نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص. ۳۹-۳۰

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 8, No. 1, 2012, p. 30-39

آنالیز پروفایل بافت پاستیل آلو به روش حسی و دستگاهی و بهینه‌سازی فرمولاسیون آن

رویا رضایی[1*]- فخری شهیدی[2] - محمد الهی[3]- محبت محبی[4]- مهدی نصیری محلاتی[5]

تاریخ دریافت: ۸۹/۷/۵
تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱

چکیده

در این پژوهش، تولید پاستیل میوه‌ای بر پایه آلو به عنوان فراورده‌ای نوین با استفاده از نسبت‌های مختلف نشاسته و ژلاتین مورد مطالعه قرار گرفت. ۱۳ فرمول از فراورده مورد نظر براساس طرح مرکب مرکزی (با ۵ تکرار در نقطه مرکزی) تولید گردید. روش سطح پاسخ به منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون با استفاده از متغیرهای مستقل، میزان ژلاتین در دامنه ۳/۸۵ تا ۶/۹۲ درصد و میزان نشاسته در دامنه صفر تا ۳/۸۵ درصد مورد استفاده قرارگرفت. متغیرهای وابسته شامل ارزیابی بافت به روش دستگاهی و پذیرش کلی حاصل از ارزیابی حسی نمونه ها بودند. ارزیابی حسی بر اساس سنجش ویژگی‌های اصلی فراورده (رنگ، بافت و طعم) ، و پروفایل بافت (سختی، پیوستگی و قابلیت جویدن) با استفاده از مقیاس‌های تعریف شده انجام شد. نتایج حاصل حاکی از این است که نوع هیدروکلوئید و میزان مصرف آن بر ویژگی‌های حسی محصول اثر معنی‌داری داشته‌اند. میزان سختی و آدامسی بودن بافت با درصد نشاسته مصرفی رابطه عکس و با درصد ژلاتین رابطه مستقیم داشت. ژلاتین بر پیوستگی بافت نیز تاثیر مثبت و معنی‌داری گذاشت. اثر نشاسته بر درک طعم مثبت و معنی‌دار بود. طعم تاثیر زیادی در پذیرش کلی نمونه ها نشان داد. نمونه‌های دارای بافت سخت با ویژگی آدامسی پذیرش پایینی کسب کردند. معادله چند جمله‌ای با R^2 =۰/۹۳۲۵ نشان داد که بالاترین پذیرش کلی مربوط به نمونه ای با ۳/۸۵ درصد نشاسته و۵/۳۸ درصد ژلاتین بود.

واژه‌های کلیدی: پاستیل آلو، ارزیابی حسی، سنجش بافت، روش سطح پاسخ

مقدمه

فراورده‌های بر پایه میوه مانند لواشک‌های میوه‌ای، بارهای میوه ای وتکه‌های میوه به عنوان تنقلات (اسنک) قرن‌هاست که در بسیاری از نقاط جهان طرفداران زیادی دارند. این فراورده‌ها به آسانی قابل خوردن هستند، زمان ماندگاری بالایی دارند، چشم نواز می‌باشند، احساس دهانی خوبی دارند و از نظر سلامتی نیز مفید هستند. معمولا در فرمولاسیون این فراورده‌ها از پوره میوه استفاده می‌شود (Gordon, 1990). پاستیل‌های میوه‌ای، از جمله فراورده‌های ژله‌ای قنادی محسوب می‌گردند. دراین فراورده‌ها عامل ژله کننده (مانند ژلاتین، پکتین، نشاسته و...) به یک شربت قندی اضافه می‌شود (Ergun, 2010). در ژل‌های قنادی ترکیبات ژل‌کننده با توجه به ویژگی‌های بافتی مورد نظر (بافت نرم یا سخت) انتخاب می‌گردند. این ترکیبات به فرم مواد ذوب شده در می‌آیند و می‌توانند به شکل های مختلفی قالب گذاری شوند (Burey et al, 2009). خشک کردن به منظور رسیدن به مواد جامد نهایی مورد نیاز است. بافت فراورده تحت تأثیر فرایند خشک کردن قرار می‌گیرد. فراورده‌های صمغ مانند بافتی الاستیک، فنری، غیر چسبنده، بادوام و بهم پیوسته دارند (Horang et al, 2001). مقدار هریک از عوامل ژل کننده مورد استفاده در فرمولاسیون مواد غذایی ممکن است از طریق استفاده از مخلوط آنها کاهش یابد و ارتباط بهتر بین ساختار، بافت و سایر ویژگی‌ها حاصل شود (Loh et al, 2003).

هیدروکلوئیدها معمولا با هدف بهبود خواص، ایجاد بافت و ویژگی‌های بافتی جدید در فراورده‌های غذایی و همچنین به منظورکاهش هزینه‌های تولید استفاده می‌شوند. انتخاب هیدرو کلوئیدها براساس ویژگی‌های عملکردی موردنظر در فراورده نهایی صورت می‌پذیرد (فرهناکی و همکاران، ۱۳۸۸). اگرچه طعم و بو از

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: royarezaee509@yahoo.com
۲، ۳ و ۴- به ترتیب استاد، استادیار و دانشیار گروه علوم صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مهمترین عوامل موثر بر کیفیت مواد غذایی محسوب می‌شوند، ولی اغلب مصرف‌کنندگان دلیل اصلی عدم رغبت به مصرف را مشکل بافتی فراورده ها عنوان می‌کنند (بورن، ۱۳۸۶).

آنالیز حسی توصیفی و اندازه‌گیری‌های دستگاهی هر دو روش های مفید جهت ارزیابی ویژگی‌های بافتی مواد غذایی هستند. تست های جایگزین (تقلیدی) و دستگاهی معمولا برای ارزیابی ویژگی‌های بافتی استفاده می‌شوند. درتست‌های تقلیدی نظیر آنالیز پروفایل بافت سعی بر این است تا حرکات مکانیکی گاز زدن یا جویدن شبیه سازی گردد. این روش به دلیل قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای بافتی متعدد که دارای همبستگی بالا با داده‌های حسی هستند، طرفداران زیادی دارد (Barrangou et al, 2006; Szczesniak , 2002; Lau et al, 2000).

مولینت و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از روش ارایه شده توسط اسزسنیاک[1]، به بررسی ویژگی‌های بافتی ۲۱ نمونه ماده غذایی پرداختند و نتایج خوبی در همبستگی روش‌های ارزیابی حسی و دستگاهی پیدا کردند.

الرواحی و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی ویژگی‌های بافتی یک نوع شیرینی خرمایی پرداختند. این محققان از مقیاس‌های شدتی در ارزیابی توصیفی-کمی استفاده کرده و ارتباط آن را با روش دستگاهیTPA مورد بررسی قرار دادند.

