# بررسی خواص بافتی مربا رژیمی بر پایه استویا و بهینه‌سازی فرمولاسیون با روش سطح پاسخ

احمد نورمحمدی[۱]، ابراهیم احمدی[*۲]، علی حشمتی[۳]

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم،
a.nourmohammadi74@gmail.com
دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، eahmadi@basu.ac.ir
دانشیار گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده بهداشت، گروه تغذیه و بهداشت مواد غذایی،
ali_heshmaati@yahoo.com

## چکیده

در این پژوهش بافتی مربای رژیمی آلبالو با جایگزینی استویا مورد مطالعه قرار گرفت. اثر متغیرهای تولید مربای رژیمی آلبالو شامل، شکر، پکتین و استویا بر ویژگی‌های شیمیایی (مواد جامد محلول) و ویژگی‌های بافتی (سختی، چسبندگی، انسجام و جوندگی) مربای رژیمی با شیرین‌کننده استویا، موردبررسی قرار گرفت. فرآیند تولید نمونه‌ها در پنج سطح شکر ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪، پنج سطح پکتین ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵٪ و پنج سطح استویا ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶٪ در مقدار ثابت میوه ۳۰۰ g صورت گرفت. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها و بهینه‌سازی فرمولاسیون با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت شکر سبب افزایش مواد جامد محلول (TSS) و مقدار جوندگی در محصول نهایی شد. افزایش پکتین بر میزان سختی و چسبندگی نمونه‌های مربا اثر مثبت داشت و بر انسجام اثر منفی داشت. نقطه بهینه فرمولاسیون مربای رژیمی در مقدار شکر ۴۰٪، پکتین ۰/۴٪ و استویا ۰/۳٪ درصد به‌دست آمد. تولید مربا تحت شرایط مقدار شکر بالا (۴۰٪) و پکتین بالاتر (۰/۴٪) سبب بهبود خواص بافتی مربای رژیمی آلبالو می‌شود.

**کلمات کلیدی:** *استویا، بافت، بهینه‌سازی، مربای رژیمی*

[*]نویسنده مسئول: eahmadi@basu.ac.ir

# بررسی خواص بافتی مربا رژیمی بر پایه استویا و بهینه‌سازی فرمولاسیون با روش سطح پاسخ

**مقدمه**

میوه‌ها فسادپذیر هستند و عدم وجود تکنیک‌های مناسب برای پس از برداشت، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی منجر به خسارات زیادی می‌شود. تکنیک‌های حفظ میوه مانند شیرینی وتولید مربا باعث افزایش قابل‌توجه ماندگاری آن‌ها شده و مصرف آن‌ها را در تمام طول سال امکان‌پذیر می‌کند [۱۶]. در حال حاضر، فرآوری یکی از متداول‌ترین روش‌ها است که صنعت به‌منظور حفظ میوه برای مصرف در طول فصول خارج از میوه استفاده می‌کند. تولید مربا یکی از روش‌های متداول و مهم برای حفظ میوه‌ها است. مرباها منبع مناسبی از میوه‌ها هستند که مواد غذایی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی را عرضه می‌کنند [۱۳]. مربا یک ماده غذایی نیمه جامد است که معمولاً از مخلوط کردن ۴۵٪ وزنی میوه و ۵۵٪ وزنی شکر به دست می‌آید. این مخلوط سپس تا غلظت ۶۵٪ مواد جامد محلول حرارت دیده تا تغلیظ شود. برخی مواقع عوامل رنگ دهنده و طعم‌دهنده به مربا اضافه می‌شود تا عطروطعم محصول نهایی مناسب باشد. فرمولاسیون مربا بر اساس انتخاب مصرف‌کننده، تقاضای بازار، قوانین مواد غذایی و نیازهای اقتصادی توسعه پیدا می‌کند [۱]. مربا یک ماده غذایی رطوبت متوسط است که توسط جوشاندن پالپ میوه با قند (ساکارز)، پکتین، اسید و سایر مواد (مواد نگهدارنده، مواد طعم‌دهنده و رنگ دهنده) به یک قوام مناسب و منطقی و به‌اندازه کافی قوی برای نگه‌داشتن بافت میوه می‌رسد. تولید مربای تجاری مبتنی بر استفاده مناسب از پکتین و تشکیل ژل پکتین، قند و اسید است [۷]. مرباهای سنتی معمولاً به‌طور گسترده‌ای توسط چندین گروه از مصرف‌کنندگان در صبحانه، در محصولات لبنی، محصولات نانوایی و شیرینی‌پزی مصرف می‌شوند [۱۳]. رژیم‌های غذایی پرکالری به همراه عدم فعالیت فیزیکی کافی منجر به افزایش وزن شده، که درنهایت باعث بروز بیماری‌هایی همچون چاقی، بیماری‌های قلبی و عروقی، فشارخون و دیابت و غیره می‌گردد [۱]. با توجه به افزایش نگرانی‌های سلامتی و بهداشتی، و بروز بیشتر چاقی، سندروم متابولیک و دیابت، افزایش علاقه به مصرف مواد غذایی با کالری کم در طی دهه‌های اخیر زیاد شده است [۱۰]. امروزه با توجه به رشد صنایع غذایی، کاهش میزان ساکارز در محصولات غذایی با جایگزینی کامل یا بخشی از ساکارز با استفاده از شیرین‌کننده‌های جایگزین، تبدیل به یک گزینه مناسب برای تولید محصولات غذایی کم‌کالری یا صفرکالری شده است، تا محصولات غذایی و نوشیدنی‌های متنوعی تولید گردد که در آن‌ها میزان شکر دریافتی و کالری تولیدشده در بدن انسان کاهش یابد و این محصولات برای افراد چاق و دیابتی مناسب باشد [۷]. ازآنجایی‌که میزان شکر در مربا بسیار بالا است و از طرفی عوارض مصرف زیاد شکر، موجب شده تا مصرف‌کننده به دنبال مرباهای کم‌کالری باشد. برای تهیه مربا با مقادیر کمتر ساکارز، می‌توان با جایگزینی جزئی یا کامل ساکارز با شیرین‌کننده‌های کربوهیدرات‌دار و غیرکربوهیدرات دیگری همچون (زایلیتول، سوربیتول، آسبارتام، آسسولفام پتاسیم، سیکلامات، استویا، سوکرالوز و یا ترکیبی از این‌ها) استفاده کرد [۸]. استویا (Stevia rebaudiana)، گیاهی علفی و حساس به سرما و از ارزشمندترین گیاهان دارویی مناطق حاره می‌باشد. برگ‌های استویا حاوی موادی به نام استویوزید و ربودیوزید A می‌باشد. این ترکیبات ۳۰۰ برابر از قند سوکروز موجود در چغندرقند، نیشکر و سایر منابع شیرین‌تر می‌باشند [۱۵]. استویوزید ارزشمندترین شیرین‌کننده طبیعی است که تولیدشده است، چون از طعم نسبتاً خوب و پایداری شیمیایی کافی برخوردار است، و درعین‌حال فاقد کالری می‌باشد [۴]. این گیاه برای افراد دیابتی، دارای فشارخون بالا و افراد دارای ناراحتی‌های قلبی و نیز در داروهای لاغری و داروهای ضد سرطان مورداستفاده قرار می‌گیرد. استویا کاربردهای وسیعی در فرآورده‌های خوراکی داشته و می‌تواند به‌عنوان منبع شیرینی در محصولاتی همچون محصولات قنادی و نانوایی، آبمیوه، مربا، شکلات، بیسکویت و دیگر مواد غذایی مورداستفاده قرار گیرد. حذف ساکارز از فرمولاسیون مربا نه‌تنها به شیرینی و طعم، بلکه بر کریستالیزاسیون، ساختار ویسکوزیته، رطوبت، فشار اسمزی، تخمیر و غیره نیز تأثیر می‌گذارد. مربای میوه که حاوی شیرین‌کننده جایگزین است، باید ویژگی‌های بافتی، رئولوژیکی و خواص حسی مشابه با محصولات سنتی و مرسوم داشته باشد [۸]. تغییرات در ترکیبات و یا میزان غلظت آن‌ها معمولاً به تغییرات در ساختار آن‌ها منجر

