



بهینه‌سازی فرمولاسیون دسر هوادار حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی خواص رئولوژیکی و بافتی آن

سارا پارسه^۱، محبت محبی^{۲*}، تکتیم محمدی‌مقدم^۳، حسن صباغی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

* نویسنده مسئول (m-mohebbi@um.ac.ir)

۳- استادیار، گروه علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشکده علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

۴- پژوهشگر پسادکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

دسر هوادار نوعی دسر بر پایه سیستم کف است که حضور هوا در آن باعث تغییر خواص رئولوژیکی، حسی و ظاهری می‌شود. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی دسر هوادار با استفاده از تکنیک سطح پاسخ و ارزیابی خواص رئولوژیکی آن به‌عنوان تابعی از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (۲، ۵، ۸ درصد)، صمغ زانتان (۱۰، ۲۵، ۴۰ درصد) و زمان هم‌زدن (۲، ۵ و ۸ دقیقه) بود. نتایج نشان داد افزایش پروتئین و زمان هم‌زدن باعث کاهش دانسیته و افزایش اورران شد. افزایش غلظت صمغ زانتان باعث افزایش دانسیته و کاهش اورران گردید. شرایط بهینه جهت تولید کف دسر هوادار با کمترین میزان دانسیته و بالاترین میزان اورران در غلظت صمغ زانتان ۰/۱ درصد (سطح پایین)، مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر ۸ درصد (سطح بالا) و زمان هم‌زدن ۸ دقیقه (سطح بالا) تعیین شد. مدل پاورلا با داشتن $R^2 > 0/99$ و RMSE پایین (۰/۰۱) به‌عنوان بهترین مدل جهت توصیف رفتار جریان دسر هوادار شناخته شد. افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش ضریب قوام در دسر هوادار شد ($P < 0/05$). همچنین با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام افزایش یافت. تولید دسر هوادار علاوه بر تولید یک محصول جدید، باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف‌کننده‌ها و افزایش سودآوری تولیدکننده شده و می‌تواند کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۰۱

واژه‌های کلیدی

دسر هوادار
صمغ زانتان
کنسانتره پروتئین آب‌پنیر
خواص رئولوژیکی
خواص بافتی

مقدمه

تخم‌مرغ، ژلاتین و ایجاد طعم توسط میوه، شکلات و سایر افزودنی‌ها مانند وانیل تهیه می‌گردد (Rao, 2010). حضور هوا در دسر، باعث کاهش دانسیته محصول، تغییر خواص رئولوژیکی محصول و در نتیجه تغییر احساس دهانی، افزایش درک مزه به دلیل افزایش سطح، بهبود

دسر هوادار نوعی دسر بر پایه سیستم کف است و معمولاً به دسرهای سرد لبنی گفته می‌شود که مهم‌ترین ویژگی آنها داشتن ساختار متخلخل می‌باشد. این دسر معمولاً با افزودن سفیده تخم‌مرغ، خامه و همچنین استفاده از زرده

اندازهٔ حباب‌ها سطح تماس فیلم حباب‌ها بیشتر می‌شود و این فیلم‌ها آسان‌تر گسیخته می‌شوند در نتیجه تثبیت کامل کف‌ها در برابر تسهیم نامتناسب و زهکشی مایع دشوار است (Drenckhan & Barik & Roy, 2009)؛ (Langevin, 2010; Niranjana & Silva, 2008).

صمغ‌ها ترکیباتی پلی‌ساکاریدی با وزن مولکولی بالایی هستند که برای پایداری سیستم‌های کفی و امولسیون‌ها استفاده می‌شوند. صمغ‌ها از طریق افزایش ویسکوزیتهٔ فاز آبی، از تحرک و به هم پیوستن حباب‌های هوا ممانعت به عمل می‌آورند و با تقویت دیوارهٔ حباب، پایداری کف را افزایش می‌دهند (Papalamprou, Makri, Kiosseoglou, & Doxastakis, 2005).

صمغ زانتان^۶ (XG) پلی‌ساکارید میکروبی است که توسط انواع زانتوموناس^۷ تولید می‌شود. زانتان از واحدهای تکراری پنج‌تایی شامل گلوکز^۸، مانوز^۹، گلوکورنیک اسید^{۱۰}، پیروویک اسید^{۱۱} و استیل^{۱۲} تشکیل شده است (Kurbanoglu & Kurbanoglu, 2007). صمغ زانتان در بسیاری صنایع به‌ویژه صنعت غذا کاربرد متنوعی دارد. این صمغ فیلم‌های منعطف چسبناکی ایجاد می‌کند، به پایداری کف‌ها و امولسیون‌ها کمک می‌نماید و بنابراین به‌عنوان پایدارکننده و تقویت‌کنندهٔ ساختار کف در محصولات غذایی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. صمغ‌های خطی مانند زانتان در مقایسه با انواع انشعابی نظیر صمغ عربی؛ موجب افزایش بیشتر ویسکوزیته می‌شوند و تمایل به تشکیل سریع فیلم دارند (Kumar, Rao, & Han, 2018).

مطالعه‌های مربوط به بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ و بررسی اثر کنسانترهٔ پروتئین آب‌پنیر بر خواص فیزیکی و رئولوژیکی دسرهای هوادار محدود است، در حالی که این روش برای طیف وسیعی از محصولات استفاده شده است. (Salahi, Mohebbi, & Taghizadeh, 2015) (۲۰۱۵) با بررسی اثر آلومین، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن بر کف طالبی بیان کردند افزایش آلومین و زمان هم‌زدن موجب کاهش دانسیته شد و با افزایش صمغ زانتان دانسیته و

هضم، سهولت در جویدن غذا و بهبود دریافت عطر و طعم و در نهایت کاهش کالری‌زایی می‌شود. همچنین تولید فراورده‌های جدید حاوی هوا در صنایع غذایی، بازدهی اقتصادی را بهبود می‌بخشد. به همین دلیل تولید کف به فرایندی مهم در صنعت غذا تبدیل شده است (Zimbru, Pădureț, & Amariei, 2020).

کف دیسپرسیونی است که در آن فاز گازی در فاز پیوسته (مایع یا جامد) پراکنده شده است و شکل‌گیری آن نیازمند حضور عوامل فعال سطحی^۱ است. پروتئین‌ها به دلیل توانایی جذب در سطوح بینابینی هوا-مایع و کاهش کشش بین سطحی به‌عنوان عوامل کف‌زا شناخته می‌شوند. به‌طور کلی عملکرد اصلی پروتئین‌ها در تشکیل کف شامل کاهش کشش سطحی، افزایش خواص ویسکوالاستیک و الاستیکی فاز مایع و تشکیل فیلم‌های قوی است. پروتئین‌های شیر نمونه‌ای از پروتئین‌های غذایی هستند که به دلیل قابلیت کف‌زایی و امولسیفایری کاربرد گسترده‌ای در مواد غذایی دارند (Nicorescu et al., 2011).

کنسانترهٔ پروتئین آب‌پنیر^۲ (WPC) یکی از محصولات پروتئین شیر است و ساختار اصلی این پروتئین، متشکل از ۷۰ درصد بتا-لاکتوگلوبولین، آلفا-لاکتالبومین و آلومین سرم گاو است. پروتئین‌های آب‌پنیر به دلیل خواص عملکردی همچون حلالیت در آب، ویسکوزیته، ژل‌شوندگی^۳، امولسیون‌کنندگی، کف‌زایی و تأثیر آنها بر رنگ، طعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای محصولات، در صنعت غذا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Perez, Martinez, Carrera Sanchez, & Patino, 2017).

کف‌ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار هستند، زیرا انرژی سطحی بالایی در سطح مشترک هوا-مایع دارند (Muthukumar, Ratti, & Raghavan, 2008). زهکشی^۴ و خروج مایع از کف به دلیل وجود خاصیت موئینگی^۵ و یا وجود نیروهای خارجی نظیر جاذبه باعث ناپایداری کف می‌شود. در نهایت حباب‌ها از شکل کروی به چندوجهی تغییر شکل می‌دهند، گاز از حباب‌های کوچک‌تر به بزرگ‌تر انتشار می‌یابد. با این حال، با افزایش

⁶ Xanthan gum

⁷ Xanthomonas

⁸ Glucose

⁹ Mannose

¹⁰ Glucuronic acid

¹¹ Pyruvic acid

¹² Acetyl

¹ Surface active agent

² Whey protein concentrate

³ Shear thinning

⁴ Drainage

⁵ Capillarity

آماده‌سازی محلول هیدروکلوئید

براساس نتایج حاصل از پیش‌آزمون‌ها، مقادیر لازم از پودر صمغ زانتان با مخلوط‌کردن توسط همزن مغناطیسی، به آب مقطر اضافه شد. پس از آن محلول صمغ به مدت ۲۴ ساعت جهت هیدراتاسیون کامل مولکول‌های صمغ در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. محلول صمغ زانتان در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۴ درصد (وزنی-حجمی) برای ایجاد نمونه‌های دسر هوادار تهیه گردید.

