

## بررسی کاربرد پردازش تصویر در ارزیابی ریز ساختار بستنی

سعید میرعرب رضی<sup>۲</sup>، محبت محبی<sup>۱\*</sup>، علی الفونه<sup>۲</sup>

۱. دانشیار و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۵، تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۷)

### چکیده

بستنی سیستم پیچیده‌ای است که سلول‌های هوا، بلورهای یخ و چربی در فاز سرمی آن پخش شده‌اند و ریزساختار آن تاثیر زیادی بر کنترل کیفیت محصول نهایی دارد. در این تحقیق با استفاده از پارامترهای بافت تصویر اثر چربی (۵/۲، ۵، ۵/۷ و ۱۰ درصد)، شیره انگور (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و فرایند تولید (انجماد و سرد کردن) بر ریز ساختار بستنی بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزودن صمغ تاثیر معنی‌داری بر ریزساختار بستنی داشته و باعث کاهش قطر معادل حباب، تخلخل، انتروپی و افزایش کرویت حباب می‌گردد. فرایندهای انجماد و سفت کردن نیز باعث تغییر پارامترهای تصویر شد که این تغییر در مرحله سفت شدن معنی‌دار بود. مشخص شد که در طی مراحل مختلف تولید، افزایش غلظت صمغ باعث کاهش قطر معادل، تخلخل و انتروپی حباب شد و افزایش غلظت شکر نیز تاثیر مشابهی داشت؛ اما مقدار این تغییرات معنی‌دار نبود. میزان چربی نیز تاثیر معنی‌داری بر این پارامترها نداشت.

واژه‌های کلیدی: چربی، بستنی، سفت کردن، گرانروی.

\* نویسنده مسئول: saeed.mirarab86@yahoo.com

## ۱- مقدمه

پایدارکننده‌ها در مخلوط بستنی باعث پایداری پروتئین، تولید کف پایدار، کاهش انتشار رطوبت از محصول به بسته یا محیط و جلوگیری از افت حجم محصول طی نگهداری می‌شوند. با توجه به این که اغلب پایدارکننده‌های تجاری، وارداتی می‌باشند، از این رو بررسی امکان کاربرد ترکیبات هیدروکلوئیدی گیاهان بومی ایران ضروری می‌باشد. بالنگو شیرازی، یک گیاه دارویی از خانواده نعنائیان می‌باشد که هیدروکلوئید دانه آن به‌طور عمده از پلی‌ساکاریدها (حدود ۶۱/۷۴) تشکیل شده است [۵]. تاکنون هیدروکلوئیدهای بسیاری در فرمولاسیون بستنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از هیدروکلوئیدهایی مانند کارایا، کاراگینان‌ها، فورسلاران، آلژینات، ژلاتین، صمغ عربی، گوار، کتیرا، دانه خرنوب، پکتین و کربوکسی متیل سلولز در بستنی مجاز است. در این میان کربوکسی متیل سلولز نقش مهمی را در ایجاد قوام بستنی ایفا می‌کند [۶-۷].

کربوکسی متیل سلولز یک پلی‌ساکارید آنیونی محلول در آب است [۸] که ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد. همچنین این صمغ به‌عنوان امولسیفایر می‌تواند عمل نماید. کربوکسی متیل سلولز در بین افزودنی‌های بستنی جزو پایدارکننده‌های اصلی می‌باشد، زیرا موجب افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی و ایجاد بافت نرم می‌شود، اما مانند سایر پایدارکننده‌های اصلی از جمله صمغ‌های گوار و دانه خرنوب، سبب جداسازی سرم در بستنی می‌شود که یک پدیده نامطلوب است [۹]. در این پژوهش نمونه‌های بستنی با درصد چربی مختلف با استفاده از غلظت‌های مختلف صمغ‌های بالنگو و کربوکسی متیل سلولز تولید شد؛ همچنین شیره انگور در سطوح مختلف جایگزین شکر شده و تاثیر فرایند انجماد و سفت کردن نیز بر پارامترهای تصویر اندازه‌گیری شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- مواد

شیر استریلیزه و هموژنیزه با ۳ درصد چربی، خامه پاستوریزه و هموژنیزه با ۳۰ درصد چربی، شیر خشک بدون چربی از شرکت پگاه خراسان، شکر، وانیل و شیره انگور از فروشگاه‌های محلی و کربوکسی متیل سلولز از شرکت سیگما تهیه شد.

بستنی سیستمی است که در آن گلبول‌های چربی، حباب‌های هوا و بلورهای یخ در فاز سرمی متشکل از پروتئین و پلی‌ساکارید پخش شده‌اند. گلبول‌های چربی، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و شکر نقش مهمی در فرمولاسیون بستنی ایفا می‌کنند. چربی بر ویژگی‌های حسی از جمله بافت، احساس دهانی، رنگ و عطر تاثیرگذار بوده و کاهش آن موجب تغییرات بافتی و حسی نامطلوب در بستنی می‌شود. بنابراین فرمولاسیون در بستنی کم‌چرب باید به نحوی باشد که از افت کیفیت جلوگیری کند [۱]. پروتئین‌های شیر در فرمولاسیون بستنی به‌عنوان جزئی از ترکیبات جامد بدون چربی محسوب شده و مقدار آن‌ها در مخلوط بستنی حدود ۴٪ می‌باشد که ۸۰-۷۰٪ از این مقدار کازئین و ۳۰-۲۰٪ آن پروتئین آب پنیر است. این پروتئین‌ها در سطوح بینابینی هوا-مایع جذب شده، باعث بهبود هوادهی و پایداری کف می‌شوند. اندازه و توزیع هوا نقش مهمی در بستنی به‌خصوص بر ویژگی حسی ایفا می‌کند [۲]. شکر نیز یکی دیگر از عوامل موثر در کیفیت بستنی است که علاوه بر نقش شیرین‌کنندگی دارای نقش حجیم‌کنندگی، تثبیت آب و کنترل نقطه انجماد در بستنی می‌باشد؛ اما به دلیل ارتباط با برخی بیماری‌ها نظیر فشار خون، بیماری‌های قلبی، فساد دندان، چاقی و افزایش سطح گلوکز و انسولین خون و نیز به دلیل مسائل اقتصادی و تکنولوژیکی، تحقیقاتی جهت جایگزینی مناسب شکر با سایر شیرین‌کننده‌ها در دست انجام است [۳]. شیره انگور یکی از فراورده‌های سنتی انگور است که از لحاظ تغذیه‌ای بسیار سودمند و حاوی ویتامین‌ها، املاح گوناگون و مقدار زیادی کربوهیدرات‌های ساده بوده و به‌عنوان یک شیرین‌کننده طبیعی و مفید در صنایع غذایی مطرح است [۴].