می‌شود، که اغلب توسط مصرف‌کننده از طریق بافت یا احساس دهان درک می‌شوند. مواد و غلظت آن‌ها، بر روی کیفیت مربا همچون ویژگی‌های درونی (حسی) و ظاهری (رنگ، بافت، رئولوژی) تأثیر می‌گذارند. هنگامی‌که غذا حساسیت جسمی (سختی، نرمی، تردی، رطوبت، خشکی) در دهان ایجاد می‌کند، مصرف‌کننده کیفیت (تازگی، ماندگی، تردی، رسیدگی) آن را قضاوت می‌کند [۹]. درک عوامل مؤثر بر بافت مواد غذایی، موردنیاز متخصصین صنایع غذایی است. تجزیه‌وتحلیل حسی در ترکیب با اندازه‌گیری‌های مکانیکی (رئولوژی و بافت) کیفیت دقیق‌تر مربا را نشان می‌دهد. بنابراین، شناخت خواص رئولوژیکی برای طراحی تجهیزات پردازش، توسعه محصول، کنترل کیفیت و پذیرش مصرف‌کنندگان ضروری است [۶]. خواص رئولوژیکی مربا به‌طور عمده تحت تأثیر مقدار و نوع قند افزوده‌شده، اسیدیته، نسبت و نوع پکتین مورداستفاده، محتوای خمیر میوه و دمای فرآیند است. بااین‌حال بهینه‌سازی ترکیب عناصر برای فرآیند تولید مربا بسیار محدود است. بنابراین اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی و بافتی مربا در حین ساخت و ذخیره‌سازی، می‌تواند در کنترل کیفیت آن مفید باشد. روش سطح پاسخ، تکنیکی کارا و نوین برای توسعه، بهبود و بهینه‌سازی فرآیندها است که می‌تواند چندین متغیر را با یکدیگر و در یک زمان بررسی کند و پاسخ آن‌ها را بهینه نماید. این تکنیک در طراحی، توسعه و فرمولاسیون محصولات جدید و همچنین بهبود کیفیت فرآورده‌های موجود کاربرد دارد.

با توجه به مطالب ارائه‌شده تولید محصولات کم‌کالری و رژیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از محصولاتی که امروزه در صنعت موردتوجه قرارگرفته است، تولید مرباهای رژیمی و کم‌کالری با شیرین‌کننده‌های طبیعی است. بنابراین به دست آوردن یک فرمولاسیون بهینه برای تولید این مرباها ضرورت دارد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه مواد

عصاره گیاه استویا با خلوص ۹۰-۸۵ درصد از کارخانه سحر همدان تهیه شد. پکتین تجاری از کارخانه سحر تهیه شد. آلبالوی منجمد شده از سردخانه کارخانه سحر تهیه و پس از هسته‌گیری به مدت ۶ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. شکر سفید تجاری از کارخانه سحر همدان تهیه شد.

### ساخت مربا

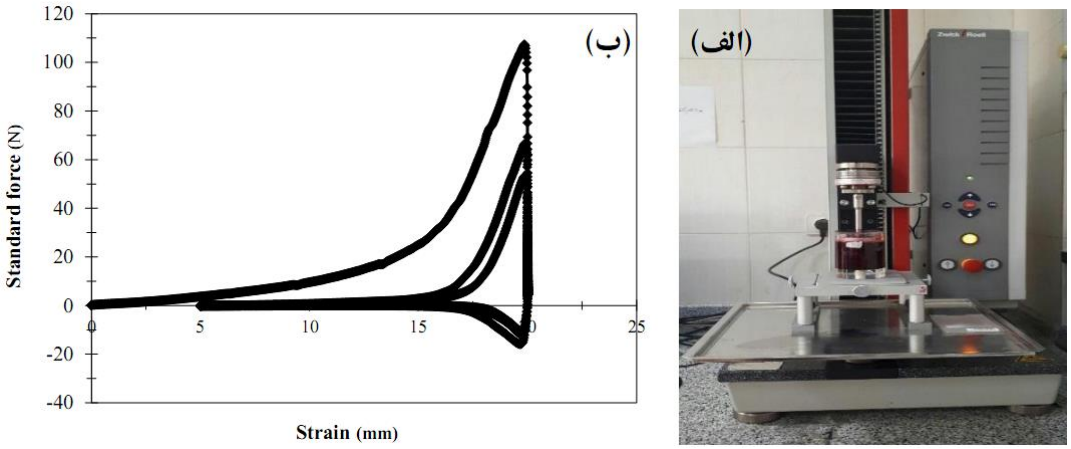
مقادیر مطلوب شکر، استویا و پکتین به مقدار ثابت میوه (۳۰۰ g)، برای همه‌ی نمونه‌ها اضافه شد. مخلوط در یک قابلمه استیل ضدزنگ روباز منتقل شد. مخلوط بر روی شعله گاز در دمای شعله کم حرارت داده شد، و مقدار TSS در حین جوش کنترل شد. مخلوط به‌طور مداوم در حین جوش با میله شیشه‌ای هم زده شد. مخلوط در سطح TSS انتخاب‌شده گرفته شد تا ویژگی‌های بافتی را بررسی کنیم. حرارت برای مربا هنگامی‌که TSS به ۶۵ الی ۶۸ درجه بریکس رسیده بود متوقف شد و مخلوط در ظرف‌های شیشه‌ای ۵۰۰ گرمی ریخته ودر شرایط محیطی سرد شد. از طرف دیگر، حرارت در نمونه‌های دیگری که به TSS مطلوب نرسیده بودند، تا هنگامی‌که تغییر رنگ ایجاد شد متوقف شد. برای جلوگیری از رشد میکروبی، ظروف شیشه‌ای در یک دیگ پر از آب جوش به مدت دو ساعت قرار داده شدند.

### اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS)

به منظور اندازه‌گیری مقدار مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر مدل استفاده شد. یک قطره از شربت مربا روی منشور دستگاه رفراکتومتر پس از صفر کردن توسط آب مقطر قرار داده شد و در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد کل مواد جامد محلول قرائت شد. هر نمونه در سه تکرار اندازه‌گیری شد.

### بررسی پارامترهای بافتی مربا

برای به دست آوردن ویژگی‌های بافتی نظیر فنریت[1]، چسبندگی[2]، جوندگی[3] و انسجام[4] بافت مربا از آزمون بک اکستروژن[5] توسط دستگاه آنالیزور بافت مواد غذایی Zwick/ Roell مدل BT1_FR0.5TH.D14 ساخت کشور آلمان با ظرفیت لودسل ۵۰۰ نیوتن، در آزمایشگاه خواص و رئولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد (شکل ۱- الف). نمونه‌های مربا در درصدهای مختلف و شاهد در حجم یکسان ۷۰ سی‌سی و وزن ۵۰ گرم جدا شدند. در این آزمون قطر پروب از قطر ظرف نگه‌دارنده نمونه کوچک‌تر است و این موضوع باعث می‌شود که در اثر اعمال نیروی فشاری، نمونه از طریق فضای خالی بین پروب و دیواره به‌طرف بیرون پس‌زده شود. قطر ظرف نگه‌دارنده ۹۲/ ۴۵ میلی‌متر و قطر پروب ۴۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. آزمون در سه سیکل تعریف گردید. به‌طوری‌که بارگزاری هر سیکل ۳۰ ثانیه و باربرداری ۱۰ ثانیه طول خواهد گردید. سرعت انجام تست ۴۰ میلی‌متر بر دقیقه و میزان جابجایی بعد از بارگزاری ۵ میلی-متر بود. ویژگی‌های بافتی نظیر فنریت، چسبندگی، جوندگی و انسجام در قالب منحنی نیرو- جابجایی توسط نرم‌افزار دستگاه (Test Xpert) رسم گردید (شکل ۱- ب). آزمون برای هر تیمار در سه تکرار صورت گرفت.




**شکل ۱- الف- دستگاه بافت مواد، آزمون بک استروژن ب- نمودار ترسیم شده تست بک اکستروژن برحسب نیرو-جابجایی**

### طراحی آزمایش و تجزیه‌وتحلیل آماری

به‌منظور بررسی آماری اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ مورد مطالعه و همچنین تعیین شرایط بهینه فرآیند تولید مربای رژیمی آلبالو از روش سطح پاسخ به شیوه طرح مرکب مرکزی استفاده شد [۲]. برای این منظور از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۰ استفاده شد، و تجزیه‌وتحلیل واریانس بر روی ضرایب مدل درجه دوم با این نرم‌افزار انجام گرفت. هر فاکتور در طرح مرکب مرکزی در پنج سطح مختلف (۲+، ۱+، ۰، ۱-، و ۲-)، دو نقطه محوری ($\alpha$+ و $\alpha$-) و شش تکرار در نقطه مرکزی مورد مطالعه قرار گرفت و شرایط نقاط بهینه بر اساس تابع مطلوبیت تعیین شدند. شکل کلی معادله مرتبه دوم سطوح پاسخ در رابطه ۱ نشان داده‌شده است.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_j^2 \qquad (۱)$$

1 Springiness
2 Gumminess
3 Chewiness
4 Cohesiveness
5 Back extrusion

که Y پاسخ متغیرهای وابسته مورد مطالعه (مواد جامد محلول (TSS)، سختی، چسبندگی، جوندگی و انسجام)، $\beta_o$ عرض از مبدا، $\beta_i$، $\beta_j$ و $\beta_{ij}$ به ترتیب ضرایب خطی، درجه دو و اثر متقابل رابطه، $X_i$ و $X_j$ متغیرهای مستقل موردبررسی هستند. جداول ۱ و ۲ به ترتیب، متغیرهای مستقل به همراه سطوح کدبندی شده آن‌ها و تعداد آزمایش‌ها را نشان می‌دهند.

برای تعیین شرایط بهینه با توجه به اهداف مورد مطالعه، ضریب اهمیت متغیرهای سختی و انسجام برابر ۵ (بیشترین اهمیت)، مواد جامد محلول (TSS) برابر ۳ و چسبندگی و جوندگی برابر ۱ (کمترین اهمیت) انتخاب شدند.

**جدول ۱- سطوح کدبندی شده بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل مربای رژیمی آلبالو**

| متغیرهای مستقل | نماد | سطوح کدبندی شده متغیرها | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -۲ | -۱ | ۰ | ۱ | ۲ |
| شکر(%) | $X_1$ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ |
| پکتین (%) | $X_2$ | ۰/۱ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ |
| استویا (%) | $X_3$ | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۶ |