مخلوط‌کردن مواد مصرفی

شکر (۱۰ درصد)، وانیل (۰/۱ درصد)، محلول ژلاتین ۰/۲ درصد (۵ درصد)، محلول صمغ زانتان (۴۰ درصد) و شیر (۹۰/۴۲ درصد) به‌طور یکسان به تمام نمونه‌ها افزوده شد. همچنین کنسانتره پروتئین آب‌پنیر با مقادیر ۲، ۵ و ۸ درصد به فرمولاسیون نمونه‌ها اضافه گردید. مقدار شیر به‌کاررفته با توجه به حجم نهایی نمونه‌ها تعیین شد. تمامی مواد جامد بعد از توزین با هم مخلوط شدند، سپس مواد مایع بعد از رسیدن به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مخلوط مواد جامد اضافه شد و در نهایت نمونه‌ها توسط همزن خانگی (مدل W-222، 240 GHM، ساخت چین) به مدت زمان ۲، ۵ و ۸ دقیقه مخلوط و هم‌زده شدند.

پاستوریزه‌کردن

نمونه محصول به‌منظور پاستوریزه‌کردن و افزایش زمان ماندگاری در حمام آب گرم در دمای ۶۹ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد (Ohmes, Marshall, & Heymann, 1998).

بسته‌بندی و انجماد

به‌منظور رسیدن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. دسر پس از خروج از یخچال توسط همزن خانگی به مدت ۱۲۰ ثانیه هم‌زده شد. در نهایت نمونه‌ها در داخل ظرف درب‌دار بسته‌بندی و جهت انجماد در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در فریزر قرار داده شدند (Rao, 2010).

آزمون‌ها

پایداری افزایش یافت (Akalm, Karagözlü, & Ünal, 2008). (O'Chiu & Vardhanabhuti, 2017) بیان کردند افزایش پروتئین به دلیل افزایش ویسکوزیته، موجب کاهش میزان اورران ژل لبنی هوادهی شده شد. (Akalm et al., 2008) در بررسی اثر غلظت پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های مختلف بستنی مشاهده کردند که با افزایش میزان پروتئین آب‌پنیر به فرمولاسیون بستنی ویسکوزیته، ضریب قوام و به‌دنبال آن مقاومت به ذوب به‌صورت چشم‌گیری افزایش نمود ولی درصد اورران کاهش یافت. (Alfaro Mohr, 2008) با بررسی اثر مقادیر مختلف WPC و pH بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژل‌های هوادار مشاهده کردند که با افزایش پروتئین و pH به‌ترتیب ویسکوزیته افزایش و کاهش یافت. همچنین با افزایش پروتئین و pH، دانسیته به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت. (میرعرب‌رضی، ۱۳۹۳) اثر مقادیر مختلف ژلاتین و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی نمونه‌های دسر موس شکلاتی را بررسی کردند افزایش مقدار ژلاتین و پروتئین، موجب افزایش ویسکوزیته، ضریب قوام و کاهش شاخص رفتار جریان شد. همچنین با افزایش پروتئین دانسیته و اورران به‌ترتیب کاهش و افزایش یافت (Rao, 2010).

تولید دسر هوادار علاوه بر تولید یک محصول جدید، باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف‌کننده‌ها و افزایش سودآوری برای تولیدکننده شده و می‌تواند کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی دسر هوادار وانیلی با استفاده از تکنیک سطح پاسخ و ارزیابی خواص رئولوژیکی آن به‌عنوان تابعی از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (۲، ۵ و ۸ درصد)، صمغ زانتان (۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۴ درصد) و زمان هم‌زدن (۲، ۵ و ۸ دقیقه) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

کنسانتره آب‌پنیر (WPC80) از شرکت سیگما (ساخت آلمان) و صمغ زانتان از شرکت میلی (ساخت آلمان)، شیر استرلیزه و هموژنیزه (۱/۵ درصد چربی)، پودر ژلاتین (نوع B)، شکر و وانیل از فروشگاه‌های محلی خریداری شد.

تهیه دسر هوادار

برازش مدل‌های رئولوژیکی از نرم افزار متلب^۵ نسخه ۲۰۱۱a استفاده گردید.

رابطه (۲)

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \gamma^{nH}$$

رابطه (۳)

$$\tau = K(\gamma)^n$$

در رابطه (۲) و (۳)، τ نشان‌دهنده تنش برشی (پاسکال)، γ سرعت برشی (۱ بر ثانیه)، τ_0 تنش تسلیم (پاسکال)، k ضریب قوام (پاسکال در ثانیه) و n شاخص رفتار جریان است.

خصوصیات بافتی

خصوصیات بافتی نمونه‌ها بلافاصله بعد از خروج از فریزر توسط دستگاه آنالیز بافت (Texture analyzer LLOYD Instruments، ساخت انگلستان) و آزمون نفوذ^۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از پروب استوانه‌ای به قطر ۶ میلی‌متر برای نفوذ به عمق ۱۵ میلی‌متر نمونه‌ها و با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه استفاده شد. پارامترهای سختی^۷ (حداکثر نیرو طی مرحله بارگذاری (گرم))، نیروی چسبندگی^۸ (حداکثر نیرو طی مرحله باربرداری (گرم))، ضریب قوام^۹ (سطح زیر منحنی تا رسیدن به تغییر شکل هدف (گرم در ثانیه)) از منحنی نیرو-زمان استخراج شدند (Akalm et al., 2008).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح آزمایشی، آنالیز نتایج و تعیین شرایط بهینه تولید دسر هوادار با استفاده از روش سطح-پاسخ و نرم افزار Design Expert نسخه ۱۰ انجام گرفت. در این پژوهش، از طرح مرکب مرکزی^{۱۰} متمرکز شده (FCCD) با سه متغیر مستقل در سه سطح و ۶ تکرار در نقطه مرکزی طرح استفاده شد؛ به طوری که مجموع کل تیمارها ۲۰ عدد بود. متغیرهای مستقل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن بود. همچنین متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها) شامل دانسیته کف و اورران بودند. این طرح آزمایشی شامل سه سطح فاکتور کدبندی بود؛ سطح پایین هر

به منظور تعیین شرایط بهینه برای تولید دسر هوادار، دو ویژگی شامل دانسیته و اورران نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

دانسیته کف

بدین منظور دانسیته کف با استفاده از استوانه مدرج و توزین ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه کف در دمای محیط (۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. در نهایت دانسیته کف دسر هوادار وانیلی به صورت نسبت جرم به حجم با واحد (گرم بر سانتی‌مترمکعب) بیان گردید.

اورران

اورران از طریق توزین حجم مشخصی از دسر قبل و بعد از مرحله هوادهی و تعیین درصد اختلاف آنها براساس رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$100 \times \frac{\text{وزن نمونه بعد هوادهی} - \text{وزن نمونه قبل هوادهی}}{\text{وزن نمونه قبل هوادهی}} = \text{اورران}$$

خصوصیات رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model Visco 88، Bohlin instruments، ساخت انگلستان) مجهز به سیرکولاتور حرارتی Julabo Model F12-MC، Julabo، ساخت آلمان) بررسی شد. با توجه به ویسکوزیته نمونه‌ها، از اسپیندل باب و کاپ (C₃₀) جهت انجام آزمون‌ها استفاده شد. برای هر آزمون حجم مناسبی از هر نمونه به درون کاپ منتقل گردید و نمونه‌ها جهت رسیدن به ثبات حرارتی به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شدند. سپس به نمونه‌ها سرعت برشی به صورت لگاریتمی در دامنه ۶۰۰-۱۴ (۱ بر ثانیه) اعمال گردید. به منظور بررسی رفتار جریان دسر هوادار و توصیف داده‌های رئولوژیکی آن از مدل‌های متداول جریان مستقل از زمان شامل هرشل بالکی^۲ رابطه (۲)، پاورلا^۳ رابطه (۳) استفاده شد. با استفاده از آنالیز آماری، مناسب‌ترین مدل ریاضی براساس شاخص‌های ضریب تبیین (R²) و میانگین مجذورات خطا^۴ (RSME) انجام شد. همچنین جهت

⁵ Matlab

⁶ Penetration test

⁷ Hardness

⁸ Adhesiveness force

⁹ Consistency

¹⁰ Face-centered central composite design

¹ DIN 53019 coaxial cylinders- 30 mm diameter

² Herschel bulkley

³ Power law

⁴ Root mean square error

فاکتور (۱-) به‌عنوان کمینه، سطح میانی هر فاکتور با (۰) و سطح بالای هر فاکتور به‌عنوان بیشینه و به‌صورت (۱+) مشخص شد. محدوده آزمایش‌ها بر پایه نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌تیمارها انتخاب شد که براساس **جدول (۱)** مقادیر صمغ زانتان (۰/۴-۰/۱ درصد)، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (۲-۸ درصد) و زمان هم‌زدن^۱ (WT) (۲-۸ دقیقه) تعیین گردید.