طرح مرکب مرکزی درجه دوم [2] یا روش سطح پاسخ [3] کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد و در اغلب زمینه ها به منظور بهینه سازی فرمولاسیون یا شرایط عمل از آن استفاده می‌شود (Martínez et al, 2004; Ozer et al, 2004; Thakur et al, 2000). این طرح نشان دهنده چگونگی تاثیرفاکتورها (در دامنه مورد مطالعه) بر نتایج آزمایش‌هاست. به علاوه اثر متقابل فاکتورهای مذکور را نیز در بر می‌گیرد.

جهت ارزیابی داده های حسی از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی[4] استفاده شد. این روش یک تکنیک مفید به منظور مقایسه میانگین داده‌های حسی است و ایراد موجود در روش‌های متداول مقایسه میانگین (تجزیه واریانس) را با کم کردن تعداد متغیرهای اصلی و ایجاد دو تا سه مولفه اصلی که بیشترین واریانس داده ها را در بردارند، برطرف می‌سازد. محققان زیادی از این روش در تحلیل نتایج ارزیابی حسی استفاده کرده‌اند (Sousa et al, 1997; Probola et al, 2007).

پاستیل آلو، فراورده‌ای است طبیعی بر پایه پوره آلو، که به آن هیدروکلوئیدهای غذایی و ترکیبات شیرین‌کننده اضافه می‌شود. در این مطالعه ضمن تولید پاستیل آلو به عنوان فراورده‌ای نوین، بهینه سازی فراورده بر اساس بالاترین امتیاز پذیرش کلی بر مبنای درک ویژگی‌های حسی و بافتی انجام گرفت. برای بهینه‌سازی فرمولاسیون از تاثیر میزان مصرف دو هیدروکلوئید ژلاتین و نشاسته بر ویژگی‌های کیفی فراورده استفاده شد و با کمک روش آنالیز حسی- توصیفی ویژگی‌های فراورده به طور کمی و کیفی توصیف گردید.

مواد و روش ها

پوره آلوی زرد از شرکت ایران چاشنی تهیه و در کیسه‌های پلاستیکی تمیز بسته بندی و پس از انتقال به محل تولید تا زمان مصرف در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پوره آلوی مورد استفاده دارای pH=3.19 و مواد جامد محلول در آب (g/100g)۳۸/۳ بود. هیدروکلوئیدهای مصرفی شامل ژلاتین حلال (درجه بلوم۲۶۰ و اندازه مش ۸)، پکتین با درجه متوکسیل بالا (درجه متوکسیل ۷۰٪ شرکت دانسکو- دانمارک) و نشاسته گندم (مرک K38304685) بودند. شکر مصرفی از سوپر مارکت محلی تهیه گردید. اسیدسیتریک مصرفی از نوع مرک (9634547) بود.

روش تولید

در ابتدا شربت با بریکس ۶۰ آماده گردید. در حین همزدن شربت، مخلوط پکتین و ساکارز(نسبت وزنی ۱ به۱۰) به تدریج به آن اضافه شد. به منظور تعدیل pH برای تشکیل ژل پکتین، مقدار لازم از محلول۴۰ درصد اسیدسیتریک مورد استفاده قرار گرفت (Lubbers et al, 2003). پوره با ژل پکتین مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. ژل نشاسته پس از انجام پخت کامل به مخلوط مذکور اضافه گردید و عملیات پخت تا رسیدن به بریکس ۴۰ در دمای ۱۰۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت . در مرحله بعد ژل ژلاتین (ژلاتین به مدت ۱ ساعت در حمام ۶۰ درجه هیدراته شده بود) به مخلوط اضافه شد. ژل نهایی پس از کنترل pH و بریکس، قالب‌گذاری و پس از بستن ژل به مدت ۳ ساعت در یخچال، به قطعات مکعبی شکل ۲×۲×۲ بریده شد. خشک شدن در دمای محیط با استفاده از خشک کن طراحی شده برای این منظور به مدت ۷۲ ساعت انجام پذیرفت. این خشک کن دارای ۴ فن می‌باشد که ۲ فن در بالا و دو فن نیز بصورت عمودی در سمت چپ دستگاه قرار گرفته‌اند. فن‌های تعبیه شده دارای دور۲۰۰۰ r.p.m و قابلیت انتقال هوا به حجم $۲۴۰ m^3/h$ بودند.

به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمام نمونه ها و کاهش خطای آزمایش طبقات خشک کن بلوک بندی شدند و در طی مدت خشک کردن فراورده تنها از فن‌های جانبی استفاده شد. دمای محفظه داخلی خشک کن ۳±۲۲ درجه سانتیگراد و میزان رطوبت ۴±۴۰

1- Szczesniak
2- Central Composite Design
3- Response Surface Methodology (RSM)
4- Principal Component Analysis

درصد (مربوط به ۲۴ ساعت اولیه فرایند خشک کردن) بود. پس از مرحله خشک شدن، نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی و تا زمان انجام آزمایش در دمای محیط نگهداری شدند.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل آماری

جهت بهینه سازی از روش پاسخ سطح استفاده شد. در این طرح نخست بر اساس آزمایش‌های مقدماتی، دامنه تغییرات فاکتورها برای ژلاتین و نشاسته انتخاب گردید. ۱۳ فرمول مختلف از فراورده براساس طرح مرکب مرکزی (با ۵ تکرار در نقطه مرکزی) تولید گردید. متغیرهای مستقل شامل میزان ژلاتین در دامنه ۳/۸۵ تا۶/۹۲ درصد و میزان نشاسته در دامنه صفر تا ۳/۸۵ درصد بودند .در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می شود که اثر اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می کند. مدل چند متغیره به صورت زیر می باشد:

$$Y=\beta_0+\sum\beta_iX_i+\sum\beta_{ii}X_iX_i+\sum\beta_{ij}X_iX_j \quad (۱)$$

در مدل مذکور β_0 عرض از مبدا، β_i ضریب رگرسیون خطی فاکتور iام، β_{ii} ضریب رگرسیون درجه دوم فاکتور iام، β_{ij} اثر متقابل فاکتور iام و فاکتور jام وYمتغیر وابسته می‌باشد RSM با استفاده از نرم افزارDesign-Expert نسخه ۶ ، روش PCA با نرم افزارMinitab نسخه ۱۴ و رسم نمودارهای همبستگی با نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

ارزیابی حسی: به منظور انتخاب اعضای گروه ارزیاب، ابتدا در چند مرحله با انجام یکسری پرسش های اولیه، ۱۳ نفر از دانشجویان رشته علوم و صنایع غذایی که علاقمند به همکاری در این گروه بودند انتخاب و سپس توسط روش غربال‌گری با استفاده از محلول های استاندارد قندی و اسیدی، ۹ نفر از آنها به عنوان افرادی که بالاترین دقت را در انجام تست حساسیت چشایی داشتند،گزینش گردیدند (پایان، ۱۳۸۷). ارزیابان منتخب شامل ۹ دانشجوی رشته علوم و صنایع غذایی(۴ مرد و ۵ زن) در محدوده سنی ۲۲تا ۲۳ سال بودند. ارزیابی نمونه‌ها در آزمایشگاه ارزیابی حسی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی انجام شد.