**جدول ۲- آزمایش‌های طراحی‌شده برای بررسی اثر متغیرهای پاسخ بر فرآیندهای تولید مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۰**

| شماره آزمایش | سطوح متغیرهای مستقل (مقدار کدبندی) | | | تعداد تکرار |
|---|---|---|---|---|
| | شکر (٪) | پکتین (٪) | استویا (٪) | |
| ۱ | ۱۰ (-۲) | ۰/۳ (۰) | ۰/۴ (۰) | ۱ |
| ۲ | ۲۰ (-۱) | ۰/۴ (۱) | ۰/۳ (-۱) | ۱ |
| ۳ | ۲۰ (-۱) | ۰/۲ (-۱) | ۰/۳ (-۱) | ۱ |
| ۴ | ۲۰ (-۱) | ۰/۴ (۱) | ۰/۵ (۱) | ۱ |
| ۵ | ۲۰ (-۱) | ۰/۲ (-۱) | ۰/۵ (۱) | ۱ |
| ۶ | ۳۰ (۰) | ۰/۳ (۰) | ۰/۴ (۰) | ۶ |
| ۷ | ۳۰ (۰) | ۰/۳ (۰) | ۰/۲ (-۲) | ۱ |
| ۸ | ۳۰ (۰) | ۰/۳ (۰) | ۰/۶ (۲) | ۱ |
| ۹ | ۳۰ (۰) | ۰/۱ (-۲) | ۰/۴ (۰) | ۱ |
| ۱۰ | ۳۰ (۰) | ۰/۵ (۲) | ۰/۴ (۰) | ۱ |
| ۱۱ | ۴۰ (۱) | ۰/۲ (-۱) | ۰/۵ (۱) | ۱ |
| ۱۲ | ۴۰ (۱) | ۰/۴ (۱) | ۰/۵ (۱) | ۱ |
| ۱۳ | ۴۰ (۱) | ۰/۴ (۱) | ۰/۳ (-۱) | ۱ |
| ۱۴ | ۴۰ (۱) | ۰/۲ (-۱) | ۰/۳ (-۱) | ۱ |
| ۱۵ | ۵۰ (۲) | ۰/۳ (۰) | ۰/۴ (۰) | ۱ |

## نتایج و بحث

ضرایب معادله رگرسیونی حاصل از روش سطح پاسخ و اطلاعات آماری به‌دست‌آمده برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر آماری ارائه‌شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود که مقدار ضریب تبیین ($R^2$) برای تمامی مدل‌های ارائه‌شده بالاتر از ۰/۸۵ و ضریب تغییرات برای تمامی مدل‌ها کم‌تر از ۹ بود به‌جز چسبندگی که مقدار ضریب تغییرات برای آن برابر با ۱۲/۶۵ به دست آمد. بنابراین مقدار پایین ضریب تغییرات (8 ≈) برای اغلب مدل‌های پیشنهادی در جدول ۳ نشان‌دهنده تکرارپذیری خوب این مدل‌ها می‌باشد [۱۲]. می‌توان گفت که مدل‌های ارائه‌شده به روش سطح پاسخ به‌خوبی توانسته‌اند مقدار تغییرات متغیرهای وابسته را پیش‌بینی کنند.

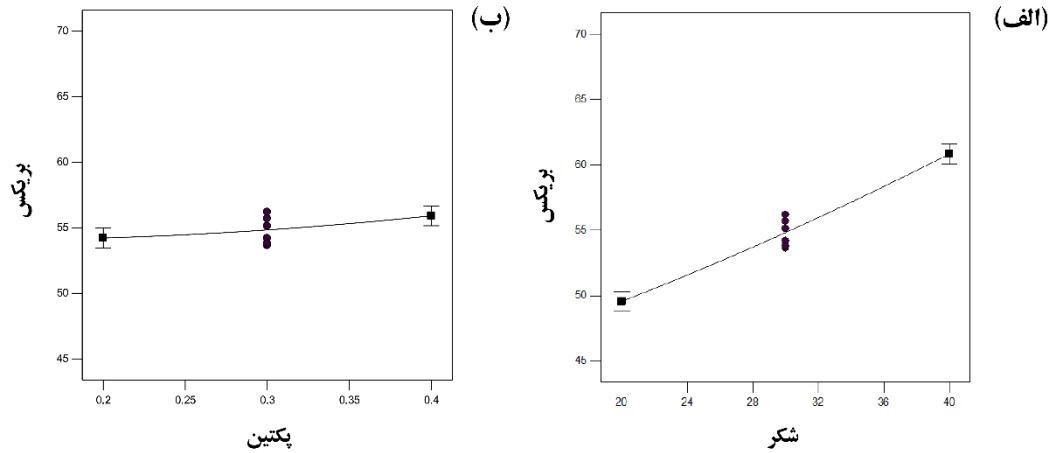
**جدول ۳- ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا برای طرح ($x_1$ درصد شکر، $x_2$ درصد پکتین و $x_3$ درصد استویا)**

| منابع تغییرات | ضرایب مدل | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | TSS | Chewiness | Springiness | Gumminess | Cohesiveness |
| عرض از مبدأ | | | | | |
| ($b_0$) | +۵۴/۸۴ | +۹/۴۸ | +۰/۶۰ | +۱۵/۴۲ | +۰/۲۱ |
| عبارت خطی | | | | | |
| ($b_1$) $X_1$ | +۵/۶۵$^{a}$ | +۱/۱۷$^{ns}$ | −۰/۰۷۷$^{b}$ | −۰/۱۸$^{ns}$ | +۰/۰۲۴$^{c}$ |
| ($b_2$) $X_2$ | +۰/۸۵$^{c}$ | +۰/۰۹۵$^{ns}$ | +۰/۰۹۸۳$^{c}$ | +۰/۷۸$^{ns}$ | +۰/۰۰۰۲۵$^{ns}$ |
| ($b_3$) $X_3$ | −۰/۵۲$^{ns}$ | +۱/۹۴$^{c}$ | −۰/۰۱۲$^{ns}$ | −۰/۴۰$^{ns}$ | +۰/۰۰۳۱$^{ns}$ |
| اثر متقابل | | | | | |
| ($b_{12}$) $X_1X_2$ | −۰/۷۷$^{ns}$ | −۰/۵۸$^{ns}$ | +۰/۰۱۷$^{ns}$ | +۳/۱۴$^{c}$ | +۰/۰۱۲$^{ns}$ |
| ($b_{13}$) $X_1X_3$ | +۰/۲۹$^{ns}$ | +۲/۶۴$^{c}$ | −۰/۰۲۷$^{ns}$ | +۳/۰۹$^{c}$ | +۰/۰۰۴۸$^{ns}$ |
| ($b_{23}$) $X_2X_3$ | +۰/۲۱$^{ns}$ | −۰/۳۳$^{ns}$ | +۰/۰۶۰$^{c}$ | +۱/۱۴$^{ns}$ | −۰/۰۳۳$^{c}$ |
| عبارت درجه دوم | | | | | |
| ($b_{11}$) $X_1^2$ | +۰/۳۷$^{ns}$ | +۴/۰۵$^{a}$ | +۰/۰۴۱$^{c}$ | +۵/۷۹$^{a}$ | +۰/۰۳۸$^{a}$ |
| ($b_{22}$) $X_2^2$ | +۰/۲۳$^{ns}$ | −۰/۶۳$^{ns}$ | −۰/۰۳۳$^{c}$ | −۰/۴۴$^{ns}$ | +۰/۰۲۱$^{b}$ |
| ($b_{33}$) $X_3^2$ | −۰/۰۱۲$^{ns}$ | +۲/۸۹$^{a}$ | −۰/۰۰۷$^{ns}$ | +۳/۷۳$^{b}$ | +۰/۰۳۷$^{a}$ |
| Lack of Fit (P-value) | ۰/۱۸۷۹$^{ns}$ | ۰/۰۰۵۰$^{b}$ | ۰/۱۷۶۰$^{ns}$ | ۰/۰۰۰۳$^{a}$ | ۰/۰۰۴۴$^{b}$ |
| Model (P-value) | ۰/۰۰۰۱$^{a}$ | ۰/۰۰۰۸$^{a}$ | ۰/۰۰۱۸$^{b}$ | ۰/۰۰۴۰$^{b}$ | ۰/۰۰۰۸$^{a}$ |
| $R^2$ | ۰/۹۶ | ۰/۸۹ | ۰/۸۷ | ۰/۸۵ | ۰/۸۹ |
| Adj. $R^2$ | ۰/۹۳ | ۰/۸۰ | ۰/۷۶ | ۰/۷۱ | ۰/۷۹ |
| Predicted. $R^2$ | ۰/۸۰ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ | −۰/۱۵ | ۰/۲۰ |
| C.V. (%) | ۲/۴۶ | ۹/۳۷ | ۷/۷۸ | ۱۲/۶۵ | ۸/۱۵ |
| Std. Dev. | ۱/۳۶ | ۲/۹۶ | ۰/۰۷۲ | ۴/۸۰ | ۰/۰۳۱ |