پایدارکننده‌ها با وجود این که در مقادیر کم در بستنی استفاده می‌شوند، خصوصیات عملکردی خاصی نظیر افزایش گرانروی، هوادهی و کنترل سرعت ذوب را در بستنی موجب می‌شوند. هدف عمده از کاربرد پایدارکننده در بستنی ایجاد نرمی در بافت، کاهش میزان یخی بودن و رشد بلور لاکتوز طی نگهداری به‌خصوص طی نوسانات دمایی و حفظ شکل بستنی در زمان ذوب شدن می‌باشد. همچنین

هیدروکلونید بالنگو شیرازی به روش محمد امینی و حداد خداپرست [۵] استخراج شد. اجزای تشکیل دهنده نمونه‌های مختلف بستنی در جدول ۱ نشان داده شده است.

## ۲-۲- روش

ابتدا میزان مواد اولیه هر فرمول توزین شده، سپس شیر، خامه و شیره انگور مخلوط و حرارت داده شد. پس از رسیدن به دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، اجزای جامد به آن اضافه و مخلوط

گردید و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۵ ثانیه پاستوریزه شد. پس از اتمام این مرحله مخلوط خیلی فوری به حمام آب و یخ انتقال داده شد تا به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس به مدت ۱۸ ساعت، جهت مرحله رسانیدن، در یخچال نگهداری شد. پس از مرحله رسانیدن، مخلوط در یک دستگاه بستنی‌ساز خانگی مرحله انجماد را سپری کرد و سرانجام نمونه‌ها جهت سفت شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

جدول (۱) درصد مقادیر ترکیبات تشکیل دهنده بستنی

اجزا	خامه	شیر	شکر	شیره انگور	صمغ	امولسیفایر	وانیل	شیرخشک بدون چربی	نوع صمغ	درصد چربی
۱	۱/۴	۷۶/۷	۰	۱۸	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۲/۵
۲	۲۰/۲۵	۵۷/۸۵	۹	۹	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۱۰
۳	۱/۴	۷۷/۱	۹	۹	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۲/۵
۴	۲۰/۳۵	۵۸/۱۵	۹	۹	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۱۰
۵	۵/۸۳	۷۲/۸۷	۱۸	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۵
۶	۲۰/۳	۵۸	۰	۱۸	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۱۰
۷	۲۰/۴	۵۸/۳	۰	۱۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۱۰
۸	۱/۴	۷۶/۷	۱۸	۰	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۲/۵
۹	۱۳/۱۱	۶۵/۵۹	۹	۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۷/۵
۱۰	۱۳/۱۱	۶۵/۵۹	۹	۹	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۷/۵
۱۱	۱۳	۶۵/۱	۰	۱۸	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۷/۵
۱۲	۵/۸	۷۲/۵	۱۸	۰	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۵

۱۳	۱۳/۱	۶۵/۴	۰	۱۸	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۷/۵
۱۴	۱/۴	۷۷/۱	۹	۹	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۲/۵
۱۵	۵/۷۸	۷۲/۳۲	۹	۹	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۵
۱۶	۲۰/۲۵	۵۷/۸۵	۱۸	۰	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۱۰
۱۷	۲۰/۳۵	۵۸/۱۵	۹	۹	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۳	کربوکسی متیل سلولز	۱۰
۱۸	۱/۴	۷۶/۹	۱۸	۰	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۲/۵
۱۹	۵/۸۳	۷۲/۸۷	۱۸	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳	بالنگو	۵

### ۲-۲-۱- تصویرگیری و پیش پردازش

از نمونه بستنی تولید شده، با استفاده از دوربین دیجیتال میکرو، دینولایت<sup>۱</sup>، تصویربرداری شد. جهت محاسبه پارامترهای تصویر پس از ۸ بیتی شدن تصاویر، با استفاده از نرم افزار ایمیج ج<sup>۲</sup>، میزان تمایز تصویر<sup>۳</sup> با شدت ۴ و به صورت نرمال تنظیم گردید. سپس از کاهش رنگ پس زمینه<sup>۴</sup> با شدت ۵۰ استفاده شد و دوباره عمل تنظیم تمایز با همان شدت صورت پذیرفت. سپس عمل آستانه‌گیری<sup>۵</sup> در کانال رنگی خاکستری با شدت ۱۱۰ انجام گرفت.

### ۲-۲-۲- قطر معادل حباب

پس از این که پیش پردازش روی تصاویر انجام پذیرفت با استفاده از آنالیز اجزای<sup>۶</sup> مساحت حباب‌ها محاسبه شد. از معادله ۱ جهت تبدیل مساحت حباب‌ها به قطر معادل، بر حسب پیکسل، استفاده شد [۱۰]:

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \text{area}} \quad (1)$$

که در این رابطه  $D_{eq}$  و area به ترتیب بیانگر قطر معادل و

1. Micro Capture
2. Image J
3. Enhance Contrast
4. Subtract Background
5. Threshold
6. Analyze Particle

مساحت حباب می‌باشد.