ویژگی‌های اصلی فراورده شامل ویژگی‌های ظاهری (رنگ و شکل)، بافتی (سختی، پیوستگی، چسبندگی ، آدامسی بودن) و طعم (ترشی، تعادل ترشی و شیرینی، پذیرش طعم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. از ارزیابان درخواست شد تا قبل از خوردن نمونه، ویژگی‌های ظاهری (شدت رنگ و شکل ظاهری) را بررسی کنند. گروه ارزیاب در تعیین ویژگی‌های بافتی به روشی که اسزسنیاک (۲۰۰۲) معرفی کرده است، آموزش دیدند. آموزش اعضای پنل شامل بحث بر روی اصطلاحات علمی مورد استفاده و تعاریف حسی آنها بود (جدول۱). براساس تحقیقات مشابهی که در گذشته انجام شده(Kealy, 2006) مقیاس‌ها تعریف و جداول مربوط به هر ویژگی طراحی گردید (جداول ۲ تا ۴) . در فواصل بین ارزیابی نمونه ها از داوران درخواست شد برای ازبین بردن اثر طعمی نمونه قبلی قطعه ای نان مصرف کنند (Boland et al, 2004; Demars et al, 2001).

جدول۱- تعاریف ویژگی های مکانیکی بافت

	ویژگی های فیزیکی	ویژگی های حسی
سختی	نیروی مورد نیاز برای رسیدن به تغییرشکل ایجاد شده	نیروی موردنیاز برای فشردن ماده بین دندانهای آسیاب(در مورد مواد جامد) یا بین زبان و کام(در مورد مواد نیمه جامد)
پیوستگی	میزانی که یک ماده می تواند تغییر شکل پیدا کند بدون اینکه بشکند.	درجه‌ای که یک ماده می تواند بین دندانها فشرده شود قبل از اینکه بشکند.
آدامسی بودن	انرژی مورد نیاز برای جویدن مواد جامد تا حدآماده جهت بلع: مجموعه‌ای از سختی، الاستیسیته و پیوستگی	مدت زمان مورد نیاز برای جویدن ماده تا زمانی‌که آماده بلع شود (در یک سرعت ثابت با نیروی بکارگرفته)

ماخذ: اقتباس از (Szczesniak , 2002)

جدول۲- مقیاس اصلی برای پیوستگی

مقیاس	فراورده	نوع یا نام تجاری	اندازه نمونه
۱	نان تست	طلایی سنان	۲ سانتیمتر
۲	بیسکویت	ساقه طلایی مینو	۲ سانتیمتر
۳	پنیر خامه ای	کاله	۲ سانتیمتر
۴	سوسیس نپخته	گلهار	۲ سانتیمتر
۵	کشمش	سبز قلمی	یک عدد

جدول۳- مقیاس اصلی برای سختی بافت

مقیاس	فراورده	مارک تجاری یا نوع	اندازه
۱	پنیر خامه ای	کاله	۲ سانتیمتر
۲	سفیده تخم مرغ(پخته شده به مدت ۲ دقیقه)	معمولی	۲ سانتیمتر
۳	سوسیس(نپخته، بدون پوست)	گلهار	۲ سانتیمتر
۴	پنیر پیتزا	کاله	۲ سانتیمتر
۵	زیتون شور	---	یک عدد
۶	بادام زمینی	مزمز	یک عدد
۷	هویج نپخته و تازه	هویج فرنگی	۲ سانتیمتر

ماخذ: اقتباس از (Szczesniak , 2002)

جدول٤- مقیاس اصلی برای آدامسی بودن بافت

مقیاس	میانگین تعداد جویدنها	فراورده	نوع یا مارک تجاری	اندازه نمونه
۱	۱۰	نان جو	طلایی سنان	۲ سانتیمتر
۲	۱۴	نان بربری	محلی	۲ سانتیمتر
۳	۱۷	سوسیس نپخته	گلهار	۲ سانتیمتر
۴	۲۰	آب نبات	تافی مینو	یک عدد
۵	۲۵	برگه زردآلو	---	یک عدد

ماخذ: اقتباس از (بورن، ۱۳۸۶).

ارزیابی بافت

در این پژوهش جهت آنالیز پروفایل بافت (TPA) و اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی نمونه‌های تولیدی، از دستگاه آنالیزکننده بافت مدل QTS25 CNS Farnell، ساخت کشور انگلستان استفاده شد. جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پاستیل، میزان بارگذاری دستگاه روی ۵ کیلوگرم (۵۰ نیوتن) تنظیم شد. سپس هر یک از نمونه‌ها در دو سیکل رفت و برگشتی (دو رفت و دو برگشت)، توسط پروب سیلندری به قطر۳۵ میلی‌متر و سرعت حرکت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه تا ۷۰ درصد ارتفاع اولیه فشرده شده، سپس فشارزدایی شدند (Takahashi et al, 2009). برای هر فرمول ۳ تکرار در نظر گرفته شد. ویژگی‌های بافتی مورد بررسی سختی، پیوستگی و قابلیت جویدن بودند.