**a بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱٪، b اختلاف معنی‌دار در ۱٪، c اختلاف معنی‌دار در ۵٪ و ns عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.**

**مواد جامد محلول (TSS)**

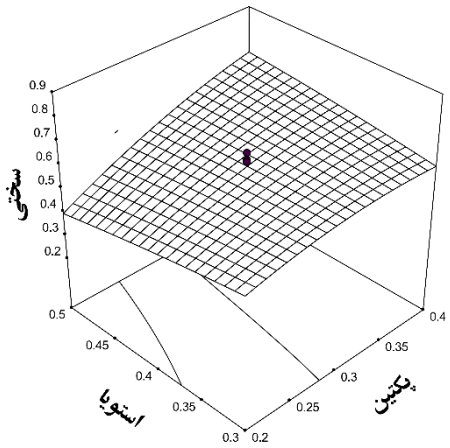
بیشترین مقدار TSS (۶۶/۱) در شرایط شکر ۵۰ درصد، پکتین ۰/۳ درصد و استویا ۰/۴ درصد به‌دست آمد. کمترین مقدار TSS (۴۶/۲) نیز تحت شرایط شکر ۱۰ درصد، پکتین ۰/۳ درصد و استویا ۰/۴ درصد به‌دست آمد. با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده شد که اثر خطی شکر ($P<0.0001$) و پکتین ($P<0.05$) بر میزان بریکس مربای آلبالو معنی‌دار بودند. شکل ۲- الف و ب به ترتیب اثر خطی شکر و پکتین بر میزان TSS مربای آلبالو را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش میزان شکر، مقدار مواد جامد محلول مربا افزایش می‌یابد. درواقع زمانی که مقدار شکر ثابت است و دو پارامتر دیگر مقدارش تغییر کرده است، تغییر محسوسی در TSS مشاهده نمی‌شود. به‌عنوان‌مثال در مقدار ۳۰ درصد شکر، در مقادیر متفاوت استویا و پکتین، مقدار بریکس تغییر محسوسی نمی‌کند. که از عمده‌ترین دلیل عدم تأثیر این دو پارامتر بر بریکس مقادیر بسیار کم این ترکیبات در فرمولاسیون مربا می‌باشد [۱].




**شکل ۲-شکل الف و ب به ترتیب اثر خطی شکر و پکتین بر میزان بریکس مربای آلبالو**

**سختی**

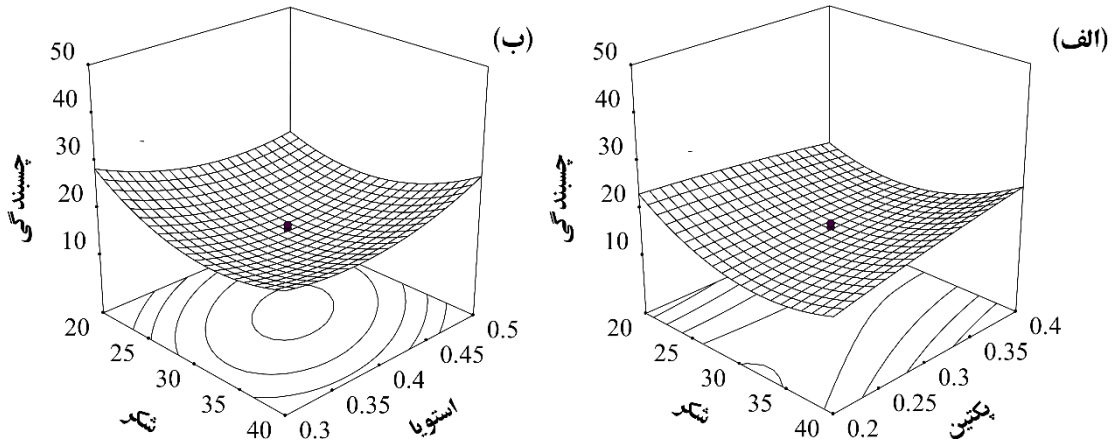
سختی، به‌عنوان مقدار نیرو لازم برای دستیابی به میزان مشخصی از تغییر شکل تعریف می‌شود و یک پارامتر معمولاً ارزیابی‌شده در تعیین بافت مربا است [۱۴]. بیشترین مقدار سختی در شرایط شکر ۲۰ ٪، پکتین ۰/۴ ٪ و استویا ۰/۵ ٪ به‌دست آمد. و همچنین کمترین مقدار سختی (۲۱/۶۶ N) نیز تحت شرایط شکر ۳۰ ٪، پکتین ۰/۱ و استویا ۰/۴ ٪ به‌دست آمد. با توجه به نتایج جدول ۳، مشاهده شد که اثر خطی شکر و همچنین اثر متقابل پکتین و استویا و عبارت درجه دوم آن‌ها بر سختی مربا معنی‌دار بودند. شکل ۳ اثر متقابل درصد پکتین و استویا بر مقدار سختی مربای آلبالو را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که با افزایش درصد پکتین، مقدار سختی مربا نیز افزایش یافت، همچنین اثر پکتین از استویا بیشتر بود. پکتین عامل ژل کننده‌ای است که در حضور ساکارز مسئول تشکیل ژل در طول ساخت مربا است. تعداد نواحی اتصال با غلظت پکتین افزایش‌یافته است. درنتیجه، تعداد زنجیره‌های پلیمری الاستیک فعال در شبکه ژل با غلظت پکتین افزایش‌یافته است، بنابراین تشکیل شبکه ساختاری درون ژل سفت‌تر شد [۷]. سختی مربا با افزایش جایگزینی استویا کاهش می‌یابد. بااین‌وجود در سطوح بالاتر استویا ابتدا با جایگزینی ۰ تا ۲۵٪ درصد استویا سختی افزایش و پس‌ازآن کاهش می‌یابد [۹].