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل

کد و سطوح مربوطه			نماد	متغیرهای مستقل
+	۰	-		
۸	۵	۲	X _۱	کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)
۰/۴	۰/۲۵	۰/۱	X _۲	صمغ زانتان (درصد)
۸	۵	۲	X _۳	زمان هم‌زدن (دقیقه)

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کف

نتایج به‌دست‌آمده از طرح آزمایشی مورد استفاده به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف دسر هوادار وانیلی در **جدول (۲)** ارائه شده است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل واریانس، مدل چندجمله‌ای درجه دوم به‌عنوان بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (۲-۸ درصد)، غلظت صمغ زانتان (۰/۴-۰/۱ درصد) و زمان هم‌زدن (۲-۸ دقیقه) بر خصوصیات دانسیته و اورران پیشنهاد گردید. خلاصه نتایج تجزیه مدل‌ها جهت انتخاب مناسب‌ترین مدل برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده در **جدول (۳)** آورده شده است.

^۱ Whipping time

جدول ۲- نتایج طرح آزمایشی مورد استفاده به منظور بهینه سازی شرایط تولید کف دسر هوادار

ردیف	متغیرهای مستقل		متغیرهای وابسته	
	کنسانتره پروتئین آب پنیر (درصد)	صمغ زانتان (درصد)	زمان هم زدن (دقیقه)	دانسیته (گرم بر سانتی متر مکعب)
۱	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۸۶±۰/۰۱
۲	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۹۴±۰/۰۲
۳	۲(-۱)	۰/۴ (+۱)	۲ (-۱)	۰/۷۴۱±۰/۰۲
۴	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۷۶±۰/۰۱
۵	۲ (-۱)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۶۷۳±۰/۰۴
۶	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۸۴±۰/۰۲
۷	۵ (۰)	۰/۴ (+۱)	۵ (۰)	۰/۵۹۷±۰/۰۲
۸	۲ (-۱)	۰/۱ (-۱)	۲ (-۱)	۰/۷۶۲±۰/۰۲
۹	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۸ (+۱)	۰/۵۵۴±۰/۰۲
۱۰	۵ (۰)	۰/۱ (-۱)	۵ (۰)	۰/۵۴۳±۰/۰۳
۱۱	۸ (+۱)	۰/۱ (-۱)	۸ (+۱)	۰/۴۶۹±۰/۳
۱۲	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۹۴±۰/۰۴
۱۳	۸ (+۱)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۴۸۱±۰/۰۳
۱۴	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۵ (۰)	۰/۵۷۴±۰/۰۴
۱۵	۸ (+۱)	۰/۴ (+۱)	۲ (-۱)	۰/۵۲۵±۰/۰۳
۱۶	۸ (+۱)	۰/۱ (-۱)	۲ (-۱)	۰/۶۲۲±۰/۰۴
۱۷	۲ (-۱)	۰/۱ (-۱)	۲ (-۱)	۰/۵۵۳±۰/۰۴
۱۸	۵ (۰)	۰/۲۵ (۰)	۲ (-۱)	۰/۶۸۲±۰/۰۱
۱۹	۸ (+۱)	۰/۴ (+۱)	۸ (+۱)	۰/۴۵۷±۰/۰۲
۲۰	۲ (-۱)	۰/۴ (+۱)	۸ (+۱)	۰/۶۹۷±۰/۰۲

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه مدل ها به منظور انتخاب مدل مناسب برای پاسخ های اندازه گیری شده

منبع	درجه آزادی	دانسیته کف (گرم بر سانتی متر مکعب)				اورران (درصد)			
		مجموع مربعات	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F	مجموع مربعات	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال
میانگین	۱	۷/۰۴	۷/۰۴	-	-	۱/۲۹۹×۱۰ ^۵	۱/۲۹۹×۱۰ ^۵	-	-
خطی	۳	۰/۱۵	۰/۰۵۱	۳۴/۱۹	<۰/۰۰۰۱	۹۰۰۳/۴۰	۳۰۰۱/۱۳	۳۷/۱۳	<۰/۰۰۰۱
2FI	۳	۰/۰۱۷	۵/۶۳۳×۱۰ ^{-۳}	۱۰/۲۸	۰/۰۰۱۰	۹۰۶	۳۰۲	۱۰/۱۳	۰/۰۰۱۰
چند جمله ای	۳	۶/۴۰۷×۱۰ ^{-۳}	۲/۱۳۶×۱۰ ^{-۳}	۲۹/۷۴	<۰/۰۰۰۱	۳۷۱/۳۶	۱۲۳/۷۹	۷۷/۱۹	<۰/۰۰۰۱
مکعبی	۴	۲/۲۰۰×۱۰ ^{-۴}	۵/۵۰۰×۱۰ ^{-۵}	۰/۶۶	۰/۶۴۰۵	۳/۶۰	۰/۹۰	۰/۴۳	۰/۷۸۰۵
باقی مانده	۶	۴/۹۸۲×۱۰ ^{-۴}	۸/۳۰۳×۱۰ ^{-۵}	-	-	۱۲/۴۴	۲/۰۷	-	-
کل	۲۰	۷/۲۲	۰/۳۶	-	-	۱/۴۰۲×۱۰ ^{-۵}	۷۰۱۱/۲۰	-	-
خطی	۱۱	۰/۰۲۴	۲/۱۴۸×۱۰ ^{-۳}	۲۶/۸۵	۰/۰۰۱۰	۱۲۸۴/۰۷	۱۱۶/۷۳	۶۲/۵۴	<۰/۰۰۰۱
2FI	۸	۶/۷۲۵×۱۰ ^{-۳}	۸/۴۰۶×۱۰ ^{-۴}	۱۰/۵۱	۰/۰۰۹۵	۳۷۸/۰۷	۴۷/۲۶	۲۵/۳۳	۰/۰۰۱۲
چند جمله ای	۵	۳/۱۸۲×۱۰ ^{-۴}	۶/۳۱۴×۱۰ ^{-۵}	۰/۸۰	۰/۵۹۶۱	۶/۷۰	۱/۳۴	۰/۷۲	۰/۶۳۷۴
مکعب	۱	۹۸۱۸×۱۰ ^{-۵}	۹/۸۱۸×۱۰ ^{-۵}	۱/۲۳	۰/۳۱۸۴	۳/۱۰	۳/۱۰	۱/۶۶	۰/۲۵۳۷
خطا	۵	۴×۱۰ ^{-۴}	۸×۱۰ ^{-۵}	-	-	۹/۳۳	۱/۸۷	-	-

جدول ۴- نتایج آماری مدل چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های پاسخ

پاسخ	میانگین	انحراف معیار (SD)	ضریب تغییرات (CV)	R^2	$R^2_{adjusted}$	$R^2_{predicted}$
دانسیته	۰/۵۹	۸/۴۷	۱/۴۳	۰/۹۹۶۰	۰/۹۹۲۳	۰/۹۹۰۸
اورران	۸۰/۶۰	۱/۲۷	۱/۵۷	۰/۹۹۸۴	۰/۹۹۷۰	۰/۹۹۴۹

باتوجه به نتایج جدول (۳) که عدم معنی‌داری آزمون ضعف برازش^۱ در مدل چندجمله‌ای پیشنهادی برای پاسخ‌ها و نیز جدول (۴) که بالابودن مقدار ضریب تعیین (R^2)، $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{predicted}$ را نشان می‌دهد، می‌توان بیان کرد که این مدل قدرت بالایی در برازش داده‌های آزمون دارد.

تاثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها

دانسیته کف

نتایج ارائه شده در جدول (۵) نشان می‌دهد صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به صورت خطی اثر معنی‌داری بر دانسیته کف داشتند ($P < 0/01$). همچنین اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زانتان، اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن، اثر متقابل زانتان و زمان هم‌زدن ($P < 0/01$) معنی‌دار بود. اثر درجه دوم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان ($P < 0/05$) و زمان هم‌زدن ($P < 0/01$) نیز معنی‌دار بود. یکی از پارامترهای مهم در سیستم‌های کفی مقدار دانسیته است. مقدار بالای هوای محبوس شده طی هم‌زدن منجر به انبساط کف می‌شود که نشان‌دهنده قابلیت کف‌زایی است. دانسیته کف معمولاً برای ارزیابی خصوصیات کف استفاده می‌شود. هرچه هوای بیشتری به داخل مایع وارد شود، دانسیته کف کاهش پیدا می‌کند (Falade & Omojola, 2010; Barik & Roy, 2009).