جدول۵- طرح آزمایش مورد استفاده جهت تولید پاستیل میوه ای آلو و داده های پاسخ

فرمول	متغیر مستقل (درصد وزنی)		متغیر وابسته (دستگاهی)			متغیروابسته (حسی)
	ژلاتین	نشاسته	سختی(g)	پیوستگی	قابلیت جویدن(gmm)	پذیرش کلی
۱	۵/۳۸	۱/۹۲	۳۹۵۴^{bcd}±۶۱/۷	۰/۷۵^{bc}±۰/۰۱	۱۳۱۲۹/۵^{e}±۴۷۱	۵/۳۳±۰/۵
۲	۶/۴۷	۳/۲۸	۳۷۵۹^{cd}±۳۴۲	۰/۷۸^{b}±۰/۰۱	۱۶۳۴۹/۳^{b}±۶۳۷	۵/۳۹±۰/۴۹
۳	۵/۳۸	۱/۹۲	۳۹۱۴^{bcd}±۳۳۰	۰/۷۲^{c}±۰/۰۲	۱۴۰۵۵^{de}±۶۰۲	۵/۵۶±۰/۵۳
۴	۴/۳	۳/۲۸	۳۱۸۵^{e}±۶۳/۵	۰/۷۱^{cd}±۰/۰۱	۱۰۴۰۴/۲^{f}±۹۲	۶/۳۳±۰/۴۳
۵	۶/۹۲	۱/۹۲	۴۴۹۲^{a}±۱۷۵	۰/۸۳^{a}±۰/۰۱	۲۱۶۶۹/۹^{a}±۱۲۸۴	۴/۵۶±۰/۴۶
۶	۳/۸۵	۱/۹۲	۳۷۴۶^{d}±۲۵۰	۰/۶۳^{e}±۰/۰۸	۱۳۸۶۹/۷^{de}±۱۷۱۹	۵/۴۴±۰/۶۴
۷	۵/۳۸	۱/۹۲	۴۱۸۰^{abc}±۱۴۲/۶	۰/۷۵^{bc}±۰/۰۳	۱۶۱۳۵/۱^{bc}±۱۵۴	۵/۴۴±۰/۶۸
۸	۵/۳۸	۱/۹۲	۳۸۶۹^{bcd}±۱۴۳/۵	۰/۷۲^{c}±۰/۰۱	۱۳۳۳۰/۷^{de}±۵۵۶	۵/۵۶±۰/۴۶
۹	۴/۳	۰/۵۶	۴۲۷۴^{ab}±۲۷۵	۰/۶۷^{de}±۰/۰۱	۱۵۵۴۴/۲^{bc}±۸۱۹	۵/۶۱±۰/۲۲
۱۰	۶/۴۷	۰/۵۶	۴۴۷۵^{a}±۱۸۷	۰/۷۸^{b}±۰/۰۱	۲۰۳۳۷/۱^{a}±۱۱۲۷	۴/۶۱±۰/۴۹
۱۱	۵/۳۸	۳/۸۵	۳۰۲۶^{e}±۵۸/۳	۰/۷۴^{bc}±۰/۰۲	۹۱۱۰/۳^{f}±۲۲۳	۶/۳۹±۰/۳۹
۱۲	۵/۳۸	۱/۹۲	۴۱۹۸^{ab}±۳۵۲	۰/۷۳^{c}±۰/۰۲	۱۴۷۴۶/۴^{cd}±۵۶۷	۵/۵۶±۰/۳۹
۱۳	۵/۳۸	۰	۳۶۶۲^{d}±۲۷۰	۰/۶۷^{de}±۰/۰۲	۱۳۹۰۱/۵^{de}±۲۰۲	۶/۱۱±۰/۴۹

در هر ستون، درج حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌هاست.

جدول٦- آنالیز مدل‌های مورد استفاده جهت یافتن بهترین مدل برای پاسخ های مورد بررسی

منبع	DF	سختی		پیوستگی		قابلیت جویدن		پذیرش کلی	
		مجموع مربعات	Pr>F	مجموع مربعات	Pr>F	مجموع مربعات	Pr>F	مجموع مربعات	Pr>F
میانگین	۱	۱/۹۴۹E+۰۰۸		۶/۹۱		۲/۸۵۳E+۰۰۹		۳۹۹/۳۹	
خطی	۲	۱/۷۵۵E+۰۰۶	۰/۰۱۹۳	۰/۰۲۹	<۰/۰۰۰۱	۹/۰۸۵E+۰۰۷	۰/۰۰۵۹	۱/۸۵	۰/۰۴۰۸
2FI	۱	۳۴۷۸۲/۲۵	۰/۶۵۰۶	۴/۰۰E-۰۰۴	۰/۳۷۳۲	۳/۳۱۹E+۰۰۵	۰/۸۱۲۹	۷/۸۴۰E-۰۰۴	۰/۹۵۴۶
درجه ۲	۲	۱/۱۳۶E+۰۰۶	۰/۰۰۳۸	۸/۰۹۸E-۰۰۳	۰/۴۶۲۹	۴/۱۵۶E+۰۰۷	۰/۰۰۲۲	۱/۸۰	۰/۰۰۰۷
درجه ۳	۲	۲۴۲۳۹/۵۹	۰/۸۰۴۰	۱/۷۵۷E-۰۰۳	۰/۱۴۸۱	۷/۰۲۲E+۰۰۵	۰/۸۱۰۷	۰/۱۵	۰/۱۰۴۹
باقیمانده	۵	۲/۶۵۹E+۰۰۵		۱/۵۳۳E-۰۰۳		۸/۰۱۹E+۰۰۶		۰/۱۱	
کل	۱۳	۱/۹۸۱E+۰۰۸		۶/۹۵		۲/۹۹۴E+۰۰۹		۴۰۳/۳	

نتایج و بحث

جدول ۵ فرمول‌های حاصل از ترکیب متغیرهای مستقل و نتایج حاصل از ارزیابی بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها را نشان می‌دهدکه از بین۱۳ فرمول تولیدی، ۵ فرمول حاصل تکرار در نقطه مرکزی است.

همانطور که عنوان شد، در روش RSM برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود . مدل درجه دوم برای پیشگویی رفتار پاسخ‌ها مدلی مناسب تشخیص داده شد، ولی در مورد صفت پیوستگی بافت، مدل خطی بهتر توانست رفتار بافت را توصیف نماید (جدول ۶). در مدل‌های گزینش شده، آزمون عدم برازش برای تمام صفات اندازه گیری شده معنی‌دار نبود ($p<0.05$). این مسئله بیانگر این است که مدل‌های انتخابی به خوبی روند داده‌ها را نشان می‌دهند. مقادیرضریب تبیین (R^2) نیز نشانگر این است که مدل به دست آمده برای هر پاسخ می‌تواند چند درصد از تغییرات را تشریح کند (جدول۷).

سختی بافت

میزان سختی به درصد نشاسته و ژلاتین مصرفی بستگی داشت که نشاسته دارای اثر منفی و ژلاتین دارای تاثیر مثبت بود و هیچگونه اثر متقابل بین آنها مشاهده نشد(جدول۷). اثر درجه دو نشاسته بر سختی بافت معنی‌دار بود ($p<0.05$). اثر درصد هیدروکلوئیدهای مصرفی بر سختی بافت در شکل۱-(الف) مشاهده می‌شود. میزان سختی بافت با افزایش درصد نشاسته مصرفی کاهش و با افزایش مقدار ژلاتین افزایش نشان داد. سختی، مقاومت ماده غذایی نسبت به اعمال نیروی فشاری به کارگرفته شده است (Szczesniak , 2002). در سیستم‌های مخلوط ژلاتین- نشاسته استحکام ژل نهایی کمتر است، چراکه ژلاتین به زمان طولانی برای بستن نیاز دارد. بنابراین ترکیبات نشاسته ابتدا تشکیل شبکه می‌دهند و ممکن است فرایند برگشت نشاسته نیز رخ دهد که ویژگی‌های رئولوژیکی مخلوط را تغییر خواهد داد. محققان معتقدندکه ضعیف‌تر بودن مخلوط ژل‌های نشاسته- ژلاتین دلیل جدا شدن فازها از یکدیگر است (Appelqvist, 1997). به نظر می‌رسد جدا بودن فاز در این تحقیق هم وجود دارد اما چون سطح ژلاتین نسبت به نشاسته خیلی بالاست احتمالا ژلاتین اثر اصلی را در تشکیل ژل و ساختار و سفتی آن دارد. بطوری‌که فرمول ۵ و ۱۰ بالاترین میزان سختی را نشان دادند. این نمونه‌ها به ترتیب حاوی بالاترین سطوح ژلاتین، یعنی ۶/۹۲ درصد و ۶/۴۷ درصد بودند.