### ۲-۲-۳- بافت تصویر

یکی از تکنیک‌هایی که در آنالیز بافت بیشتر استفاده می‌شود، ماتریس هم‌زمانی سطح خاکستری<sup>۷</sup> است. قبل از ساختن ماتریس دو پارامتر  $\theta$ ، جهت جفت‌های پیکسلی و  $d$ ، فاصله بین جفت‌های پیکسلی، باید انتخاب شوند. جهت  $\theta$  یکی از چهار مقدار ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ بوده و فاصله بستگی به رزولوشن بافت دارد. به‌طور معمول،  $d$  طبق خواص ماده غذایی مورد مطالعه به‌دست می‌آید. زمانی که اطلاعات کافی از انتخاب فاصله مناسب وجود ندارد، مقدار یک یا گروهی از مقادیر مختلف به‌طور معمول، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماتریس از شمردن جفت‌های پیکسلی  $(y_1, x_1)$  و  $(y_2, x_2)$  با مقادیر خاکستری  $k$  و  $l$  در جهت  $\theta$  و فاصله  $d$  ساخته می‌شود [۱۱]. سپس ماتریس هم‌زمانی با معادله ذیل نرمال می‌شود:

$$P(k, l) = \frac{p(k, l)}{R} \quad (2)$$

$R$  تابع نرمال بوده که به‌طور معمول، به‌عنوان مجموع ماتریس تنظیم می‌شود. از معادله فوق چهارده مشخصه به‌دست می‌آید

7. Gray Level Co-occurrence Matrix

که یکی از مهم‌ترین مشخصه‌ها انتروپی می‌باشد:

$$ASM^1 = \sum_i \sum_j p(i,j)^2 \quad (3)$$

این پارامتر مبین میزان صافی یا یکنواختی سطح نمونه و معادل انرژی است [۱۱].

#### ۲-۲-۴- پارامترهای شکلی

پارامتر شکلی می‌تواند به اشکال مختلف بیان شود که یکی از پرکاربردترین آن‌ها میزان کرووی بودن می‌باشد. این فاکتور مقادیری بین ۰ تا ۱ دارد. هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر کرووی بودن می‌باشد. این فاکتور نیز پس از پردازش ابتدایی تصاویر توسط آنالیز اجزا محاسبه می‌شود. از معادله ذیل برای محاسبه میزان کرووی بودن استفاده می‌شود [۱۲]:

$$shape - factor = \frac{P_i^2}{4\pi A_i} \quad (4)$$

که  $P_i$  و  $A_i$  به ترتیب مساحت و محیط حباب  $i$  می‌باشند.

#### ۲-۲-۵- تخلخل

این پارامتر بر اساس میزان فضای خالی موجود در تصویر (حباب) نسبت به مساحت کل به دست می‌آید [۱۱].

#### ۲-۲-۶- طرح آزمایشی

به منظور مطالعه اثر سه سطح شکر (۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد)، چهار سطح چربی (۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد)، دو نوع هیدروکلوئید (بالنگو و کربوکسی متیل سلولز) و تاثیر مراحل رساندن و سخت کردن، از طرح آزمایشی D-optimal استفاده گردید. در این طرح لیستی از نقاط آزمایشی معتبر استفاده شد، به نحوی که بیشترین تعامد میان ستون‌های ماتریس طرح وجود داشت.

#### ۲-۲-۷- طرح آماری

آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ<sup>۲</sup> و با استفاده از نرم افزار Design Expert (نسخه ۸،۰۷،۱) انجام پذیرفت. همچنین آزمون مقایسه میانگین بین نمونه‌ها در سه شرایط بعد از رسانیدن، بعد از انجمادگذاری و بعد از سفت شدن با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۷) و روش ANOVA یک طرفه صورت پذیرفت.

#### ۳- نتایج و بحث

در این تحقیق از بسط تیلور درجه اول و دوم جهت مدل‌سازی داده‌های حاصل از پردازش تصویر استفاده شد و هر یک از پارامترهای تصویر یعنی قطر معادل، انتروپی، تخلخل و کرووی بودن، به وسیله مدل‌های ذکر شده شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد این دو مدل تمامی پارامترهای فوق را به صورت معنی‌داری برازش می‌کرد.

به طور معمول، برای نشان دادن میزان صحت مدل، از دو پارامتر آماری ضریب تبیین و آزمون عدم کفایت مدل استفاده می‌گردد که در این پژوهش نیز از این دو شاخص استفاده گردید؛ با توجه به جدول فوق شاخص ضریب تبیین برای تمامی مدل‌ها بیش‌تر از ۸۸ درصد بود که این نشان دهنده برازش مناسب مدل می‌باشد. همچنین آزمون عدم کفایت مدل به روی تمامی مدل‌های آماری فوق انجام شد و در تمامی حالات نتایج غیر معنی‌دار بود که این نیز نشان دهنده مناسب بودن مدل می‌باشد.

ضرایب مدل رگرسیونی برازش شده به روی صمغ کربوکسی متیل سلولز در جدول ۲ نشان داده شده است. به طور مثال معادله قطر معادل حباب برای صمغ کربوکسی متیل سلولز به وسیله مدل رگرسیونی ذیل قابل محاسبه است:

$$Y = 0.362 * B - 0.028 * A - 35.968 * C - 2.081 * 10^{-3} * A * B + 0.0363 * A * C + 0.0892 * B * C + 1.615 * 10^{-4} * A^2 - 0.0213 * B^2 + 25.678 * C^2 + 14.869$$

صمغ کربوکسی متیل سلولز به دلیل تاثیر زیادی که روی گرانروی بستنی دارد، بیش‌تر از سایر ترکیبات بر قطر معادل اثرگذار می‌باشد، در حالی که ترکیباتی نظیر شکر تاثیر جزئی تری بر این فاکتور دارند.

که  $Y$  و  $A, B, C$  به ترتیب مقدار شکر، چربی، صمغ و قطر معادل صمغ کربوکسی متیل سلولز در مرحله بعد از رسانیدن می‌باشد. طبق معادله فوق، صمغ، بیش‌ترین تاثیر را روی قطر معادل دارد.