¹ Lack of fit test

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری مقدار دانسیته کف دسر هوادار

احتمال F	اندیس F	درجه آزادی	مجموع مربعات	مدل
<۰/۰۰۰۱**	۲۷۴/۳۶	۹	۰/۱۸	مدل
<۰/۰۰۰۱**	۱۴۲۰/۳۹	۱	۰/۱۰	X _۱
<۰/۰۰۰۱**	۶۱/۴۱	۱	۴/۴۱۰×۱۰ ^{-۳}	X _۲
<۰/۰۰۰۱**	۶۶۲/۹۲	۱	۰/۰۴۸	X _۳
<۰/۰۰۰۱**	۱۵۶/۶۵	۱	۰/۰۱۱	X _۱ X _۲
<۰/۰۰۰۲**	۳۴/۱۱	۱	۲/۴۵۰×۱۰ ^{-۳}	X _۱ X _۳
<۰/۰۰۰۱**	۴۴/۵۶	۱	۳/۲۰۰×۱۰ ^{-۳}	X _۲ X _۳
۰/۰۹۳۰۹*	۷/۹۱۱×۱۰ ^{-۳}	۱	۵/۸۶۲×۱۰ ^{-۷}	X _۱ ^۲
۰/۰۹۱۳*	۳/۴۹	۱	۲/۵۰۶×۱۰ ^{-۴}	X _۲ ^۲
<۰/۰۰۰۱**	۶۲/۶۷	۱	۴/۵۰۱×۱۰ ^{-۳}	X _۳ ^۲
۰/۵۹۶۱ ^{NS}	۰/۸۰	۵	۳/۱۸۲×۱۰ ^{-۴}	ضعف برازش
-	-	۵	۴×۱۰ ^{-۴}	خطا

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، * : معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد، ^{NS} : عدم معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

یک مایع اضافه می‌شود، سبب افزایش ویسکوزیته آن می‌گردد که این امر مانع از ورود هوا به داخل مایع شده، در نتیجه میزان هوای محبوس شده در مخلوط کاهش و دانسیته کف افزایش می‌یابد (Bikerman, 2013). مشابه این نتایج توسط (Bag, Srivastav, & Mishra, 2011) و (Goudarzi, Madadlou, Mousavi, & Emam-Djomeh, 2015) به ترتیب برای تولید کف پالپ میوه Bael و طالبی گزارش شده است. مطابق شکل (۱-ب)، افزایش زمان هم‌زدن سبب کاهش دانسیته کف شد. با افزایش زمان هم‌زدن، دانسیته نمونه‌ها به علت ورود هوای بیشتر به درون سیستم‌های کف و به‌دام‌افتادن درون سیستم به‌صورت حباب کاهش پیدا می‌کند. همچنین افزایش زمان هم‌زدن به دلیل افزایش میزان دناتوراسیون پروتئین‌ها و کاهش کشش سطحی و افزایش احتمالی گروه‌های آب‌دوست در سطح می‌تواند سبب کاهش دانسیته کف شود (Raharitsifa, Genovese, & Ratti, 2006). نتایج مشابه‌ای نیز توسط (Falade & Omojola, 2010) و (Sankat & Castaigne, 2004) به ترتیب درباره اثر آلومین تخم‌مرغ بر کاهش دانسیته کف موز سبز، موز و لوبیای چشم‌بلبلی گزارش شده است. مطابق جدول (۳) مقدار دانسیته نمونه‌های کف دسر هوادار بین ۰/۴۶-۰/۸۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.

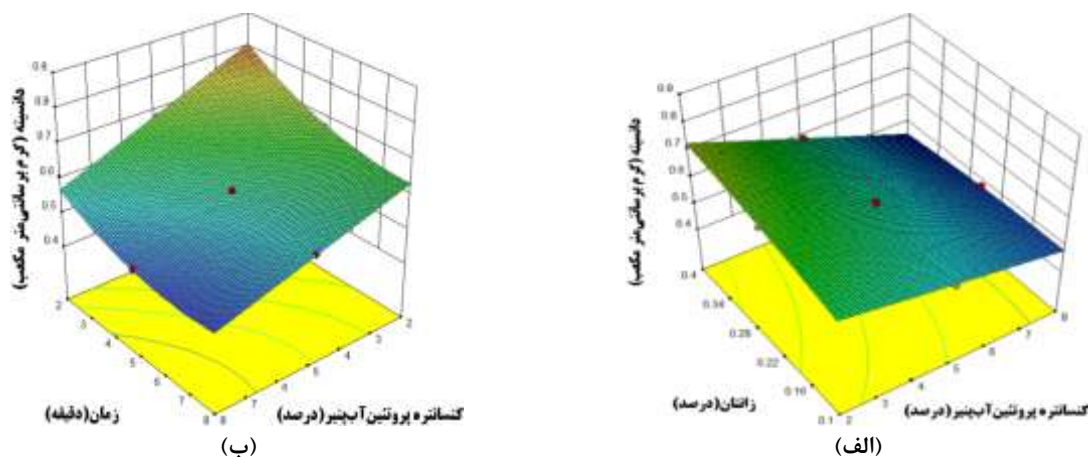
با قراردادن مدل چندجمله‌ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف پس‌خور^۱، مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کدگذاری شده اثر معنی‌داری روی دانسیته کف داشتند که به‌صورت رابطه (۴) ارائه شد:

$$FD = 0.58 - 0.10X_1 + 0.21X_2 - 0.069X_3 - 0.37X_1X_2 + 0.18X_1X_3 + 0.20X_2X_3 + 0.040X_1^2 + 0.054X_2^2 - 0.054X_3^2$$

در رابطه (۴)، X_۱ کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)، X_۲ غلظت صمغ زانتان (درصد) و X_۳ زمان هم‌زدن (دقیقه) است.

شکل (۱) تغییرات دانسیته کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱-الف) مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر از ۲ به ۸ درصد مقدار دانسیته کف به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. توانایی ایجاد کف تحت‌تأثیر اندازه مولکولی و ساختار پروتئین است. پروتئین‌های کوچک و انعطاف‌پذیر مانند پروتئین‌های آب‌پنیر قابلیت کف‌زایی بیشتری دارند که سریع‌تر و آسان‌تر کشش بین سطحی را کاهش می‌دهند و سبب کاهش دانسیته می‌شوند (Dickinson & Stainsby, 1982). با توجه به شکل (۱-ب) مشاهده می‌شود افزایش میزان صمغ زانتان اثر نامطلوبی بر انبساط کف داشت و باعث افزایش دانسیته کف شد. هنگامی که صمغ زانتان به

¹ Backward



شکل ۱- سطح پاسخ دانسیته کف، الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

ضعف	۶/۷۰	۵	۰/۷۲	۰/۶۳۷۴ ^{NS}
برازش				
خطا	۹/۳۳	۵	-	-

^{NS}: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد، * : معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد، ^{NS}: عدم معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

اورران

نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، غلظت صمغ زانتان و زمان هم‌زدن اثر معنی‌داری و خطی بر میزان اورران دسر هوادار دارد ($P < 0.01$). همچنین اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زانتان، اثر متقابل زانتان و زمان هم‌زدن معنی‌دار بود ($P < 0.01$). اثر درجه دوم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن نیز بر میزان اورران معنی‌دار بود ($P < 0.01$). اورران، افزایش حجم دسر هوادار نسبت به حجم مخلوط اولیه به دلیل ورود هوا در جریان فرایند هم‌زدن است. مقدار هوایی که وارد مخلوط می‌شود، تابع ترکیب مخلوط و چگونگی فرایند تولید می‌باشد. نوع و غلظت اجزای مخلوط، مقدار کل مواد جامد، ویسکوزیته مخلوط، زمان هم‌زدن و خصوصیات فریزر از عوامل مؤثر بر درصد اورران می‌باشد (Ohmes et al., 1998).

جدول ۶- نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری مقدار اورران کف دسر هوادار

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	اندیس F	احتمال F
مدل	۱۰۲۸/۷۶	۹	۷۱۲/۳۲	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₁	۶۵۵۳/۶۰	۱	۴۰۸۱/۷۱	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₂	۱۰۸/۹۰	۱	۶۷/۹۱	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₃	۲۳۰۴/۹۰	۱	۱۴۵۹/۷۴	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₁ X ₂	۵۱۲	۱	۳۱۹/۲۷	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₁ X ₃	۲/۰۰	۱	۱/۲۵	۰/۲۹۰۲
X ₂ X ₃	۳۹۲/۰۰	۱	۲۴۴/۴۴	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₁ ^۲	۳۱/۱۱	۱	۱۹/۴۰	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}
X ₂ ^۲	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۳۲	۰/۸۶۱۸
X ₃ ^۲	۲۸۲/۵۵	۱	۱۷۶/۱۹	< ۰/۰۰۰۱ ^{**}

با قراردادن مدل چندجمله‌ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف پاسخور، مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کدگذاری شده که اثر معنی‌داری روی اورران کف داشتند، به صورت رابطه (۵) ارائه شد:

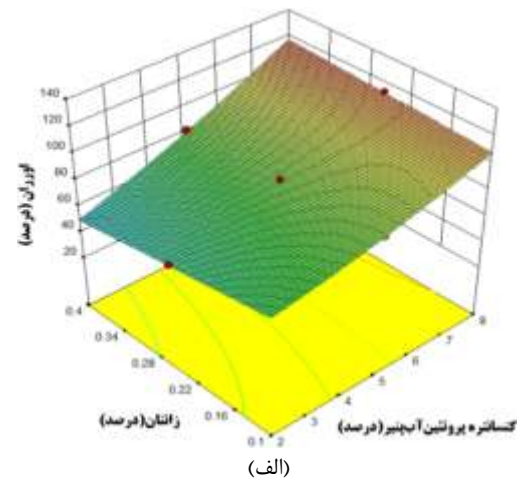
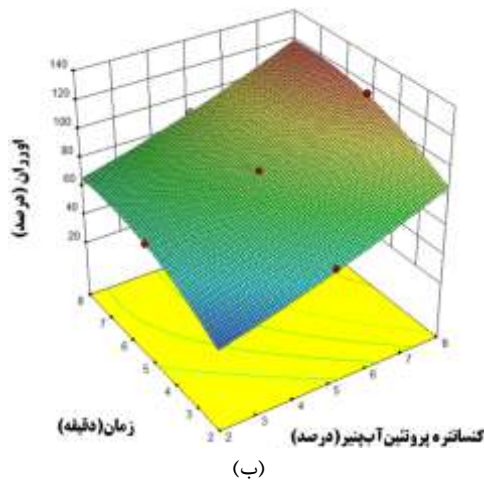
$$0V = 8.4/0.5 + 2.5/6X_1 - 3/3 \cdot X_2 + 1.5/30 \cdot X_3 + 8/10 \cdot X_1X_2 - 7/10 \cdot X_2X_3 + 3/36X_2 - 1/14X_3^2$$

در رابطه (۵)، X₁ کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)، X₂ غلظت صمغ زانتان (درصد) و X₃ زمان هم‌زدن (دقیقه) است.