پیوستگی بافت

همانطورکه جدول ۶ نشان می‌دهد درمورد پیوستگی بافت مدل خطی بهتر می‌تواند تاثیر فاکتورها را بر این ویژگی بافتی نشان دهد($p<0/05$). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، ژلاتین تأثیرمعنی‌دار مثبتی بر پیوستگی بافت دارد، درحالی‌که تاثیر نشاسته هر چند مثبت اما کمتر است (جدول۷).

پیوستگی مقاومت درونی ساختار ماده غذایی است و میزان آن به برهم کنش‌های درون مولکولی اجزا فرمول بستگی دارد. از نتایج افزایش غلظت ژلاتین، انسجام بافتی فراورده است. هرناندس و همکاران (۱۹۹۹) به این مطلب اشاره کردند که تغییر در پیوستگی بافت در ژل های حاصل از پالپ توت فرنگی و ژلاتین، بستگی به غلظت هیدروکلوئید مصرفی و پالپ میوه دارد. درتحقیق این محققان افزایش پالپ میوه یا کاهش غلظت هیدروکلوئید بر پیوستگی بافت نهایی ژل اثر منفی داشت. در این پژوهش نیز بالاترین پیوستگی بافت زمانی حاصل شدکه میزان ژلاتین دربالاترین حد، ۶/۹۲ درصد و نشاسته ۱/۹۲ درصد بود [شکل ۱-(ب)].

در ژله‌های قنادی برهم کنش بین ژلاتین و سایر ترکیبات رخ می دهد و ساکاروز به پایداری این ساختار کمک می‌کند (فرهناکی و همکاران، ۱۳۸۸). بنظر می‌رسد اتصال ژلاتین - قند و جذب آب توسط ژلاتین باعث گردیده که بافت نهایی پاستیل پیوستگی مناسبی داشته باشد.

جدول۷- آنالیز واریانس جملات خطی، درجه دوم و بر همکنش برای ویژگی‌های بافتی سنجش شده با دستگاه و ضرایب ارائه شده برای هر مدل

منبع	سختی			پیوستگی			قابلیت جویدن		
	ضریب	S.S	p	ضریب	S.S	p	ضریب	S.S	p
مدل		۲/۷۹۰E+۰۰۶	۰/۰۰۰۳		۰/۰۲۹	<۰/۰۰۰۱		۱/۳۲۴E+۰۰۸	<۰/۰۰۰۱
β_0	۴۱۰۷/۱۳			۰/۷۳			۱۴۲۷۹/۳۴		
خطی β_1	−۴۰۸/۷۷	۱/۳۷۳E+۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱۷	۲/۴۱۵E-۰۰۳	۰/۰۴۳	−۱۹۸۷/۹۵	۳/۱۶۲E+۰۰۷	۰/۰۰۰۷
β_2	۲۲۸/۷۵	۴/۱۸۶E+۰۰۵	۰/۰۱۵۷	۰/۰۵۸	۰/۰۲۷	<۰/۰۰۰۱	۲۷۲۱/۱۴	۵/۹۲۴E+۰۰۷	<۰/۰۰۰۱
درجه دو $\beta_1\beta_1$	−۳۸۲/۳۴	۱/۰۳۵E+۰۰۶	۰/۰۰۱۲	-----	-------		−۱۱۳۱/۵۱	۸/۹۰۶E+۰۰۶	۰/۰۲۳
$\beta_2\beta_2$	----	--------	-----	-----	------	------	۲۰۰۰/۴۴	۲/۷۸۴E+۰۰۷	۰/۰۰۱۱
متقابل $\beta_1\beta_2$	-----	--------	-----	-----	------		-----	----	----
باقیمانده		۴/۲۶۶E+ ۰۰۵			۴/۴۹۹E-۰۰۳			۹/۰۵۳E+۰۰۶	
عدم برازش		۳/۳۱۰E+۰۰۵	۰/۱۷۲۷		۳/۵۷۹E-۰۰۳	۰/۱۸۷۷		۳/۱۱۸E+۰۰۶	۰/۷۲۵۸
خطا		۹۵۶۳۲			۲/۹E-۰۰۴			۱/۴۱۵E+۰۰۸	
کل		۳/۲۱۶E+۰۰۶			۰/۰۳۴				
R^2	۰/۸۶۷۴			۰/۸۶۶۵			۰/۹۳۶		
Adj-R^2	۰/۸۲۳۱			۰/۸۳۹۷			۰/۹۰۴		
Pr-R^2	۰/۶۲۷۲			۰/۷۳۹۱			۰/۸۳۳۲		
CV	۵/۶۲			۲/۹۱			۷/۱۸		