جدول (۲) مقادیر پارامترهای تصویر در بستنی حاوی صمغ کربوکسی متیل سلولز در مرحله بعد از رسانیدن

پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انتروبی	تخلخل	کروی بودن
A	-0.028	$-2.983 \times 10^{-3}$	-0.16971	$+7.533 \times 10^{-4}$
B	+0.362	$+5.076 \times 10^{-3}$	+1.0207	$-3.800 \times 10^{-3}$
C	-35.968	-1.498	-93.910	+0.421
A*B	$-2.081 \times 10^{-3}$	$-4.120 \times 10^{-5}$	$+4.038 \times 10^{-5}$	$-1.973 \times 10^{-5}$
A*C	+0.0363	$+9.186 \times 10^{-4}$	+0.0958	$-2.975 \times 10^{-4}$
C*B	+0.0892	$-3.225 \times 10^{-4}$	-0.536	$+2.650 \times 10^{-3}$
A <sup>2</sup>	$+1.615 \times 10^{-4}$	$+2.207 \times 10^{-5}$	$+1.294 \times 10^{-3}$	$-6.499 \times 10^{-6}$
B <sup>2</sup>	-0.0213	$-2.536 \times 10^{-4}$	-0.0549	$+2.988 \times 10^{-4}$
C <sup>2</sup>	+25.678	+0.987	+73.887	-0.335
مقدار ثابت	+14.869	+1.030	+40.642	+0.761
R <sup>2</sup>	0.9532	0.9448	0.9266	0.8965
Lack of Fit	0.5794	0.9746	0.7979	0.8934

A= Sugar, B= Fat, C= Gum

جدول (۳) مقادیر پارامترهای تصویر در بستنی حاوی صمغ بالنگو در مرحله بعد از رسانیدن

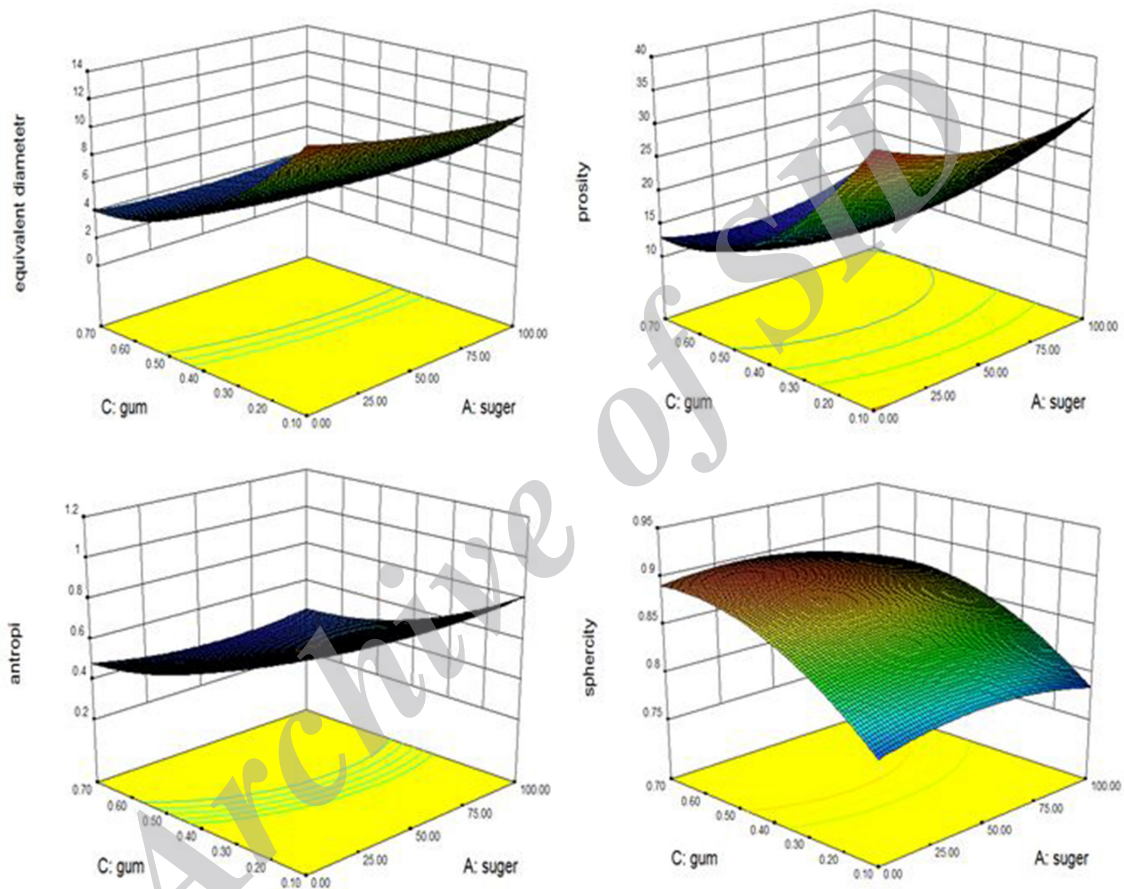
پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انتروبی	تخلخل	کروی بودن
A	$-1.213 \times 10^{-3}$	$-1.451 \times 10^{-3}$	-0.140	$+7.289 \times 10^{-4}$
B	+0.470	+0.0244	+1.443	$-7.945 \times 10^{-3}$
C	-31.362	-1.344	-82.212	+0.375
A*B	$-2.081 \times 10^{-3}$	$-4.120 \times 10^{-5}$	$+4.038 \times 10^{-5}$	$-1.973 \times 10^{-5}$
A*C	+0.0363	$+9.186 \times 10^{-4}$	+0.0958	$-2.976 \times 10^{-4}$
C*B	+0.0892	$-3.225 \times 10^{-4}$	-0.536	$+2.650 \times 10^{-3}$
A <sup>2</sup>	$+1.615 \times 10^{-4}$	$+2.208 \times 10^{-5}$	$+1.295 \times 10^{-3}$	$-6.498 \times 10^{-6}$
B <sup>2</sup>	-0.0213	$-2.537 \times 10^{-4}$	-0.0549	$+2.988 \times 10^{-4}$
C <sup>2</sup>	+25.678	+0.987	+73.887	-0.335
مقدار ثابت	+10.0328	+0.747	+40.643	+0.81950
R <sup>2</sup>	0.9532	0.9448	0.9266	0.8965
Lack of Fit	0.5794	0.9746	0.7979	0.8934