تغییر اورران کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به صورت سه‌بعدی در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲-الف) مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر از ۲ به ۸ درصد مقدار اورران به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است ($P < 0.01$). (Zayas, 1997) (۱۹۹۷) بیان کرد بیشینه اورران کف دسر هوادار در غلظت پروتئین (۲-۸ درصد) در نتیجه افزایش ویسکوزیته فاز مایع و ضخامت فیلم جذب‌شده به‌دستی‌می‌آید. در غلظت‌های بالای پروتئین، جذب سطحی سریع اتفاق می‌افتد که منجر به عبور حباب از میان محلول پروتئین می‌شود؛ در نهایت به دلیل افزایش

ویسکوزیته فاز مایع، ماده کف‌کننده با لایه سطحی ضخیم‌تر، متراکم‌تر و پایدارتر تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲-ب) مشاهده می‌شود، افزایش مقدار صمغ زانتان نقش مهمی در کاهش اورران دارد ($P < 0.01$). دلیل این کاهش را می‌توان به محبوس شدن مولکول‌های آب توسط صمغ و افزایش ویسکوزیته نسبت داد. (Soukoulis, Lebesi, & Tzia, 2009) (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر صمغ زانتان بر خواص کیفی بستنی مشاهده کردند افزایش سطوح این صمغ به دلیل افزایش ویسکوزیته باعث کاهش اورران می‌شود. (BahramParvar, Razavi,)

و یسکوزیته فاز مایع، ماده کف‌کننده با لایه سطحی ضخیم‌تر، متراکم‌تر و پایدارتر تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲-ب) مشاهده می‌شود، افزایش مقدار صمغ زانتان نقش مهمی در کاهش اورران دارد ($P < 0.01$). دلیل این کاهش را می‌توان به محبوس شدن مولکول‌های آب توسط صمغ و افزایش ویسکوزیته نسبت داد. (Soukoulis, Lebesi, & Tzia, 2009) (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر صمغ زانتان بر خواص کیفی بستنی مشاهده کردند افزایش سطوح این صمغ به دلیل افزایش ویسکوزیته باعث کاهش اورران می‌شود. (BahramParvar, Razavi,)



شکل ۲- سطح پاسخ اورران الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

ماکرومولکولی تحت اثر میدان برشی (هم‌راستاشدن با جهت برش)، کاهش اتصال زنجیره‌های جانبی پلیمر با یکدیگر و همچنین شکستن احتمالی ساختار پلیمرها در محلول کاهش پیدا کرد (Barik & Roy, 2009; Drenckhan & Langevin, 2010; Niranjan & Silva, 2008). ویسکوزیته علاوه بر نقشی که در فرمولاسیون دسر هوادار دارد، در انتخاب پمپ مناسب جهت انتقال و طراحی تجهیزات موردنیاز نیز کاربرد دارد. همچنین ویسکوزیته نقش مهمی در واکنش دسر هوادار با دهان و مقاومت دسر به نیروهای مکانیکی ایجادشده به وسیله زبان، کام و دندان‌ها، درک کلی و ارزیابی بافتی دسر هوادار دارد.

جدول (۷) نتیجه برازش داده‌های رئولوژیکی را برای دو مدل نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد از بین مدل‌های مورد مطالعه، مدل پاورلا برای توصیف رفتار جریان نمونه‌های دسر هوادار مناسب‌تر است زیرا پارامترهای

تعیین شرایط بهینه تولید کف

براین اساس شرایط بهینه جهت تولید کف دسر هوادار با کمترین میزان دانسیته و بالاترین میزان اورران در غلظت صمغ زانتان ۰/۱ درصد (سطح پایین)، مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر ۸ درصد (سطح بالا) و زمان هم‌زدن ۸ دقیقه (سطح بالا) تعیین گردید. در این شرایط مقادیر دانسیته و اورران کف اندازه‌گیری شد که به ترتیب 0.45 ± 0.02 گرم بر سانتی‌مترمکعب و 120.84 ± 2.0 درصد بودند.

خصوصیات رئولوژیکی

بررسی رفتار جریان دسر هوادار نشان داد تمامی نمونه‌ها رفتار غیرنیوتنی از نوع شل‌شونده با برش (سودوپلاستیک) داشتند. با افزایش سرعت برشی مشاهده شد که ویسکوزیته به علت عدم درگیری زنجیره‌های

Accepted Article

بیشتری از حالت نیوتنی مشاهده شد. وجود رفتار شل‌شوندگی با برش در هیدروکلوئیدها باعث تسهیل در عملیات پمپ‌کردن و همچنین ایجاد بافت و احساس دهانی مطلوب در مواد غذایی می‌گردد. نتایج ضریب قوام مدل قانون توان (K_p) حاکی از آن است که بیشترین و کمترین ضریب قوام دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی ۸ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۴ درصد صمغ زانتان و ۸ دقیقه زمان هم‌زدن (۱۶۳/۶ پاسکال در ثانیه) و ۵ گرم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۲۵ درصد صمغ زانتان و ۵ دقیقه زمان هم‌زدن (۷/۲۲ پاسکال در ثانیه) بود. بنابراین با افزایش درصد صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به دلیل افزایش تعداد مولکول‌های با وزن مولکولی بالا در فاز مایع و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر جریان، مقدار ضریب قوام نمونه‌ها افزایش یافت. (Varela, Pintor, & Fiszman, 2014) مشاهده کردند تمامی فرمولاسیون‌های حاوی پایدارکننده هیدروکلوئیدی نسبت به بدون پایدارکننده به وضوح دارای مقادیر بالاتری شاخص قوام بودند. (Mehditabar, Razavi, & Javidi, 2020) بیان کردند افزودن هیدروکلوئیدها باعث بهبود خصوصیات رئولوژیکی می‌شود و ضریب قوام به دلیل تشکیل شبکه زلی افزایش می‌یابد. (Akalin et al., 2008) در بررسی اثر غلظت پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های رئولوژیکی بستنی مشاهده کردند که با افزایش میزان پروتئین آب‌پنیر به فرمولاسیون بستنی به ویسکوزیته و ضریب قوام افزایش یافت.

آماری نشان داد که این مدل نسبت به مدل هرشل بالکی R^2 بالاتر (حدود ۰/۹۹۹) و RMSE پایین (۰/۰۱) دارا بود. وجود مقادیر منفی تنش تسلیم در برآزش با مدل هرشل بالکی نشان داد که این مدل قادر به توصیف رفتار جریان نمونه‌ها نمی‌باشد. (Razavi, Taghizadeh, & Shaker, 2010) و (Ardekani, 2010) در نمونه‌های کره پسته کم‌کالری و بستنی رژیمی کم‌چرب این مدل را به دلیل وجود مقادیر منفی تنش تسلیم نامناسب ارزیابی کردند. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد شاخص رفتار جریان (n) مدل قانون توان برای تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد که نشان‌دهنده رفتار غیرنیوتونی شل‌شونده با برش دارای تنش تسلیم است ($n_p < 1$). بیشترین و کمترین شاخص رفتار جریان دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی ۲ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۱ درصد صمغ زانتان و ۲ دقیقه زمان هم‌زدن (۰/۹۱) و ۸ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۴ درصد صمغ زانتان و ۲ دقیقه زمان هم‌زدن (۰/۱۰) بود. با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان شاخص رفتار جریان کاهش یافت. افزایش زمان هم‌زدن اثر مشخصی بر شاخص رفتار جریان دسر هوادار نداشت. (Aime, Arntfield, Malcolmson, & Ryland, 2001) بررسی رفتار بستنی کم‌چرب و معمولی، مقدار این ویژگی را ۰/۴۳۳ تا ۰/۶۱۱ گزارش کردند. صمغ‌ها خود دارای رفتار شل‌شوندگی هستند، بنابراین با افزایش مولکول‌های بلندزنجیر آنها در سیستم، در رفتار جریان آمیخته انحراف