**شکل ۳- اثر متقابل پکتین و استویا بر سختی مربای آلبالو**

## چسبندگی

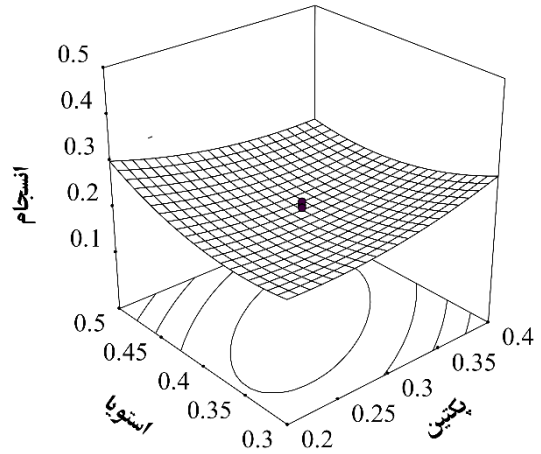
چسبندگی همچنین انرژی لازم برای خرد کردن محصول از قوام نیمه جامد به حالت آماده برای مصرف است [۱۴]. این پارامتر تأثیر نامطلوب بر ظاهر و بافت یک محصول غذایی دارد [۵]. چسبندگی میزان چسبیدن مربا روی دندان را پیش‌بینی می‌کند، و بیانگر نیروی لازم برای برداشتن مربای چسبنده روی یک سطح است [۱۱]. با توجه به نتایج بیشترین و کمترین مقدار چسبندگی در مربای رژیمی آلبالو به ترتیب برابر ۴۳/۰۶ و ۱۱/۸۲ N به‌دست آمد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل شکر و پکتین در سطح ($P<0.05$)، اثر متقابل شکر و استویا در سطح ($P<0.05$) و همچنین عبارت درجه دوم شکر و استویا بر چسبندگی مربای رژیمی آلبالو معنی‌دار بودند. شکل ۴ الف و ب به ترتیب اثر شکر و پکتین و شکر و استویا را بر چسبندگی مربای رژیمی آلبالو را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج قابل‌مشاهده است، با افزایش میزان شکر ابتدا چسبندگی کاهش می‌یابد ولی در سطوح بالاتر شکر میزان چسبندگی افزایش یافت. میزان چسبندگی مربا با افزایش غلظت پکتین بیشتر می‌شود. که با نتایج بلوویچ و همکاران [۱۰] مطابقت داشت. همچنین با افزایش میزان غلظت استویا تا سطح ۰/۳ ٪، ابتدا چسبندگی افزایش یافت ولی در غلظت‌های بالاتر استویا میزان چسبندگی کاهش یافت [۹].




**شکل ۴-الف) اثر متقابل پکتین و شکر بر میزان چسبندگی مربای رژیمی آلبالو و ب) اثر متقابل شکر و استویا بر میزان چسبندگی مربای رژیمی آلبالو**

**انسجام**

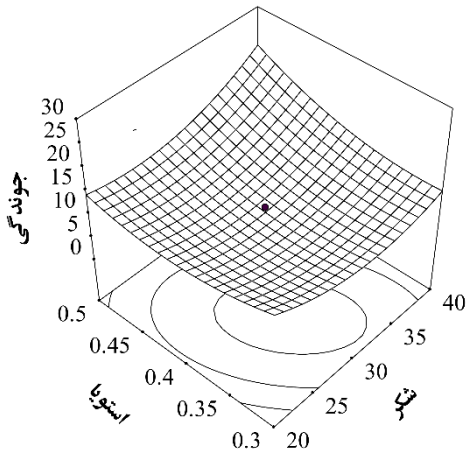
انسجام، نیروی بین پیوندهای داخلی است که ساختار یک محصول را تشکیل می‌دهد [۱۴]. انسجام نمونه مربا در بازه ۰/۱۹ تا ۰/۴۵ N بود. نتایج جدول ۳ نشان داد که اثر متقابل پکتین و استویا بر انسجام مربای رژیمی آلبالو در سطح ($P<0.05$) معنی‌دار بودند. همچنین عبارت درجه دوم شکر، پکتین و استویا بر انسجام مربای رژیمی آلبالو معنی‌دار بودند. شکل ۵ اثر متقابل پکتین و استویا بر انسجام مربای آلبالو را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان استویا، انسجام مربای آلبالو افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش مقدار پکتین، انسجام مربا کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که مرباها با افزایش غلظت پکتین راحت‌تر شکستند (شکننده‌تر) بودند [۳].