A= Sugar, B= Fat, C= Gum

با توجه به جدول ۳ شاخص ضریب تبیین برای تمامی مدل‌ها ضرایب مدل رگرسیونی برازش شده به روی بالنگو در جدول ۳ نشان داده شده است. به‌طور مثال معادله انتروپی برای صمغ بالنگو به‌وسیله مدل رگرسیونی ذیل قابل محاسبه است:

$$Y = +0.0244 * B - 1.451 * 10^{-3} * A - 1.344 * C - 4.120 * 10^{-5} * A * B + 9.186 * 10^{-4} * A * C - 3.225 * 10^{-4} * B * C + 2.208 * 10^{-5} * A^2 - 2.537 * 10^{-4} * B^2 + 0.987 * C^2 + 0.747$$

که A، B، C و Y به ترتیب مقدار شکر، چربی، صمغ و انتروپی صمغ بالنگو در مرحله بعد از رسانیدن می‌باشد.



شکل (۱) بررسی برهمکنش شکر و صمغ روی ویژگی‌های مختلف تصویر در مرحله بعد از رسانیدن (A= قطر معادل، B= انتروپی، C= تخلخل و D= کروی بودن)

باعث کاهش انتروپی شد. شکل C نیز روندی مشابه با شکل ۲ قبل داشت، اما در شکل D هر چه میزان صمغ افزایش یافت، میزان کروی بودن حباب‌ها نیز بیشتر شد و شکر نیز تاثیر معنی‌داری بر این فاکتور نداشت. پینزر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند با افزایش گرانیوی بستنی اندازه حباب‌ها کوچک‌تر شد که مشابه نتایج ما بود.

طبق نتایج به‌دست آمده میزان صمغ بیش‌ترین تاثیر را بر پارامترهای تصویر در مرحله بعد از رسانیدن داشت، در شکل ۱ برخی از برهمکنش‌های شکر و صمغ در مخلوط بستنی نشان داده شده است. به‌طور مثال طبق شکل A در مقدار شکر ثابت با افزایش مقدار صمغ، قطر معادل به صورت معنی‌داری کاهش یافت. طبق شکل B نیز تاثیر صمغ معنی‌دار بوده، افزایش آن

جدول (۴) مقادیر پارامترهای تصویر در بستنی حاوی صمغ کربوکسی متیل سلولز در مرحله بعد از انجمادگذاری

پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انترویی	تخلخل	کروی بودن
A	-0.026431	-2.12970*10 <sup>-3</sup>	-0.14222	-9.16404*10 <sup>-5</sup>
B	+0.50491	+0.021571	+1.08163	+2.00299*10 <sup>-3</sup>
C	-36.78510	-1.56524	-90.83496	+0.15755
A*B	-1.52550*10 <sup>-3</sup>	-8.20784*10 <sup>-5</sup>	-2.00643*10 <sup>-4</sup>	
A*C	+0.037354	+1.21624*10 <sup>-3</sup>	+0.075806	
C*B	+0.041667	+1.62064*10 <sup>-3</sup>	-0.33624	
A <sup>2</sup>	+1.36888*10 <sup>-4</sup>	+1.63737*10 <sup>-5</sup>	+1.17009*10 <sup>-3</sup>	
B <sup>2</sup>	-0.034363	-1.52122*10 <sup>-3</sup>	-0.075257	
C <sup>2</sup>	+27.32485	+0.96376	+70.66086	
مقدار ثابت	+14.05118	+0.98814	+38.97807	+0.79004
R <sup>2</sup>	0.9201	0.9644	0.9239	0.7077
Lack of Fit	0.8597	0.9092	0.7940	0.8117

A=Sugar, B= Fat, C= Gum

جدول (۵) مقادیر پارامترهای تصویر در بستنی حاوی صمغ بالنگو در مرحله بعد از انجمادگذاری

پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انترویی	تخلخل	کروی بودن
A	-6.31138*10 <sup>-3</sup>	-1.02527*10 <sup>-3</sup>	-0.12775	-9.16404*10 <sup>-5</sup>
B	+0.67659	+0.034640	+1.60170	+2.00299*10 <sup>-3</sup>
C	-32.52183	-1.36750	-80.82686	+0.15755
A*B	-1.52550*10 <sup>-3</sup>	-8.20784*10 <sup>-5</sup>	-2.00643*10 <sup>-4</sup>	
A*C	+0.037354	+1.21624*10 <sup>-3</sup>	+0.075806	
C*B	+0.041667	+1.62064*10 <sup>-3</sup>	-0.33624	
A <sup>2</sup>	+1.36888*10 <sup>-4</sup>	+1.63737*10 <sup>-5</sup>	+1.17009*10 <sup>-3</sup>	
B <sup>2</sup>	-0.034363	-1.52122*10 <sup>-3</sup>	-0.075257	
C <sup>2</sup>	+27.32485	+0.96376	+70.66086	
مقدار ثابت	+9.42491	+0.74257	+29.47965	+0.80750
R <sup>2</sup>	0.9201	0.9644	0.9239	0.7077
Lack of Fit	0.8597	0.9092	0.7940	0.8117