جدول ۷- خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌های دسر هوادار

پاورلا		هرشل بالکی						
RMSE	R^2	$k_p(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_p	RMSE	R^2	$k_H(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_H	$\tau_{0H}(\text{Pa})$
۲/۸۹	۰/۹۹	$۱۹/۲۷ \pm ۰/۰۱$	$۰/۳۷ \pm ۰/۰۱$	۰/۰۳	۰/۹۹	$۳۷/۷۴ \pm ۰/۰۱$	$۲۹/۲۸ \pm ۰/۰۴$	$۲۲/۵۳ \pm ۰/۳$
۲/۶	۰/۹۹	$۱۱/۴۶ \pm ۰/۰۲$	$۰/۲۴ \pm ۰/۰۲$	۰/۸۴	۰/۹۶	$۷۷/۱۳ \pm ۰/۰۱$	$۸۹/۸۷ \pm ۰/۰۲$	$-۲۲/۶ \pm ۰/۲$
۱۱/۱	۰/۸۴	$۲۰/۶۱ \pm ۰/۰۲$	$۰/۱۱ \pm ۰/۰۱$	۰/۳۵	۰/۹۸	$۸/۳۷ \pm ۰/۰۱$	$۲/۴۸ \pm ۰/۰۳$	$۴۲/۱۱ \pm ۰/۴$
۳۵/۸۱	۰/۸۸	$۱۱/۷۶ \pm ۰/۰۱$	$۰/۵۶ \pm ۰/۰۲$	۰/۱۵	۰/۹۷	$۲۳/۱۱ \pm ۰/۰۲$	$۰/۱۴ \pm ۰/۰۱$	$۹۸/۱۱ \pm ۰/۲$
۲/۷	۰/۹۹	$۷/۶۶ \pm ۰/۰۱$	$۰/۴۴ \pm ۰/۰۱$	۰/۰۳	۰/۹۹	$۲۲/۷۹ \pm ۰/۰۱$	$۰/۶۱ \pm ۰/۰۲$	$۱۱/۵۴ \pm ۰/۳$
۰/۲۹	۰/۷۲	$۴۳/۱۱ \pm ۰/۰۲$	$۰/۸۱ \pm ۰/۰۴$	۰/۳۴	۰/۹۹	$۴۹/۶۹ \pm ۰/۰۲$	$۰/۱۲ \pm ۰/۰۱$	$-۸۱/۵۸ \pm ۰/۲$
۸/۱۷	۰/۸۸	$۱۵/۲۲ \pm ۰/۰۲$	$۰/۳۶ \pm ۰/۰۲$	۰/۰۷	۰/۹۹	$۱۸/۴۰ \pm ۰/۰۱$	$۰/۲۲ \pm ۰/۰۱$	$۸۱/۷۱ \pm ۰/۲$
۱۶/۵۷	۰/۸۲	$۱۲۴/۰۴۲ \pm ۰/۰۲$	$۰/۹۱ \pm ۰/۰۱$	۰/۳۳	۰/۹۷	$۷۹/۲۴ \pm ۰/۰۴$	$۰/۰۸ \pm ۰/۰۲$	$۸/۰۶ \pm ۰/۱$
۱۹/۰۸	۰/۷۵	$۸۷/۶۴ \pm ۰/۰۱$	$۰/۱۳ \pm ۰/۰۱$	۰/۵۲	۰/۹۵	$۴۸/۵۷ \pm ۰/۰۲$	$۰/۰۴ \pm ۰/۰۲$	$-۴/۷۹ \pm ۰/۳$
۱۶/۵۷	۰/۸۵	$۸۹/۴۲ \pm ۰/۰۳$	$۰/۳۴ \pm ۰/۰۳$	۰/۱۹	۰/۹۸	$۰/۰۳ \pm ۰/۰۱$	$۰/۰۳۵ \pm ۰/۰۳$	$۷۵/۳۵ \pm ۰/۳$
۱/۵۰	۰/۹۹	$۹/۲۴ \pm ۰/۰۱$	$۰/۳۶ \pm ۰/۰۲$	۰/۰۳	۰/۹۹	$۱۱/۱۲ \pm ۰/۰۲$	$۰/۰۷۱ \pm ۰/۰۲$	$۱۷/۶۸ \pm ۰/۲$
۳۶/۸	۰/۸۲	$۴۴/۹ \pm ۰/۰۱$	$۰/۴۳ \pm ۰/۰۱$	۰/۴۸	۰/۹۶	$۷۶/۲۸ \pm ۰/۰۳$	$۰/۱۵ \pm ۰/۰۱$	$-۷۸/۲۲ \pm ۰/۴$

۳/۲۹	۰/۹۹	۱۴/۴۱±۰/۰۲	۰/۴۹±۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۹۸	۳۶/۰۵±۰/۰۲	۰/۳۴±۰/۰۳	-۳۹/۵۹±۰/۱
۱۴/۲۳	۰/۶۲	۱۹/۲۷±۰/۰۱	۰/۲۸±۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۹۶	۷۵/۷۱±۰/۰۳	۰/۰۸±۰/۰۱	-۷۹/۶۳±۰/۱۳
۹/۳۹	۰/۹۵	۵۷/۳۶±۰/۰۳	۰/۱۰±۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۹۸	-۰/۰۳±۰/۰۱	۰/۳۷±۰/۰۲	-۴۳/۵±۰/۲
۳/۰۵	۰/۹۹	۹۲/۴۲±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۵۴	۰/۹۶	۱۷/۵۵±۰/۰۳	۰/۴۵±۰/۰۳	۱۰/۲۱±۰/۱
۲/۱۸	۰/۹۹	۸۵/۸۳±۰/۰۱	۰/۱۳±۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۹۷	۳۵/۳۸±۰/۰۲	۰/۰۲۳±۰/۰۲	-۳۸/۴۲±۰/۱
۹/۴۸	۰/۹۶	۱۹/۰۶±۰/۰۳	۰/۳۸±۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۹۹	۰/۰۲±۰/۰۲	۰/۹۳±۰/۰۱	۲/۴۳±۰/۰
۲۳/۹۸	۰/۸۳	۱۶۳/۰۶±۰/۰۱	۰/۴۲±۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۷±۰/۰۱	۰/۶۱±۰/۰۲	-۰/۱۰±۰/۳
۲۹/۴۹	۰/۷۲	۱۶۰/۱±۰/۰۲	۰/۲۰±۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۹۷	۰/۸۹±۰/۰۱	۰/۴۹±۰/۰۳	۸۸/۸۱±۰/۲

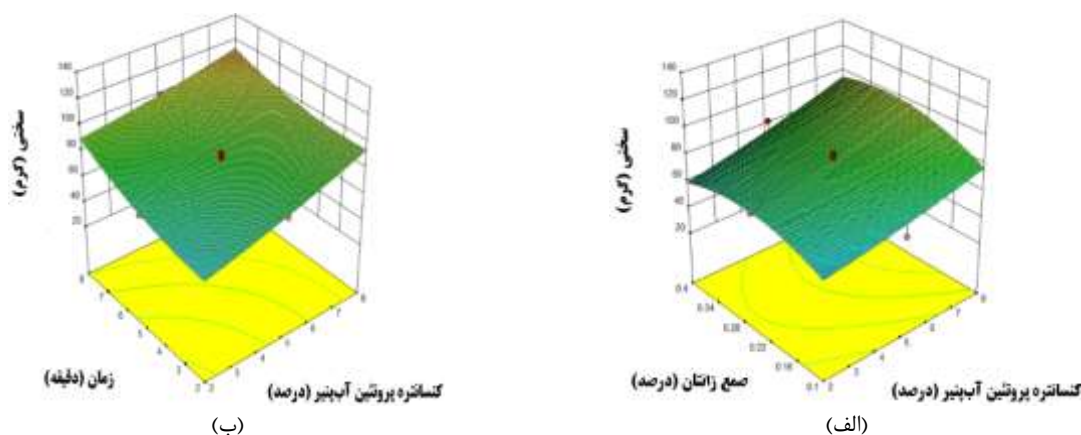
خصوصیات بافتی

نتایج ارزیابی خصوصیات بافت دسر هوادار وانیلی در **جدول (۸)** ارائه شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، مدل چندجمله‌ای درجه دوم به عنوان بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خصوصیات سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام پیشنهاد گردید.

جدول ۸- ویژگی‌های بافتی دسر هوادهی شده با سطوح مختلفی از کنسانتره پروتئین آب پنیر (۸-۲ درصد)، غلظت صمغ زانتان (۰/۴-۰/۱ درصد) و زمان هم‌زدن (۸-۲ دقیقه)

