیوم	۰/۴۵۰				
اسید پالمیتولئیک	۰/۲۹۰	نیکل	۰/۰۸۰				
اسید لینولنیک	۰/۲۸۰	ویتامین C	۷/۰۰۰				
اسید آراشیدیک	۰/۲۸۰	ویتامین E	۵/۲۰۰				
استرول کل	۱۰۸/۰۰۰	نیکوتین آمید	۱/۴۵۰				
β-سیتوسترول	۹۰/۰۰۰	ویتامین B_1	۰/۶۹۰				
کمپسترول	۶/۰۰۰	ویتامین B_2	۰/۲۰۰				
استیگماسترول	۲/۰۰۰	کاروتن	۰/۱۵۰				
		اسید فولیک	۰/۰۵۸				
				کل	۱۰۰	۲۶۸۳/۲۸	۶۴۱/۳۲

معمولاً پسته به صورت خام یا بو داده و به عنوان یک محصول آجیلی استفاده می شود . بررسی های انجام شده نشان می دهد که رشد مصرف پسته در مقایسه با سایر انواع مغزها حدود دو برابر بوده است (رضوی، ۲۰۰۶). ارزش غذایی بالا، رنگ سبز ویژه و عطر مناسب پسته موجب شده است که از آن به عنوان بخشی از

سایر محصولات غذایی مانند سریالهای صبحانه، شکلاتها، ما فین ها[1] و غیره استفاده شود (اردکانی، ۲۰۰۶[2]). مصرف محدود پسته به صورت آجیلی و نیز افزایش مداوم سطح زیر کشت پسته موجب شده است که تولید محصولات صنایع تبدیلی پسته یک نیاز مبرم و اساسی به شمار رود . توجه به صنایع تبدیلی پسته و ارائه محصولاتی با کیفیت و ماندگاری مناسب علاوه بر آنکه ارزش افزوده بیشتری دارد، باعث می شود محصول تولیدی قابلیت مصرف توسط قشر وسیعتری از جامعه را پیدا کند (اردکانی، ۱۳۸۶).

کره پسته از جمله محصولات صنایع تبدیلی پسته است که بدلیل ویژگیهای تغذیه ای و طعم مناسب، گزینه مناسبی برای رونق بخشی به ا ین صنایع می باشد (تقی زاده، ۱۳۸۵). این محصول خمیری شکل از مخلوط نمودن خمیر پسته، شیرین کننده، امولسیفایر و ترکیبات طعم دهنده حاصل می شود . خواص تغذیه ای کره پسته کاملاً مشابه مغز پسته بو داده است و ویژگیهای حسی آن به فرمولاسیون و روش تولید بستگی دارد . دو فرایند مهم در تولید این محصول فرایندهای آسیاب کردن و برشته نمودن است . هدف از برشته نمودن بهبود خواص حسی، از بین بردن میکروارگانیسمها و کاهش فعالیت آب محصول می باشد (اردکانی، ۲۰۰۶).

آدرین (۱۹۸۲)[3] تولید ترکیبات شیمیایی معطر در بادام زمینی، قهوه و کاکائو طی برش ته نمودن را مورد بررسی قرار داده است. آسیاب کردن نیز برای افزایش تنوع محصول و بهبود ویژگیهای خوراکی آن بکار می رود (اردکانی، ۲۰۰۶). در برخی موارد برای تولید کره پسته از امولسیفایرها جهت ایجاد پایداری بیشتر در محصول و نیز ضد اکسنده ها برای به تأخیر انداختن فساد استفاده می شود (اردکانی، ۱۳۸۸).

از دیدگاه شیمیایی، کره پسته (و همچنین نوع کم چربی آن) ساختاری امولسیونی دارد که در آن قطرات روغن در فاز پیوسته آبی پراکنده است . بنابراین برای آشنایی بیشتر با نکات کلیدی در تهیه و فرآوری کره پسته کم کالری ابتدا مروری کوتاهبر ویژگیهای امولسیونها خواهیم داشت.