A=Sugar, B= Fat, C= Gum

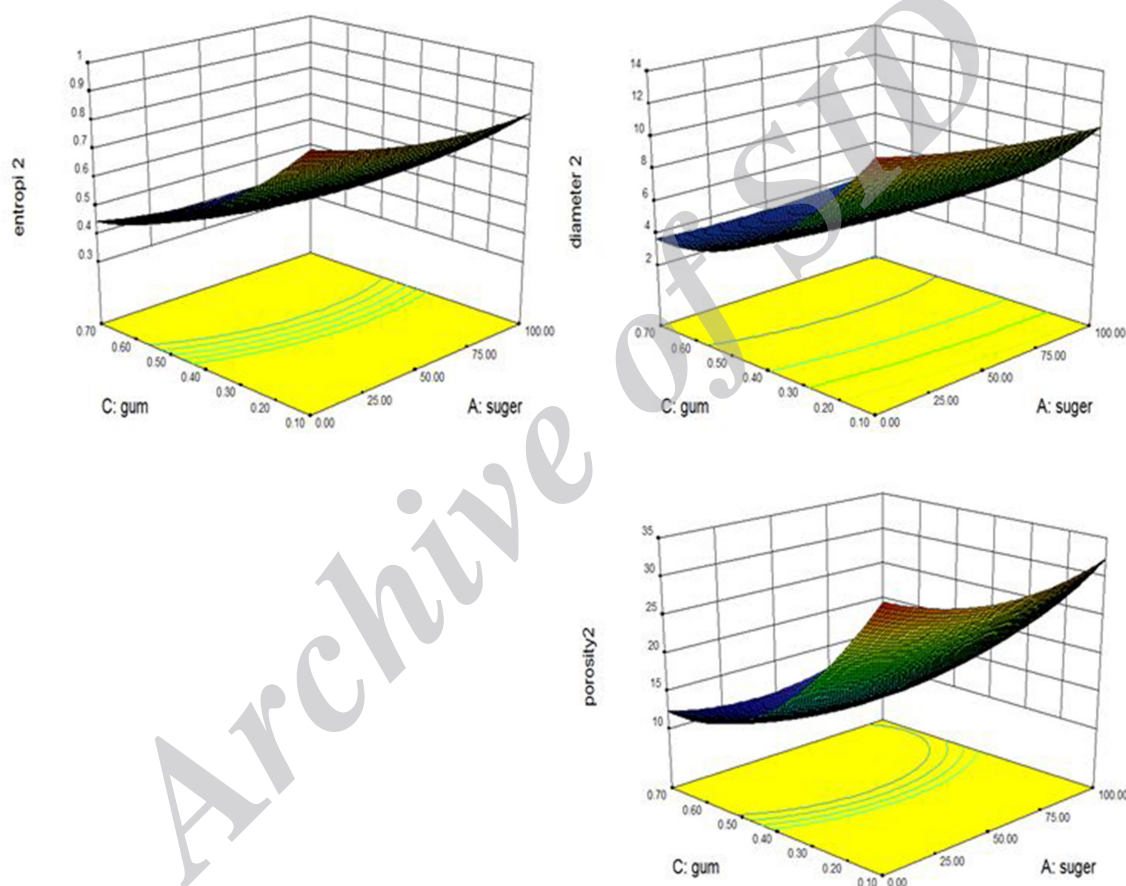


با توجه به جداول ۴ و ۵، شاخص ضریب تبیین برای ضرایب مدل رگرسیونی برازش شده به روی صمغ کربوکسی تمامی مدل‌ها بیش‌تر از ۷۰ درصد بود، همچنین آزمون عدم کفایت مدل روی تمامی مدل‌های آماری در تمامی حالات غیر معنی‌دار بود.

رگرسیونی ذیل در مرحله بعد از انجماد شبیه‌سازی گردید:

$$Y = +1.60170B - 0.12775A - 80.82686C - 2.00643 \cdot 10^{-4} A \cdot B + 0.075806 A \cdot C - 0.33624 B \cdot C + 1.17009 \cdot 10^{-3} A^2 - 0.075257 B^2 + 70.66086 C^2 + 29.47965$$

که A، B، C و Y به ترتیب مقدار شکر، چربی، صمغ و تخلخل صمغ بالنگو در مرحله بعد از انجمادگذاری می‌باشد.



شکل (۲) بررسی برهمکنش شکر و صمغ روی ویژگی‌های مختلف تصویر در مرحله بعد از انجمادگذاری (A= قطر معادل، B= انتروپی و C= تخلخل)

در شکل ۲ بر همکنش پارامترهایی شکر و صمغ در مرحله بعد از انجمادگذاری‌ساز نشان داده شده است. در شکل A در غلظت ثابت شکر با افزایش غلظت صمغ قطر معادل حباب به صورت معنی‌داری کاهش یافت، اما شکر اثر معنی‌داری بر آن نداشت در شکل B و C نیز نتایج مشابه بود. به عنوان مثال در شکل C با افزایش میزان صمغ، به دلیل افزایش گرانیوی و در نتیجه کاهش میزان ورود هوا به درون مخلوط تخلخل به صورت معنی‌داری کاهش یافت، ولی با افزایش شکر تغییر معنی‌داری نکرد.

جدول (۶) پارامترهای آماری نشان دهنده مدل کربوکسی متیل سلولز در مرحله پس از سفت شدن بستنی

پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انتروبی	تخلخل	کروی بودن
A	-0.048665	-6.13997*10 <sup>-5</sup>	-0.19715	+2.36662*10 <sup>-3</sup>
B	+0.16189	+4.12046*10 <sup>-3</sup>	+0.54428	+0.029062
C	-36.54995	-0.55107	-99.18863	+0.64370
A*B	-1.57962*10 <sup>-3</sup>		-3.84023*10 <sup>-4</sup>	-1.10695*10 <sup>-4</sup>
A*C	+0.044126		+0.096033	-1.06152*10 <sup>-3</sup>
C*B	-0.018552		-0.87407	-0.013279
A <sup>2</sup>	+2.67352*10 <sup>-4</sup>		+1.51477*10 <sup>-3</sup>	-1.42522*10 <sup>-5</sup>
B <sup>2</sup>	+6.76042*10 <sup>-4</sup>		+3.46649*10 <sup>-3</sup>	-1.83020*10 <sup>-3</sup>
C <sup>2</sup>	+26.53557		+80.29085	-0.51994
مقدار ثابت	+15.71246	+0.86399	+44.62118	+0.57423
R <sup>2</sup>	0.9222	0.8038	0.9121	0.7201
Lack of Fit	0.8987	0.7499	0.8681	0.3616