کد نمونه	سختی (گرم)	نیروی چسبندگی (گرم)	ضریب قوام (گرم در ثانیه)
۱	۸۰/۳۷±۰/۰۱	۰/۴۱±۰/۰۲	۰/۳۱±۰/۰۱
۲	۸۴/۲۱±۰/۰۲	۰/۳۹±۰/۰۱	۰/۲۹±۰/۰۲
۳	۵۸/۳۱±۰/۰۳	۰/۲۸±۰/۰۱	۰/۳۶±۰/۰۱
۴	۸۵/۲۲±۰/۰۱	۰/۴۲±۰/۰۲	۰/۳۱±۰/۰۱
۵	۶۷/۰۷±۰/۰۱	۰/۲۸±۰/۰۲	۰/۳۳±۰/۰۳
۶	۸۲/۱۹±۰/۰۲	۰/۳۶±۰/۰۱	۰/۳۴±۰/۰۱
۷	۸۲/۲۸±۰/۰۳	۰/۴۳±۰/۰۲	۰/۳۸±۰/۰۲
۸	۳۴/۷۵±۰/۰۲	۰/۲۱±۰/۰۱	۰/۲۲±۰/۰۲
۹	۹۸/۸۲±۰/۰۱	۰/۷۶±۰/۰۲	۰/۴۷±۰/۰۱
۱۰	۵۳/۸۷±۰/۰۱	۰/۲۴±۰/۰۲	۰/۳۵±۰/۰۱
۱۱	۷۷/۱۸±۰/۰۳	۰/۸۲±۰/۰۱	۰/۴۶±۰/۰۳
۱۲	۸۰/۵۵±۰/۰۱	۰/۴۱±۰/۰۳	۰/۳۱±۰/۰۱
۱۳	۹۵/۸۹±۰/۰۲	۰/۷۵±۰/۰۱	۰/۴۹±۰/۰۲
۱۴	۸۰/۳۶±۰/۰۲	۰/۳۴±۰/۰۱	۰/۲۹±۰/۰۲
۱۵	۷۲/۱۸±۰/۰۱	۰/۵۷±۰/۰۲	۰/۴۶±۰/۰۱
۱۶	۹۴/۸۱±۰/۰۴	۰/۵۵±۰/۰۱	۰/۴۱±۰/۰۲
۱۷	۶۴/۳۷±۰/۰۱	۰/۲۳±۰/۰۲	۰/۳۴±۰/۰۱
۱۸	۷۲/۱۵±۰/۰۳	۰/۴۵±۰/۰۱	۰/۳۹±۰/۰۱
۱۹	۱۲۷/۰۲±۰/۰۲	۰/۹۹±۰/۰۱	۰/۵۲±۰/۰۲
۲۰	۹۲/۸۴±۰/۰۱	۰/۳۲±۰/۰۲	۰/۴۲±۰/۰۱

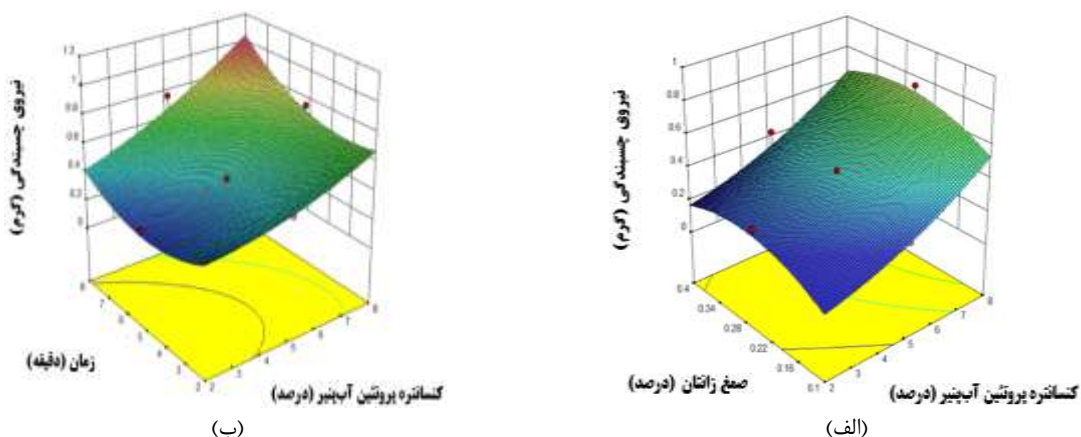
همان‌طور که در **شکل (۳)** مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر، میزان صمغ زانتان و زمان هم‌زدن، میزان سختی افزایش یافت ($P < 0/01$). باتوجه به نتایج **جدول (۸)**، بیشترین و کمترین سختی دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی ۸ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر، ۰/۴ درصد صمغ زانتان و ۸ دقیقه زمان هم‌زدن (۱۲۷/۰۷ گرم) و نمونه حاوی ۲ درصد کنسانتره پروتئین آب پنیر، ۰/۱ درصد صمغ زانتان و ۲ دقیقه زمان هم‌زدن (۳۴/۷۵ گرم) نسبت داده شد. بنابراین با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر، میزان صمغ زانتان و زمان هم‌زدن، سختی افزایش یافت ($P < 0/01$). به این ترتیب که با افزایش پروتئین، درصد صمغ و زمان هم‌زدن، مقدار ویسکوزیته افزایش و در نهایت مقاومت نمونه‌ها نسبت به نفوذ پروب دستگاه بافت‌سنج افزایش پیدا کرد. سختی بیانگر مقاومتی است که یک ماده به تغییر شکل معین در برابر نیروی خارجی از خود نشان می‌دهد. سختی دسر یک ویژگی بسیار مهم می‌باشد زیرا به صورت مستقیم بر قاشق‌پذیری آن مؤثر است. سختی تحت تأثیر عواملی مانند نقطه انجماد اولیه، مواد جامد، اورران، میزان و نوع پایدارکننده‌ها قرار می‌گیرد (Emadzadeh, Razavi, Hashemi, Nassiri, Mahallati, & Farhoosh, 2011). براساس گزارش‌های (Emadzadeh et al., 2011) و (Akalin et al., 2008) افزایش پروتئین و صمغ، باعث افزایش ویسکوزیته و ضریب قوام و به دنبال آن سبب افزایش سختی بستنی شد. همچنین (Akalin et al., 2008)، در این خصوص نشان دادند که افزودن پایدارکننده‌ها به مخلوط بستنی، منجر به افزایش ویسکوزیته، کاهش اورران و به دنبال آن منجر به افزایش سختی بستنی شد.



شکل ۳- سطح پاسخ سختی (الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و (ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

غذایی از سطوح دیگر و یا مواد غذایی دربارهٔ زبان، دندان و کام است (Akalin et al., 2008) صمغ زانتان به دلیل افزایش جذب آب و تشکیل ساختار ژلی باعث افزایش چسبندگی می‌شود. (Akalin et al., 2008) در بررسی اثر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر خصوصیات بافتی دسر لبنی کم‌چرب مشاهده کردند که با افزایش پروتئین میزان چسبندگی دسر لبنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. (Akalin et al., 2008) با افزودن صمغ گوار و صمغ دانهٔ ریحان، افزایش معنی‌داری در میزان چسبندگی بافت نمونه‌های بستنی مشاهده کردند.

همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن نیروی چسبندگی افزایش یافت ($P < 0.01$). با توجه به نتایج جدول (۸)، بیشترین و کمترین نیروی چسبندگی دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونهٔ حاوی ۸ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۴ درصد صمغ زانتان و ۸ دقیقه زمان هم‌زدن (۰/۹۹ گرم) و نمونهٔ حاوی ۲ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۱ درصد صمغ زانتان و ۲ دقیقه زمان هم‌زدن (۰/۲۱ گرم) بود. چسبندگی بیشترین نیروی منفی در منحنی نیرو و زمان در مرحلهٔ باربرداری می‌باشد و بیانگر مقدار نیروی موردنیاز برای جداکردن سطح مادهٔ



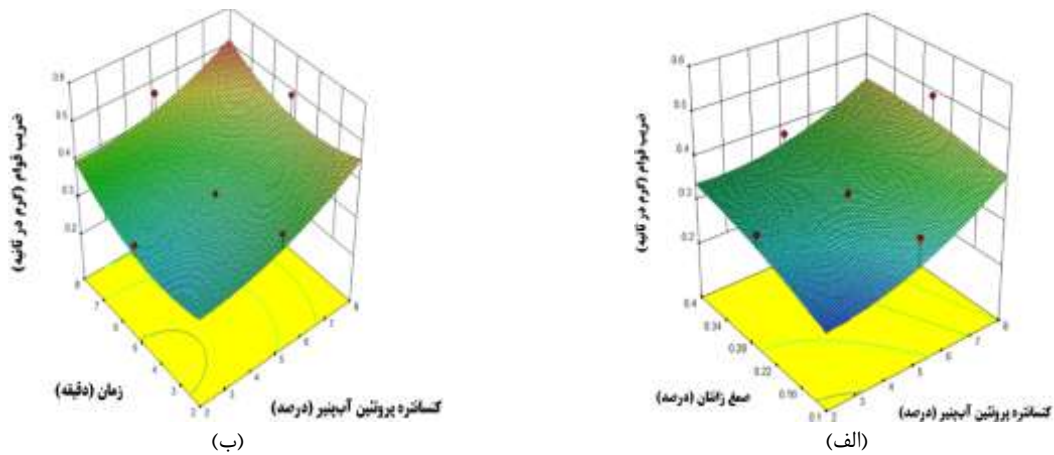
شکل ۴- سطح پاسخ نیروی چسبندگی (الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و (ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونهٔ حاوی ۸ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۴ درصد صمغ زانتان و ۸ دقیقه زمان هم‌زدن (۰/۵۲ گرم در ثانیه) و نمونهٔ حاوی ۲ درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، ۰/۱ درصد صمغ زانتان

همان‌طور که از شکل (۵) مشخص است، افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن موجب افزایش ضریب قوام دسر هوادار شده است. با توجه به نتایج جدول (۸)، بیشترین و کمترین ضریب قوام

مشاهده کردند که صمغ زانتان به دلیل توانایی بسیار زیاد در برقراری پیوندهای هیدروژنی با آب و تشکیل ساختار ژلی باعث افزایش سختی نمونه و ضریب قوام سفیده تخم مرغ شد.