آدامسی بودن بافت

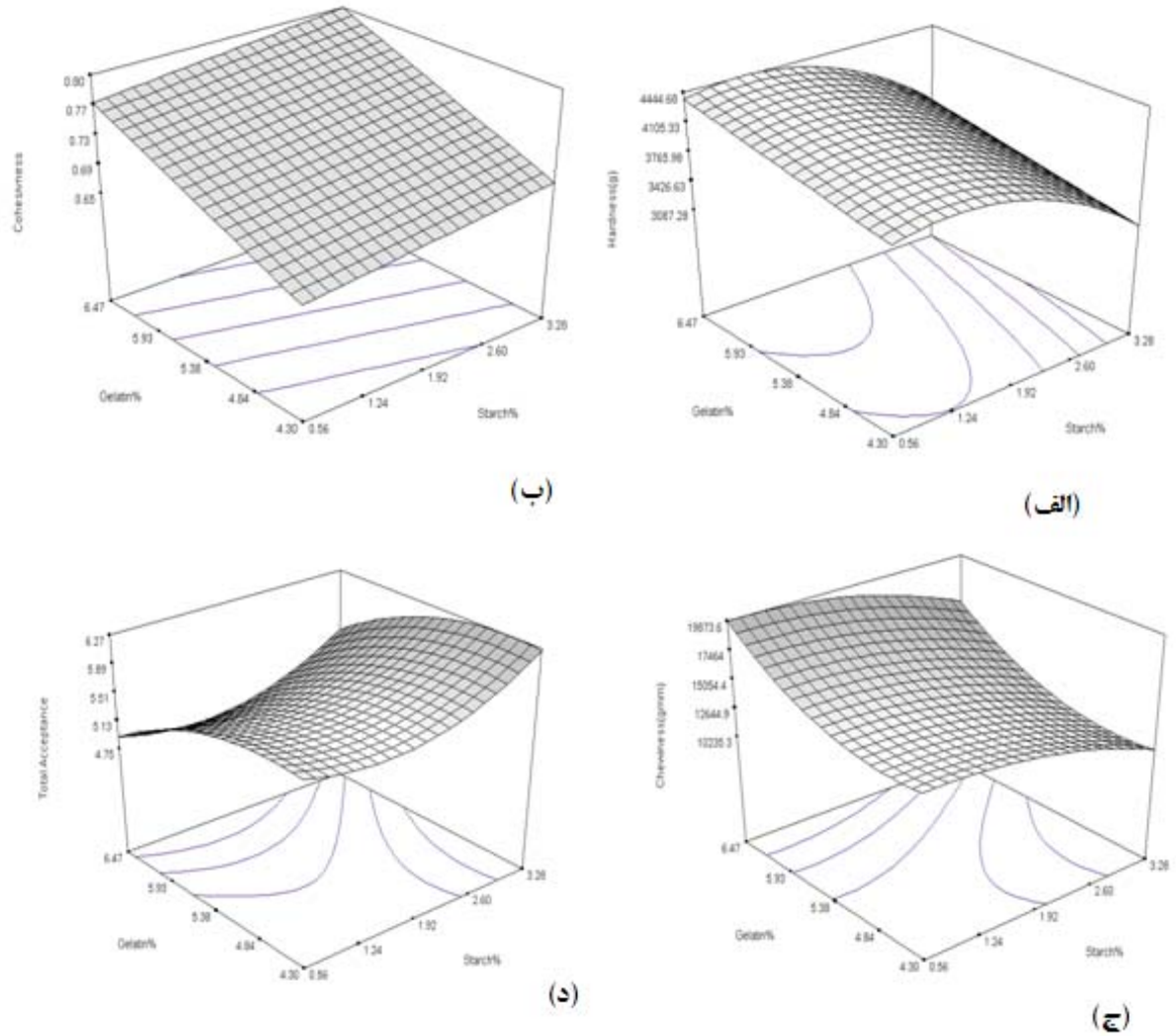
همانطور که نتایج آنالیز واریانس در جدول ۷ نشان می‌دهد، افزایش نشاسته کاهش آدامسی بودن را به دنبال داشت ($p<0/05$). در مورد تاثیر ژلاتین نیز نتایج گویای این مطلب است که ژلاتین تاثیر مثبت بر قابلیت جویدن (آدامسی بودن) بافت داشته است [شکل۱- (ج)]. همانطورکه در بحث سختی بافت عنوان شد، به نظر می‌رسد ژلاتین نقش اصلی را در سفتی بافت دارد. با توجه به رابطه سفتی بافت و قابلیت جویدن که بولاند و همکاران (۲۰۰۶) به آن اشاره نموده‌اند، می توان تاثیر ژلاتین را بر آدامسی شدن بافت توضیح داد. آنها اظهار داشتند که زمان لازم برای جویدن ژل قبل از فرو بردن آن بطور معنی‌داری با سفتی ژل افزایش می‌یابد و ژل‌های سخت تر به مدت طولانی‌تری جویده می‌شوند. بنابراین همانطور که در قبل اشاره شد در نمونه‌های تولیدی افزایش ژلاتین منجر به سختی بافت شده و در نتیجه با افزایش سختی، خصلت آدامسی بودن افزایش یافته است. در این پژوهش ضریب همبستگی بین سختی بافت و قابلیت جویدن۰/۹۰ بدست آمد(جدول۸). بنابراین به نظر می‌رسد ژلاتین در آدامسی شدن بافت تاثیر زیادی دارد. هرناندس و همکاران (۱۹۹۹) نیز به همین مطلب اشاره کرده و تاثیر میزان ژلاتین را بر آدامسی بودن بافت، مستقیم و معنی‌دار ارزیابی کردند.

بررسی اثر متغیرها بر پذیرش کلی نمونه های تولیدی

همانطور که درجدول ۶ مشاهده می‌شود مدل درجه دوم به طور معنی‌داری توانست تاثیر متغیرها را درپذیرش کلی نمونه ها نشان دهد($p<0/05$). بر اساس نتایج آنالیز واریانس اثر نشاسته بر پذیرش کلی مثبت و تاثیر ژلاتین منفی است. با بررسی نتایج ارزیابی بافت و طعم می‌توان به این نتیجه رسید که طعم تاثیر زیادی در پذیرش کلی نمونه های تولیدی دارد. از طرفی نمونه هایی که امتیاز بالایی در ویژگی‌های سختی و آدامسی بودن بافت کسب کردند، چندان مورد پذیرش قرار نگرفتند.

فرمول‌های۴ (۳/۲۸ درصد نشاسته و۴/۳ درصد ژلاتین) و ۱۱ (۳/۸۵ درصد نشاسته و ۵/۳۸ درصد ژلاتین) بیشترین پذیرش را داشتند [شکل۲- (د)]. به نظر می‌رسد که نشاسته بر درک طعم تاثیر مناسبی داشته که این رخداد توسط محققان مختلف نیز گزارش شده است.

فری و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند محلول‌های تغلیظ شده نشاسته حاوی گرانول‌های متورم، در غلظت‌های بالا نسبت به سایر پلی ساکاریدها تأثیر کمتری در جلوگیری از بروز طعم داشتند وعلت این مسئله را چنین بیان کردند که چنین نشاسته‌هایی به خوبی با بزاق مخلوط شده و در نتیجه رهاسازی سریعی در عوامل مزه به وقوع می پیوندد. حضور آنزیم آلفا-آمیلاز در بزاق منجر به تجزیه نشاسته و کاهش ویسکوزیته آن شده و درک طعم بهتر صورت می‌گیرد. شکل ۲- د تاثیر متغیرها را بر پذیرش طعم نمونه های تولیدی نشان می دهد.



شکل۱- اثر میزان متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های بافتی و حسی نمونه‌ها (الف) اثر میزان ژلاتین و نشاسته بر سختی بافت (ب) اثر میزان ژلاتین و نشاسته بر پیوستگی بافت (ج) اثر میزان ژلاتین و نشاسته بر قابلیت جویدن بافت (د) اثر میزان ژلاتین و نشاسته بر پذیرش کلی نمونه‌ها

بولانـد و همکـاران (۲۰۰۴)، طـی پژوهشـی بـر روی ژل‌هـای ژلاتین، پکتین و نشاسته اظهار داشتند کـه رهاسـازی طعـم بـه طـور معنی‌داری با بافت ژل در ارتباط است. ژل ژلاتین بدلیل ایجـاد بافـت سخت تر باعث رهایش کمتر مواد طعمی مـی‌شـود. در مجمـوع ایـن وقایع باعث کاهش امتیاز پذیرش کلی در نمونه هـای حـاوی مقـادیر بالای ژلاتین گردید.