**شکل ۵–اثر متقابل پکتین و استویا بر میزان انسجام مربای رژیمی آلبالو**

**جوندگی**

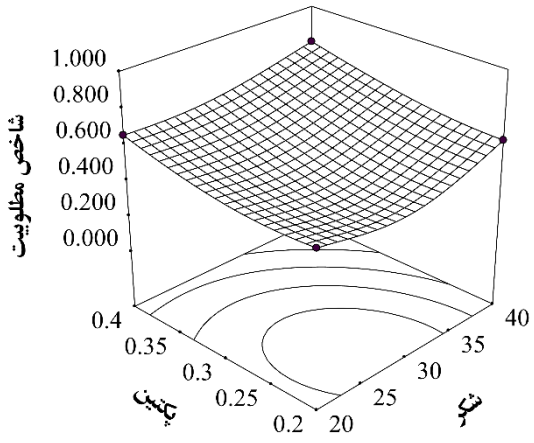
جوندگی یا حل‌شوندگی خاصیتی در مواد غذایی که بر اساس آن قابلیت جویده شدن، بافت آن‌ها مشخص می‌شود. بیشترین مقدار جوندگی (۲۷/۱۱ N) تحت شرایط شکر ۵۰٪، پکتین ۰/۳٪ و استویا ۰/۴٪ بود. همچنین کمترین مقدار جوندگی (۲/۵۶ N) در شرایط شکر ۳۰٪، پکتین ۰/۱٪ و استویا ۰/۴٪ به‌دست آمد. با توجه به جدول ۳ مشخص شد که اثر خطی استویا در سطح ($P<0.05$)، اثر متقابل شکر و استویا در سطح ($P<0.05$)، و عبارت درجه دوم شکر و استویا در سطح ($P<0.0001$)، بر جوندگی مربای رژیمی آلبالو معنی‌دار است. شکل ۳ اثر متقابل شکر و استویا بر میزان جوندگی مربای رژیمی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج این شکل مشاهده می‌گردد هر دو عامل شکر و استویا بر میزان جوندگی اثر مثبت داشتند، به‌طوری‌که با افزایش همزمان آن‌ها، مقدار جوندگی نمونه‌ها افزایش یافت. به نظر می‌رسد افزایش تدریجی غلظت شکرتا حدودی آب موجود در مخلوط پکتین- قند و اسید را کاهش می‌دهد و بنابراین احتمال تشکیل پیوندهای هیدروژن و سایر موارد ممکن را کاهش می‌دهد، درنتیجه قابلیت جوندگی بیشتر می‌شود. قندها به‌طورکلی فعالیت‌های آب را کاهش می‌دهند،که باعث فعل‌وانفعالات پکتین به‌جای تعامل پکتین- آب می‌شود [۱۰].




**شکل ۶-اثر متقابل شکر و استویا بر قابلیت جوندگی مربای رژیمی آلبالو**

**شرایط بهینه تولید مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا**

به‌منظور بهینه‌سازی همزمان متغیرهای پاسخ از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد.کمترین و بیشترین مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها و ضریب اهمیت آن‌ها برای متغیرهای پاسخ موردبررسی در جدول ۴ آورده شده‌اند. با استفاده از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت، دو نقطه بهینه با شاخص مطلوبیت بیشتر از ۰/۷۸ برای انجام فرآیند تولید مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا تعیین‌شده که در جدول ۵، ارائه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۵ نشان می‌دهد که مطلوب‌ترین حالت برای تولید مربای رژیمی در شرایط میزان شکر ۴۰٪، پکتین ۰/۴٪ و استویا ۰/۳٪ به‌دست آمد. تحت این شرایط شاخص مطلوبیت ۰/۷۸ بود و مقدار بهینه متغیرهای مستقل شامل مواد جامد محلول (TSS)، سختی، چسبندگی، انسجام و جوندگی به ترتیب برابر با ($BX^{\circ}$) ۶۱/۷۵، ۶۱/۷۰ N، ۲۴/۳۹۳ N، ۰/۳۶۶ N و ۱۲/۲۱۲N به‌دست آمدند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های بافتی مربای رژیمی تحت شرایط درصد شکر بالا و پکتین بالاتر سبب افزایش شاخص مطلوبیت گردید (شکل ۷).




**شکل ۷-اثر متقابل شکر و پکتین بر شاخص مطلوبیت**

**جدول ۳-محدوده متغیرهای پاسخ و ضریب اهمیت آن‌ها جهت بهنه سازی فرمولاسیون مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا**

| متغیرهای پاسخ | هدف | کمترین مقدار | بیشترین مقدار | ضریب اهمیت |
|---|---|---|---|---|
| TSS (Br°) | متوسط | ۴۶/۲ | ۶۶/۱ | ۳ |
| سختی (N) | بیشینه | ۲۱/۶۶ | ۸۷/۷۰ | ۵ |
| چسبندگی (N) | کمینه | ۱۱/۸۲ | ۴۳/۰۶ | ۱ |
| انسجام (N) | بیشینه | ۰/۱۹ | ۰/۴۵ | ۵ |
| جوندگی (N) | کمینه | ۲/۵۶ | ۲۷/۱۱ | ۱ |

**جدول ۳-۱۰- مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای وابسته و مستقل به روش سطح پاسخ در شرایط بهینه تولید مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا**

| شماره | شکر (٪) | پکتین (٪) | استویا (٪) | سختی (N) | چسبندگی (N) | انسجام (N) | جوندگی (N) | TSS | شاخص مطلوبیت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۴۰ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۷۰ | ۲۴/۳۹۳ | ۰/۳۶۶ | ۱۲/۲۱۲ | ۶۱/۷۵ | ۰/۷۹۵ |
| ۲ | ۳۹/۹۱۷ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۷۰ | ۲۴/۲۹۸ | ۰/۳۶۵ | ۱۲/۱۶۲ | ۶۱/۱۳ | ۰/۷۹۴ |
| ۳ | ۴۰ | ۰/۳۹۹ | ۰/۳ | ۶۱/۷۰ | ۲۴/۳۷۸ | ۰/۳۶۵ | ۱۲/۲۲۳ | ۶۱/۱۷ | ۰/۷۹۴ |
| ۴ | ۳۹/۸۳۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۶۰ | ۲۴/۲۰۷ | ۰/۳۶۴ | ۱۲/۱۱۲ | ۶۱/۰۸ | ۰/۷۹۳ |
| ۵ | ۴۰ | ۰/۳۹۸ | ۰/۳ | ۶۱/۷۰ | ۲۴/۳۹۵ | ۰/۳۶۵ | ۱۲/۲۳۷ | ۶۱/۱۶ | ۰/۷۹۳ |
| ۶ | ۳۹/۶۸۴ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۶۰ | ۲۴/۰۳۷ | ۰/۳۶۳ | ۱۲/۰۲۵ | ۶۱ | ۰/۷۹۱ |
| ۷ | ۳۹/۵۶۷ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۵۰ | ۲۳/۹۰۸ | ۰/۳۶۲ | ۱۱/۹۵۸ | ۶۰/۹۴ | ۰/۷۹۰ |
| ۸ | ۴۰ | ۰/۳۹۴ | ۰/۳ | ۶۱/۸۰ | ۲۴/۲۷۱ | ۰/۳۶۱ | ۱۲/۲۹۹ | ۶۱/۱۵ | ۰/۷۸۷ |
| ۹ | ۳۹/۲۳۷ | ۰/۴ | ۰/۳ | ۶۱/۴۰ | ۲۳/۵۵۲ | ۰/۳۵۸ | ۱۱/۷۴۴ | ۶۰/۷۷ | ۰/۷۸۶ |