و ۲ دقیقه زمان هم زدن (۰/۲۲ گرم در ثانیه) بود. ضریب قوام کار لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص است (Akalin et al., 2008). (Akalin et al., 2008) با بررسی اثر صمغ زانتان بر خواص کف سفیده تخم مرغ



شکل ۵- سطح پاسخ ضریب قوام الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان هم زدن

ضریب قوام دسر هوادار شد. همچنین با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر، صمغ زانتان و زمان هم زدن سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام افزایش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی دسر هوادار می شود. نتایج به دست آمده از این تحقیق می تواند باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف کننده ها و سودآوری تولیدکننده شده و کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ جهت بهینه سازی شرایط تولید دسر هوادار استفاده شد. بر این اساس، شرایط بهینه فرمولاسیون، غلظت صمغ زانتان ۰/۱ درصد، مقدار کنسانتره پروتئین آب پنیر ۸ درصد و زمان هم زدن ۸ دقیقه به دست آمد. در تمام نمونه های دسر هوادار، رفتار سودوپلاستیک مشاهده شد و مدل پاورلا به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش

منابع

میرعربرضی، س. (۱۳۹۳). بررسی اثر پروتئین های سدیم کازئینات، کنسانتره آب پنیر، آلبومین و ژلاتین بر ویژگی های حسی و فیزیکوشیمیایی موس شکلاتی. (پایان نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد)، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد،

Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J., & Ryland, D. (2001). Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food research international*, 34(2), 237-246. doi:[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00160-5)

Akalin, A. S., Karagözlü, C., & Ünal, G. (2008). Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227(3), 889-895. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-007-0800-z>

Alfaro Mohr, T. A. (2008). *Effect of concentration and ph on fracture properties of aerated and non aerated whey protein gels*. (Master's thesis), Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, Retrieved from <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/1442?show=full>

- Bag, S. K., Srivastav, P. P., & Mishra, H. N. (2011). Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (*Aegle marmelos* L.) Fruit Pulp. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1450-1458. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-009-0243-6>
- BahramParvar, M., Razavi, S. M., & Khodaparast, M. H. (2010). Rheological characterization and sensory evaluation of a typical soft ice cream made with selected food hydrocolloids. *Food Science and Technology International*, 16(1), 79-88. doi:<https://doi.org/10.1177/1082013209353244>
- Barik, T. K., & Roy, A. (2009). Statistical distribution of bubble size in wet foam. *Chemical engineering science*, 64(9), 2039-2043. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ces.2009.01.039>
- Bikerman, J. J. (2013). *Foams* (Vol. 10): Springer Science & Business Media.
- Dickinson, E., & Stainsby, G. (1982). *Colloids in food*: Applied Science Publishers.
- Drenckhan, W., & Langevin, D. (2010). Monodisperse foams in one to three dimensions. *Current opinion in colloid & interface science*, 15(5), 341-358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.06.002>
- Emadzadeh, B., Razavi, S. M. A., Hashemi, M., Nassiri Mahallati, M., & Farhoosh, R. (2011). Optimization of Fat Replacers and Sweetener Levels to Formulate Reduced- Calorie Pistachio Butter: A Response Surface Methodology. *Journal of Nuts*, 02(04), 37-54. doi:<https://doi.org/10.22034/jon.2011.515737>
- Falade, K. O., & Omojola, B. S. (2010). Effect of Processing Methods on Physical, Chemical, Rheological, and Sensory Properties of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 387-394. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-008-0126-2>
- Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., & Emam-Djomeh, Z. (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *International Journal of Dairy Technology*, 68(1), 70-78. doi:<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12155>
- Javidi, F., & Razavi, S. M. A. (2018). Rheological, physical and sensory characteristics of light ice cream as affected by selected fat replacers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1872-1884. doi:<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9801-9>
- Kumar, A., Rao, K. M., & Han, S. S. (2018). Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering: A review. *Carbohydrate Polymers*, 180, 128-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.009>
- Kurbanoglu, E. B., & Kurbanoglu, N. I. (2007). Ram horn hydrolysate as enhancer of xanthan production in batch culture of *Xanthomonas campestris* EBK-4 isolate. *Process Biochemistry*, 42(7), 1146-1149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.04.010>
- Mehditabar, H., Razavi, S. M. A., & Javidi, F. (2020). Influence of pumpkin puree and guar gum on the bioactive, rheological, thermal and sensory properties of ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 73(2), 447-458. doi:<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12658>
- Mirarab Razi, S. (2014). *Effect of Sodium Caseinate, Whey Protein Isolate, Albumin and Gelatin on Sensory and Physicochemical Properties of Chocolate Mousse*. (Unpublished master's thesis), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, (in Persian)
- Muthukumaran, A., Ratti, C., & Raghavan, V. G. S. (2008). Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. *Drying Technology*, 26(4), 508-512. doi:<https://doi.org/10.1080/07373930801929581>
- Nicorescu, I., Vial, C., Talansier, E., Lechevalier, V., Loisel, C., Della Valle, D., . . . Legrand, J. (2011). Comparative effect of thermal treatment on the physicochemical properties of whey and egg white protein foams. *Food Hydrocolloids*, 25(4), 797-808. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.020>
- Niranjan, K., & Silva, S. F. J. (2008). Bubble-Containing Foods. In J. M. Aguilera & P. J. Lillford (Eds.), *Food Materials Science: Principles and Practice* (pp. 281-303). New York, NY: Springer New York.
- O'Chiu, E., & Vardhanabhuti, B. (2017). Utilizing whey protein isolate and polysaccharide complexes to stabilize aerated dairy gels. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3404-3412. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12053>

- Ohmes, R. L., Marshall, R. T., & Heymann, H. (1998). Sensory and Physical Properties of Ice Creams Containing Milk Fat or Fat Replacers¹. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1222-1228. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75682-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75682-6)
- Papalamprou, E. M., Makri, E. A., Kiosseoglou, V. D., & Doxastakis, G. I. (2005). Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil-in-water emulsion stabilized with legume proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12), 1967-1973. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2159>
- Perez, O., Martinez, K., Carrera Sanchez, C., & Patino, J. (2017). Strategy for Foaming Improvement of Whey Protein Concentrates by Addition of Hydroxypropylmethylcellulose and Heating: Relation with Interfacial Properties. *Nutr. Food Technol. Open Access*, 3(2). doi:<http://dx.doi.org/10.16966/2470-6086.141>
- Raharitsifa, N., Genovese, D. B., & Ratti, C. (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71(3), E142-E151. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15627.x>
- Rao, M. A. (2010). *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*: Springer Science & Business Media.
- Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M., & Shaker Ardekani, A. (2010). Modeling the Time-Dependent Rheological Properties of Pistachio Butter. *Journal of Nuts*, 01(01), 38-45. doi:<https://doi.org/10.22034/jon.2010.515765>
- Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2015). Foam-Mat Drying of Cantaloupe (Cucumis melo): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12414>
- Sankat, C. K., & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT - Food Science and Technology*, 37(5), 517-525. doi:[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00132-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00132-4)
- Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665-671. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.070>
- Varela, P., Pintor, A., & Fiszman, S. (2014). How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 36, 220-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.005>
- Zayas, J. F. (1997). Solubility of Proteins. In *Functionality of Proteins in Food* (pp. 6-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Zimbru, R.-O., Pădureț, S., & Amariei, S. (2020). Aerated confectionery: Physico-chemical and textural evaluation. *Journal of Faculty of Food Engineering*, 19(2), 122-130.

Optimization of Formulation for Aerated Dessert Containing whey Protein and Xanthan Gum Concentrate using Response Surface Methodology and Investigation on Rheological and Texture Properties

Sara Parseh¹, Mohebbat Mohebbi^{2*}, Toktam Mohammadi-Moghadam³, Hassan Sabbaghi⁴

1- M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding author (m-mohebbi@um.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Nutritional Sciences and Food Technology, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

4- Postdoctoral Researcher, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Aerated dessert is a type of dessert based on the foam system, in which the presence of air in these desserts changes the rheological, sensory, and appearance characteristics. The aim of this study was optimization of aerated dessert using response surface methodology (RSM) and evaluate its rheological properties as a function of whey protein concentrate (2, 5 and 8%), xanthan gum (0.1, 0.25 and 0.4%) and whipping time (2, 5 and 8 min). The results showed that increasing protein and whipping time decreased density and increased overrun. Elevation of the xanthan gum concentration increased the density and decreased overrun. Optimal conditions for the production of aerated dessert foam with the lowest density and the highest overrun was determined in the concentration of xanthan gum 0.1% (low level), whey protein concentrate 8% (high level) and whipping time 8 min (High level). Power low model was the best model to describe flow behavior of the aerated dessert with high R^2 ($0.99 < R^2$) and low RMSE (0.04). It was determined that with increasing the whey protein concentrate and xanthan gum decreased the flow behavior index and increased coefficient of consistency ($P < 0.05$). The production of aerated desserts, in addition to producing a new product; increases the power of consumer choice and the profitability of the producer and can be an effective contribution to the growth of the industrial economy.

Keywords: Aerated dessert, Rheological properties, Texture properties, Xanthan gum, Whey protein concentrate