ارزیابی داده‌های حسی که با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی انجام گرفت، امکان بررسـی ارتبـاط بـین ویژگـی‌هـای حسـی تعریف شده را فراهم می‌کند، بطوریکه در فضای PCA صفاتی که در کنار هم قرار می‌گیرند بیانگر همبسـتگی نزدیـک آنهـا بهـم اسـت و صفاتی کـه در ایـن فضـا در دو جهـت عکـس هـم قـرار مـی‌گیرنـد همبستگی منفی با هم دارند(شکل۲). همانطور کـه محـل قرارگیـری صفات حسی انـدازه‌گیـری شـده در فضـای نمـودار نشـان مـی‌دهـد همبستگی بالایی بین ویژگی‌های طعمـی و پـذیرش کلـی نمونـه‌هـا مشـاهده شـد. ضـریب همبسـتگی پـذیرش طعـم و پـذیرش کلـی، R=0.94 که از ماتریس ضرایب بدست آمد نیز موید این مطلب اسـت (جدول۸). از طرفی همانطور کـه در شـکل ۲ مشـخص اسـت بـین ویژگی‌های پیوستگی، آدامسی بودن و سختی بافت همبستگی مثبـت وجود داشت ، درحالیکه بین این صـفات بـافتی انـدازه‌گیـری شـده و پذیرش طعم رابطه عکس برقرار بود، بطوریکه هرچه بافت پیوسته‌تـر، سخت‌تروآدامسی‌تر بود، پذیرش طعـم نمونـه کـاهش پیـدا مـی‌کـرد. ضرایب همبستگی جدول ۸ نیز این نتایج را نشان می‌دهد. در حقیقـت همانطور که اشاره شد درک طعم در سیستم‌های ژلی به سختی بافـت و نوع عامل ژل کننده وابسته است. زمانی‌کـه بافـت نمونـه سـخت و

آدامسی است، زمان بیشتری لازم است تا نمونه جویده شده و بنظر می‌رسد به این دلیل درک مواد طعم زا کاهش می‌یابد و چون درک طعم و پذیرش نمونه رابطه مستقیمی دارد آدامسی بودن بافت منجر به کاهش درک طعم و درنتیجه کاهش پذیرش نمونه می‌شود.

جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون نیاز به برآورد حدمطلوب پارامترهای بافتی بود. حد مطلوب پارامترهای بافتی دستگاهی با توجه به امتیاز ویژگی‌های حسی تعیین گردید. برای حصول بهترین فرمولاسیون نیاز به ۴/۴۱ درصد ژلاتین و ۳/۲۸ درصد نشاسته است که در این شرایط پاستیل حاصل دارای سختی برابر با ۳۲۴۲/۰۹ g ، پیوستگی برابر با ۰/۶۹ و قابلیت جویدن معادل ۱۰۳۲۹ /۸۶ gmm خواهد بود.

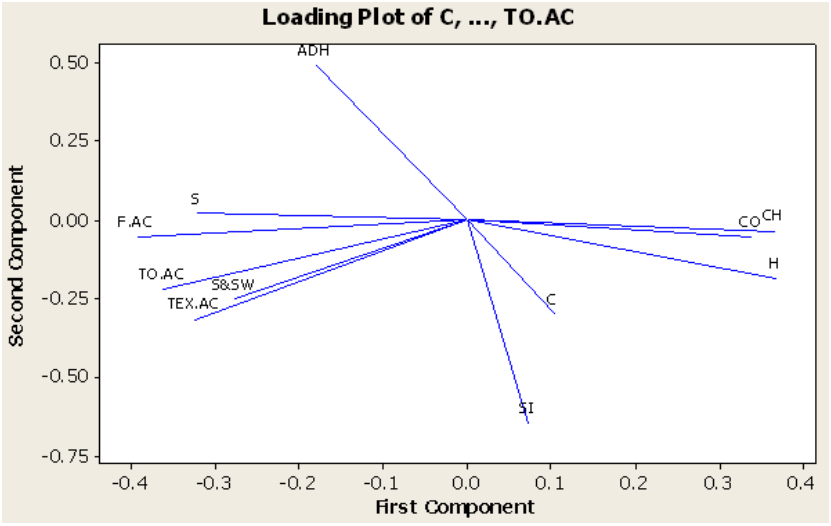
نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید پاستیل بر پایه پوره آلو به عنوان یک فراورده نوظهور با بافت، طعم و ویژگی‌های حسی مناسب مورد ارزیابی قرارگرفت. با بررسی سطوح مختلف هیدروکلوئیدهای مصرفی، مشخص شد که نشاسته در حفظ و رهاسازی طعم تاثیر مثبتی دارد، درحالی‌که مقادیر پایین ژلاتین سبب ایجاد بافتی مناسب با ویژگی های مورد پذیرش مصرف کننده می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که ویژگی‌های بافتی فراورده با هم در ارتباط بوده و کیفیت بافتی بر درک طعم و پذیرش آن تاثیر بسیار زیادی دارد.

جدول۸- ماتریس ضرایب همبستگی داده های حسی نمونه های مورد بررسی

	رنگ	ظاهر	سختی	پیوستگی	آدامسی	چسبندگ	پذیرش بافت	ترشی	تعادل	پذیرش طعم
ظاهری	۰/۳۷ ns									
سختی	۰/۲۷ ns	۰/۴۳ ns								
پیوستگی	۰/۱۴ ns	۰/۳۰ ns	۰/۷۴ **							
آدامسی	۰/۰۲ ns	۰/۲۳ ns	۰/۹۰ **	۰/۸۴ **						
چسبندگی	-۰/۴۱ ns	-۰/۶۶ *	-۰/۶۵ *	-۰/۲۵ ns	۰/۴۴ ns					
پذیرش بافت	-۰/۲۰ ns	۰/۳۷ ns	-۰/۶۴ ns	-۰/۵۶ ns	-۰/۶۷ ns	۰/۱۳ ns				
ترشی	۰/۰۴ ns	۰/۲۲ ns	-۰/۷۲ **	-۰/۸۳ **	-۰/۷۸ **	۰/۲۶ ns	۰/۵۵ ns			
تعادل طعم	۰/۱۸ ns	۰/۱۸ ns	-۰/۵۰ ns	-۰/۴۶ ns	-۰/۴۸ ns	۰/۱۴ ns	۰/۷۱ **	۰/۴۵ ns		
پذیرش طعم	-۰/۲۴ ns	-۰/۱۲ ns	-۰/۹۰ **	-۰/۸۳ **	-۰/۹۰ **	۰/۳۸ ns	۰/۸۴ **	۰/۷۵ **	۰/۷۱ **	
پذیرش کل	۰/۲۱ ns	۰/۱۵ ns	-۰/۷۸ **	-۰/۶۷ *	-۰/۷۹ **	۰/۲۱ ns	۰/۹۳ **	۰/۶۱ *	۰/۷۷ **	۰/۹۴ **