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های شیمیای و بافتی مربای رژیمی آلبالو بر پایه استویا نتایج زیر از این پژوهش قابل استنتاج هستند: افزایش غلظت شکر سبب افزایش مواد جامد محلول (TSS) و مقدار جوندگی در محصول نهایی شد. افزایش پکتین بر میزان سختی و چسبندگی نمونه‌های مربا اثر مثبت داشت و بر انسجام اثر منفی داشت. فرمولاسیون مربا تحت شرایط درصد شکر بالا و پکتین بالاتر سبب افزایش شاخص مطلوبیت خواص بافتی مربای رژیمی آلبالو می‌شود.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کارخانه صنایع غذایی سحر همدان و دانشگاه بوعلی سینا که در تأمین مالی هزینه‌های این پژوهش ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

۱. یوسفی اصلی، م. گلی، ا. و کدیور، م. (۱۳۹۱) . بهینه‌سازی تولید مربای کم کالری" به "با استفاده از شیرین کننده مصنوعی استویا. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی. ۲۲(۲): ۱۵۵-۱۶۴.

۲. احمدی قویدلان، مریم. امیری چایجان، رضا. ( .(1395aاستفاده از روش سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی خشک‌کردن فندق در بسترسیال مادون‌قرمز. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۶(۴): ۶۳۹-۶۵۷.

3. Abid, M., Yaich, H., Hidouri, H., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2018). Effect of substituted gelling agents from pomegranate peel on colour, textural and sensory properties of pomegranate jam. Food chemistry, 239, 1047-1054.
4. Anbazhagan, M., Kalpana, M., Rajendran, R., Natarajan, V., & Dhanavel, D. (2010). In vitro production of Stevia rebaudiana Bertoni. Emirates Journal of Food and Agriculture, 216-222.
5. Azari-Anpar, M., Payeinmahali, H., Daraei Garmakhany, A., & Sadeghi Mahounak, A. (2017). Physicochemical, microbial, antioxidant, and sensory properties of probiotic stirred yoghurt enriched with Aloe vera foliar gel. Journal of food processing and preservation, 41(5), e13209.
6. Barbieri, S. F., de Oliveira Petkowicz, C. L., de Godoy, R. C. B., de Azeredo, H. C. M., Franco, C. R. C., & Silveira, J. L. M. (2018). Pulp and Jam of Gabiroba (Campomanesia xanthocarpa Berg): Characterization and Rheological Properties. Food chemistry, 263, 292-299.
7. Basu, S., Shivhare, U. S., & Singh, T. V. (2013). Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. Journal of Food Engineering, 114(4), 465-476.
8. Basu, S., & Shivhare, U. S. (2013). Rheological, textural, microstructural, and sensory properties of sorbitol-substituted mango jam. Food and Bioprocess Technology, 6(6), 1401-1413.
9. Basu, S., & Shivhare, U. S. (2010). Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. Journal of Food Engineering, 100(2), 357-365.
10. Belović, M., Torbica, A., Pajić-Lijaković, I., & Mastilović, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. Food Chemistry, 237, 1226-1233.
11. Culetu, A., Manolache, F. A., & Duta, D. E. (2014). Exploratory Study of Physicochemical, Textural and Sensory Characteristics of Sugar-Free Traditional Plum Jams. Journal of Texture Studies, 45(2), 138-147.

12. Ghasemi, A., & Chayjan, R. A. (2019). Optimization of pelleting and infrared-convection drying processes of food and agricultural waste using response surface methodology (RSM). Waste and Biomass Valorization, 10(6), 1711-1729.
13. Igual, M., Contreras, C., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: Instrumental and sensory measurement. LWT-Food Science and Technology, 56(1), 200-206.
14. Mousavi, M., Heshmati, A., Garmakhany, A. D., Vahidinia, A., & Taheri, M. (2019). Optimization of the viability of Lactobacillus acidophilus and physico-chemical, textural and sensorial characteristics of flaxseed-enriched stirred probiotic yogurt by using response surface methodology. LWT, 102, 80-88.
15. Uddin, M. S., Chowdhury, M. S. H., Khan, M. M. M. H., Uddin, M. B., Ahmed, R., & Baten, M. (2006). In vitro propagation of Stevia rebaudiana Bert in Bangladesh. African Journal of Biotechnology, 5(13).
16. Vilela, A., Matos, S., Abraão, A. S., Lemos, A. M., & Nunes, F. M. (2015). Sucrose Replacement by Sweeteners in Strawberry, Raspberry, and Cherry Jams: Effect on the Textural Characteristics and Sensorial Profile—A Chemometric Approach. Journal of Food Processing, 2015.

# texture properties of stevia based diet jam and formulations optimization by response surface methodology

Ahmad nourmohammadi[1], ebrahim ahmadi[2*], and ali heshmati[3]

1. [1]MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, a.nourmohammadi74@gmail.com
2. [2]Associate Prof., Department of Biosystems Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, eahmadi@basu.ac.ir.
3. [3]Associate Prof., Department of Nutrition and Food Hygiene, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran, ali_heshmaati@yahoo.com

## Abstract

In this study, the texture properties of dietary sour cherry jam with Stevia replacement were studied. The effects of sour cherry diet composition variables including sugar, pectin and stevia on chemical properties (total soluble solids) and tissue properties (Springiness, Gumminess, Cohesiveness and Chewiness) of stevia sweetener dietary jam were investigated. Sampling process at five sugar levels 10, 20, 30, 40 and 50%, five pectin levels 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5% and five levels of Stevia 0.2 , 0.3, 0.4, 0.5 and 0.6% were obtained in constant value of 300 g fruit. Statistical analysis of data and formulation optimization was performed using response surface methodology. The results showed that increasing the concentration of sugar increased the soluble solids (tss) and the amount of Chewiness in the final product. Increasing pectin had a positive effect on the Springiness and Gumminess of jam samples and had a negative effect on Cohesiveness. The optimum point of dietary jam formulation was 40% sugar, pectin 0.4% and Stevia 0.3%. Production of jam under conditions of high sugar content (40%) and higher pectin (0.4%) improves the texture properties of dietary sour cherry jam.

**Key words**: Stevia, texture, optimization, dietary jam.

*Corresponding author
E-mail: eahmadi@basu.ac.ir