A=Sugar, B= Fat, C= Gum

جدول (۷) پارامترهای آماری نشان دهنده مدل بالنگو در مرحله پس از سفت شدن بستنی

پارامترهای تصویر	قطر معادل حباب	انتروبی	تخلخل	کروی بودن
A	-0.016500	-6.13997*10 <sup>-5</sup>	-0.14121	+1.89446*10 <sup>-3</sup>
B	+0.23315	+4.12046*10 <sup>-3</sup>	+0.89767	+0.027291
C	-32.22875	-0.55107	-84.70969	+0.58303
A*B	-1.57962*10 <sup>-3</sup>		-3.84023*10 <sup>-4</sup>	-1.10695*10 <sup>-4</sup>
A*C	+0.044126		+0.096033	-1.06152*10 <sup>-3</sup>
C*B	-0.018552		-0.87407	-0.013279
A <sup>2</sup>	+2.67352*10 <sup>-4</sup>		+1.51477*10 <sup>-3</sup>	-1.42522*10 <sup>-5</sup>
B <sup>2</sup>	+6.76042*10 <sup>-4</sup>		+3.46649*10 <sup>-3</sup>	-1.83020*10 <sup>-3</sup>
C <sup>2</sup>	+26.53557		+80.29085	-0.51994
مقدار ثابت	+11.28499	+0.85029	+31.85112	+0.66120
R <sup>2</sup>	0.9222	0.8038	0.9121	0.7201
Lack of Fit	0.8987	0.7499	0.8681	0.3616

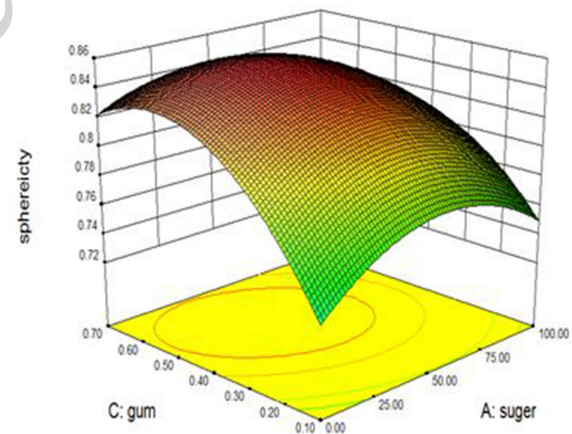
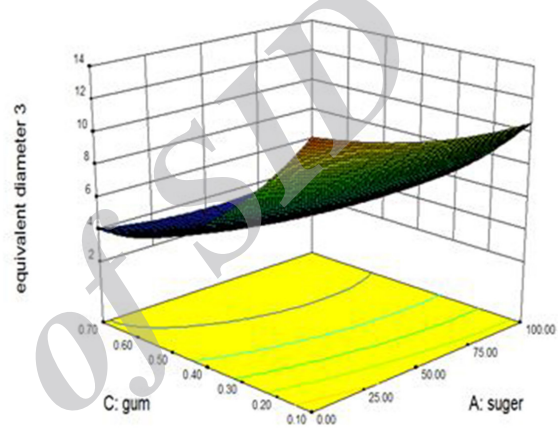
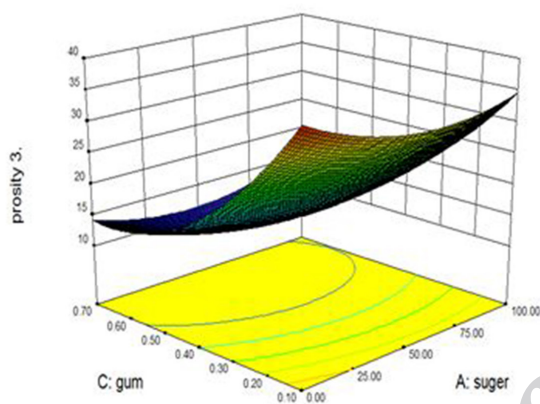
A=Sugar, B= Fat, C= Gum

با توجه به جدول ۶ و ۷ شاخص ضریب تبیین برای تمامی مدل‌ها بیش‌تر از ۷۲ درصد بود، هم‌چنین آزمون عدم کفایت مدل روی تمامی مدل‌های آماری در تمامی حالات غیر معنی‌دار بود.

ضرایب مدل رگرسیونی برازش شده به روی صمغ کربوکسی متیل سلولز و بالنگو به ترتیب در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. به‌طور مثال معادله کروی بودن برای صمغ بالنگو به‌وسیله مدل رگرسیونی ذیل در مرحله بعد از سفت شدن محاسبه گردید:

$$Y = +0.027291B + 1.89446 \cdot 10^{-3}A + 0.58303C - 1.10695 \cdot 10^{-4}A \cdot B - 1.06152 \cdot 10^{-3}A \cdot C - 0.013279B \cdot C - 1.42522 \cdot 10^{-5}A^2 - 1.83020 \cdot 10^{-3}B^2 - 0.51994C^2 + 0.66120$$

که A، B، C و Y به ترتیب مقدار شکر، چربی، صمغ و میزان کروییت حباب در صمغ بالنگو طی مرحله بعد از سفت شدن می‌باشد.



شکل (۳) بررسی برهمکنش شکر و صمغ روی ویژگی‌های مختلف تصویر در مرحله پس از سفت شدن (A= قطر معادل، B=انترویی و C= کروی بودن)

طبق شکل A و B، با افزایش غلظت صمغ میزان پارامترهای قطر معادل و تخلخل به صورت معنی‌داری کاهش یافت، اما شکل C با افزایش مقدار غلظت صمغ میزان کروی افزایش یافت. پارامترهای تصویر طی مراحل مختلف تولید تغییر نمود. پس از مرحله سردخانه‌گذاری اندازه حباب، تخلخل و انترویی کاهش و میزان کروی بودن نمونه افزایش یافت، اما این تغییرات معنی‌دار نبود. چانگ و هارتل [۱۳]، اثر شرایط فرایند تولید بستنی یعنی انجمادگذاری، غیرانجمادگذاری و

## منابع

[1] Karaca, O.B., Guven, M., Yasar, K., Kaya, S., Kahyaoglu, T. (2009). The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers, *Int. J. Dairy Technol.*, 62, 93-99.