**معنی دار ۰/۰۱>p *معنی دار۰/۰۵>p ns بی معنی



شکل۲- سهم ویژگی‌های حسی اندازه گیری شده در مولفه اصلی اول و دوم

C- شدت رنگ، S.T – ویژگی‌های ظاهری، H- سختی، Coh- پیوستگی، Ch- آدامسی بودن، Adh – چسبندگی، Tex.Ac- پذیرش بافت، Sترشی،S&Sw- تعادل ترشی و شیرینی، F.Ac- پذیرش طعم،To.Ac- پذیرش کلی.

نمونه‌های دارای بافت سخت و با ویژگی آدامسی بودن پذیرش پایینی کسب کردند. میزان سختی و آدامسی بودن بافت با درصد نشاسته مصرفی رابطه عکس و با درصد ژلاتین رابطه مستقیم داشت. همچنین برای حصول بهترین فرمولاسیون نیاز به ۴/۴۱ درصد ژلاتین و ۳/۲۸ درصد نشاسته است.

قدردانی

از شرکت ایران چاشنی که حمایت مالی این پروژه را در غالب طرح ارتباط علمی دانشگاه و جامعه عهده‌دار گشتند و همچنین از ارزیابان حسی که نهایت همکاری را در انجام این تحقیق مبذول داشتند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

بورن، م، ۱۳۸۶، رئولوژی مواد غذایی، بافت و گرانروی مواد غذایی، مفهوم و اندازه گیری، مترجم عباسی،س، نشر مرز دانش، تهران، صفحات۷،۲۴۰ و ۲۴۱.

پایان، ر، ۱۳۸۷، مبانی کنترل کیفیت در صنایع غذایی، نشر آییژ، تهران، صفحه ۶۷ .

فرهناکی، ع ،. مجذوبی، م ،. و مصباحی، غ، ۱۳۸۸، خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوئیدها در مواد غذایی و دارویی: ژلاتین، کتیرا، صمغ عربی، نشاسته، نشاسته اصلاح شده و پکتین، نشر علم کشاورزی ایران، تهران، صفحه۱۴.

Al-Rawahi, A., Kasapis, S., Al-Maamari, S., & Al-Saadi, A., 2006, Development of a date confectionery: Part 2. Relating instrumental texture to sensory evaluation. International Journal of Food Properties, 9(3), 365-375.

Appelqvist, I. A. M., & Debet, M. R. M., 1997, Starch-biopolymer interactions - A review. Food Reviews International, 13(2), 163-224.

Barrangou, L. M., Drake, M. A., Daubert, C. R., & Foegeding, E. A., 2006, Sensory texture related to large-strain rheological properties of agarglycerol gels as a model food. Journal of Texture Studies, 37(3), 241-262.

Boland, A. B., Buhr, K., Giannouli, P., & Van Ruth, S. M., 2004, Influence of gelatin, starch, pectin and artificial saliva on the release of 11 flavour compounds from model gel systems. Food Chemistry, 86(3), 401-411.

Burey, P., Bhandari, B. R., Rutgers, R. P. G., Halley, P. J., & Torley, P. J., 2009, Confectionery gels: A review on formulation, rheological and structural aspects. International Journal of Food Properties, 12(1), 176-210.

DeMars, L. L., & Ziegler, G. R., 2001, Texture and structure of gelatin/pectin-based gummy confections. Food Hydrocolloids, 15(4-6), 643-653.

Ergun, R., Lietha, R., & Hartel, R. W., 2010, Moisture and shelf life in sugar confections. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 50(2), 162-192.

Ferry, A. L., Hort, J., Mitchell, J. R., Cook, D. J., Lagarrigue, S., & Valles Pamies, B., 2006, Viscosity and flavour perception: Why is starch different from hydrocolloids? Food Hydrocolloids, 20(6), 855-862.

Hernández, M. J., Durán, L., & Costell, E., 1999, Influence of composition on mechanical properties of strawberry gels. Compression test and texture profile analysis. Food Science and Technology International, 5(1), 79-87.

Horang , O and Steve, A., 2001, Hydrocolloid Confectionary. European patent 117304

Gordon, B., 1990, Snack Food. Van Nostrand Reinhold. New York, pp. 95,105.

Kealy, T., 2006, Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods. Food Research International, 39(3), 265-276.

Lau, M. H., Tang, J., & Paulson, A. T., 2000, Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels. Food Research International, 33(8), 665-671.

Loh, J., Dulin, D., and Cha., A .2003. Gelatin Extender. United States Patent:6669977

Lubbers, S., & Guichard, E., 2003, The effects of sugars and pectin on flavour release from a fruit pastille model system. Food Chemistry, 81(2), 269-273.

Meullenet, J., B. Lyon., J .Carpenter and C .Lyon., 1998, Relationship between Sensory and Instrumental Texture Profile attributes.Journal of Sensory Studies 13,77-93.

Martínez, B., Rincón, F., Ibáñez, M. V., & Abellán, P., 2004, Improving the Nutritive Value of Homogenized Infant Foods Using Response Surface Methodology. Journal of Food Science, 69(1).

Ozer, E. A., Ibanoğlu, S., Ainsworth, P., & Yağmur, C., 2004, Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. European Food Research and Technology, 218(5), 474-479.

Probola, G., & Zander, L., 2007, Application of PCA method for characterisation of textural properties of selected ready-to-eat meat products. Journal of Food Engineering, 83(1), 93-98.

Sousa, I. M. N., Matias, E. C., & Laureano, O., 1997, The texture of low calorie grape juice jelly. Zeitschrift fur Lebensmittel -Untersuchung und -Forschung, 205(2), 140-142.

Szczesniak, A. S., 2002, Texture is a sensory property. Food Quality and Preference, 13(4), 215-225.
Takahashi, T., Hayakawa, F., Kumagai, M., Akiyama, Y., & Kohyama, K., 2009, Relations among mechanical properties, human bite parameters, and ease of chewing of solid foods with various textures. Journal of Food Engineering, 95(3), 400-409.
Thakur, S., & Saxena, D. C., 2000, Formulation of Extruded Snack Food (Gum Based Cereal-Pulse Blend): Optimization of Ingredients Levels Using Response Surface Methodology. LWT - Food Science and Technology, 33(5), 354-361.