---

[1] - Muffins
[2] - Ardakani, ۲۰۰۶
[3] - adrin, ۱۹۸۲

۱-۲- امولسیونها

۱-۲-۱- ویژگی های عمومی امولسیون های غذایی

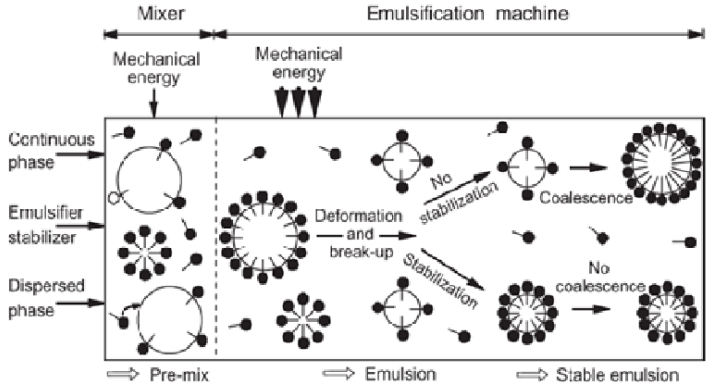
در تعریف کلی، هر امولسیون متشکل از دو مایع غیر قابل امتزاج (معمولاً روغن و آب) است که یکی از دو سیال به صورت قطرات کروی در سیال دیگر پخش می شود . در اغلب مواد غذایی معمولاً قطر قطرات بین ۰/۱ تا ۱۰۰ μm قرار دارد.

امولسیون ها می توانند به راحتی و بر اساس توزیع فازهای روغنی و آبی طبقه بندی شوند . سیستمی که شامل قطرات پراکنده روغن در یک فاز آبی است امولسیون روغن در آب ($^{o}/_{w}$) خوانده می شود (مثلاً مایونز، شیر، خامه و سس ها). یک سیستم که شامل قطرات پراکنده آب در یک فاز روغنی است، امولسیون آب در روغن ($^{w}/_{o}$) گفته می شود (مانند مارگارین، کره و مالش پذیرها). بخشی که قطرات داخل یک امولسیون را تشکیل می دهد ، فاز پراکنده یا داخلی و ترکیبی که مایع اطر اف را ایجاد می کند فاز پیوسته یا خارجی گفته می شود. البته امکان ایجاد امولسیون های چندگانه نیز وجود دارد.

از طریق هموژنیزاسیون روغن خالص و آب خالص در یکدیگر، امکان ایجاد امولسیون وجود دارد اما دو فاز موجود سریعاً به سیستمی متشکل از یک لایه روغن (با دانسیته کمتر) بر سطح و یک لایه آب (با دانسیته بیشتر) جدا می شوند. این امر به دلیل تمایل قطرات به یکی شدن با همسایگانشان در زمان برخورد با آنها روی می دهد و در نتیجه سبب جداشدن کامل فازها می گردد . عامل این فرایند به این حقیقت بر می گردد که برخورد میان ملکول های آب و روغن از نظر انرژی مطلوب نیست و بنابراین امولسیون ها ، سیستم های ترمودینامیکی ناپایداری هستند. برای ایجاد امولسیون هایی که از نظر سینتیکی ، برای مدت زمانی منطقی

(چند روز ، چند هفته و یا چند سال) پایدار هستند ، می توان از وارد نمودن امولسیفایرها و یا عوامل قوام دهنده[1] (افزایش دهنده ویسکوزیته)، پیش از هموژنیزاسیون استفاده کرد.

امولسیفایرها ملکولهای فعال سطحی هستند که به سطح قطرات تازه شکل گرفته طی هموژنیزاسیون جذب می شوند و غشایی محافظتی ایجاد می کنند که از نزدیک شدن قطرات تا حد تجمع جلوگیری می کند . اغلب امولسیفایرها ملکولهای آمفی فیلیک هستند (یعنی دارای مناطق قطبی و غیر قطبی بر روی ملکول خود می باشند). معمول ترین امولسیفایرهای مورد استفاده در صنعت مواد غذایی ، پروتئین های آمفی فیلیک ، سورفکتانت های با ملکول کوچک و فسفولیپید ها هستند. عوامل قوام دهنده ترکیباتی هستندکه برای افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته امولسیون ها به کار می روند و پایداری امولسیون را از طریق کند کردن حرکت براونی قطرات افزایش می دهند . این عوامل بر ویژگیهای بافتی محصول نیز مؤثر هستند . معمولترین عوامل قوام دهنده مورد استفاده در صنعت غذا پلی ساکاریدها هستند. پایدار کننده[2] ترکیبی است که می تواند به منظور بهبود پایداری یک امولسیون به کار رود و بنابراین ممکن است یک امولسیفایر یا یک عامل قوام دهنده باشد. شکل ۱-۱ مراحل تشکیل یک امولسیون و فرایندهای پایدارسازی آن را نشان می دهد (مک کلمنتس، ۱۹۹۹).



شکل ۱-۱- نحوه تشکیل امولسیون و پایدار سازی آن

[1] - Thickening agents
[2] - Stabilizer