[2] Pinzer, B.R.A., Medebach, H.J., Limbach, C., Dubois, M., Stampanoni and Schneebeli, M. (2012). 3D-characterization of three-phase systems using X-ray tomography: tracking the microstructural evolution in ice cream, *The Royal Society of Chemistry*, 8, 4584-4594.

[۳] گوهری اردبیلی، ا.؛ حبیبی نجفی، م. ب.؛ حداد خداپرست، م. ح. (۱۳۸۴) بررسی تاثیر جایگزینی شکر با شیره خرما بر ویژگی‌های فیزیکی و حسی بستنی نرم، *پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی*، سال اول، شماره دوم، ص ۳۲-۳۳.

[۴] مقامی کیا، ح.؛ احمدزاده قویدل، ر. (۱۳۹۰) مروری بر فناوری، ارزش تغذیه‌ای و کاربردهای شیره انگور، *همایش ملی صنایع غذایی*، ص ۸-۱.

[5] Mohammad Amini, A., HadadKhodaparast, M.H. (2007). Modeling and optimization of mucilage extraction from *Lallemantiaroyleana*: A response surface-genetic algorithm approach. EFFoST/EHEDG Joint Conference, Lisbon, Portugal.

[6] Bolliger, S., Wildmoser, H., Goff, H.D., Thrap, B.W. (2000). Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream. *Int. Dairy J.*, 10, 791-797.

[7] Camacho, M.M., Martinez-Navarrete, N., Chiralt, A. (2001). Stability of whipped dairy creams containing locust bean gum/ $\lambda$ -carageenan mixtures during freezing-thawing processes. *Food Res. Int.*, 34, 887-894.

[8] Glicksman, M. (1982). *Food Hydrocolloids*, Vol 1., CRC Public, Boca Raton, Florida, pp 4-21.

[۹] بهرام پرور، م.؛ حداد خداپرست، م. ح.؛ محمد امینی، ا.

انجمادگذاری نسبی و نیز فرمولاسیون، میزان پلی‌ساکارید و چربی، را بر سلول‌های هوا بررسی کردند. در این پژوهش، اندازه سلول هوا طی زمان انجماد کاهش یافت. زدن، بدون انجماد، اثری بر اندازه حباب نداشت. انجمادگذاری جهت پایدارسازی سلول هوا لازم می‌باشد. میزان چربی و امولسیفایر تاثیری روی اندازه حباب نداشت، اما افزودن پایدارکننده باعث کاهش اندازه حباب شد. مرحله سفت‌شدن اثر معنی‌داری بر پارامترهای تصویر داشت و باعث کاهش میزان کروی شدن و افزایش قطر معادل حباب، انترویی، تخلخل و بافت تصویر شد [۱۴]. چانگ و هارتل (۲۰۰۲)، مشاهده کردند در دمای حدود ۱۸- درجه سانتی‌گراد اندازه حباب افزایش یافت. آن‌ها همچنین نشان دادند که نگهداری بستنی در دمای ۲۸- درجه سانتی‌گراد به دلیل انجماد غیر یکنواخت ماتریس محاصره‌کننده باعث تغییر شکل حباب‌ها شد. نتایج این پژوهش نیز مشابه پژوهش‌های پیشین بود.

## ۴- نتیجه‌گیری

مراحل مختلف فرایند تولید، بر ویژگی‌های تصویر اثرگذار بودند. انجمادگذاری باعث کاهش انترویی، تخلخل، قطر معادل و افزایش کرویت حباب شد که این تغییرات معنی‌دار نبود. در مرحله انجمادگذاری به دلیل این که مخلوط بستنی به سرعت منجمد گردید، ساختار منظم‌تر و در نتیجه انترویی کاهش یافت و این ساختار منجمد به نوعی باعث پایداری نسبی بستنی و کاهش قطر معادل شد. البته این تغییرات معنی‌دار نبود. در حالی که مرحله سفت‌شدن تغییرات معنی‌داری در ساختار ریزساختار بستنی ایجاد کرد. در مرحله سفت‌شدن به مدت ۲۴ ساعت، مکانیسم‌های ناپایدارکننده حباب باعث تغییر ویژگی‌های تصویر شد به طوری که با اتصال حباب‌ها به یکدیگر اندازه و در نتیجه قطر معادل آن و نیز تخلخل افزایش یافت. این افزایش تخلخل نیز باعث افزایش بی‌نظمی در بستنی شد و در نتیجه انترویی هم زیاد شد. با اتصال حباب‌ها به یکدیگر از کرویت آن‌ها کاسته شد.

( ۱۳۸۷ ) بررسی تاثیر جایگزینی مقادیر مختلف صمغ‌های کربوکسی متیل سلولز و ثعلب با صمغ دانه بالنگو شیرازی بر خصوصیات بستنی سخت خامه ای، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی/ایران، جلد ۴، ص ۳۷-۴۷.

[10] Germain J.C., Aguilera, J.M. (2012). Identifying industrial food foam structures by 2D surface image analysis and pattern recognition, *J. Food Eng.*, 111, 440-448.

[۱۱] شهیدی، ف.؛ محبی، م.؛ احتیاطی، ا. (۱۳۸۹) تحلیل تصاویر رقمی مغز نان بربری غنی شده با آرد سویا، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی/ایران، جلد ۶، ص ۲۴۷-۲۵۳.

[12] Romano, A, Cavella, S., Toraldo, G., Masi, P. (2013). 2D structural imaging study of bubble evolution during leavening. *Food Res. Int.*, 50, 324-329.

[13] Chang, Y., Hartel, R.W. (2002). Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. *J. Food Eng.*, 55, 59-70.

[14] Chang, Y., Hartel, R.W. (2001). Development of air cells in a batch ice cream freezer. *J. Food Eng.*, 55, 59-70.

Archive of SID