



بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی بستنی غنی‌سازی شده با کفیران و پایدارکننده‌های گیاهی به روش طرح

مخلوط Mixture Design

علی صحرايي اردکاني^۱، سیده مهناز جوکار قوچانی^۲، منصوره سلیمانی فرد^{۳*}

۱- استادیار گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه اردکان

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

* ۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

کلمات کلیدی:

طرح مخلوط،

کفیران،

آلئوئورها و گوار،

بستنی،

ویژگی‌های رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی

DOI: 10.48311/fsct.2026.84099.0

* مسئول مکاتبات:

mansooresoleimani14@gmail.com,
mansooresoleimani14@ardakan.ac.ir

در این تحقیق، کفیران پس از کشت دانک‌های کفیر و استخراج از آن، به صورت ترکیبی با ژل آلئوئوره و گوار در سطوح مختلف (۲۸۳٪، ۵۰٪، ۵۰٪، ۸۰٪، ۱۱۰٪، ۱۷٪) (درصد وزنی) و عربی (۵۰٪ صمغ‌ها) به بستنی افزوده و اثرات آن بر ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی بستنی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش آنالیز واریانس توسط مدل مناسب تعقیبی در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از نرم افزار Design Expert 12 انجام گرفت. نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی بستنی مورد مطالعه نشان داد افزودن هیدروکلوئیدها منجر به افزایش ویسکوزیته، سرعت ذوب و چسبندگی تیمارهای بستنی می‌شود به طوری که تیمارهای حاوی ۱۷٪ کفیران کمترین (۰.۲۵ pas/s) - ۴۲٪ (۱۷.۳۱MJ) و ۱۷٪ گوار (۰.۲۸۲ pas/s) و ۸۰٪ (۱۸.۱۱MJ) بیشترین مقدار را دارا بودند. با افزایش صمغ‌ها سختی تیمارهای بستنی افزایش یافت به طوری که این مقدار برای تیمارهای ۱۷٪ کفیران کمترین (۱۸۳۴.۱۱gr/cm²) و ۱۷٪ گوار (۱۹۸۹.۶gr/cm²) بالاترین مقدار را دارا بودند. افزایش صمغ‌ها منجر به حجم‌افزایی تیمارهای بستنی می‌شود. تصاویر FE-SEM تیمارهای حاوی سطح ۱۷٪ کفیران و گوار نشان داد که تیمار ۱۷٪ گوار دارای ذراتی کروی با چروکیدگی کم و بدون پارگی بود و سطح یکنواختی را نشان داد. نتایج DLS نشان داد اندازه ذرات تیمارهای دارای کفیران ۱۷٪ دارای میانگین قطر ۱ تا ۳.۵ میکرون بودند. نتایج آزمون ارگانولپتیکی تیمارهای بستنی نشان داد تیمارهایی که نسبت بیشتری کفیران داشتند از نظر فاکتور رنگ و پذیرش کلی امتیاز بالاتری نسبت به نمونه‌های حاوی گوار داشتند.

۱- مقدمه

بستنی در واقع یک سیستم کلوئیدی پیچیده یا نوعی «کف منجمد» است که در آن، سلول‌های هوا، کریستال‌های ریز یخ و قطرات چربی به صورت یکنواخت درون یک فاز مایع غلیظ و چسبناک (فاز سرمی) توزیع شده و با هم درآمیخته‌اند. عناصر ساختاری مختلف، از جمله محتوا و نسبت یخ، محتوای چربی، میزان تجمع چربی، ویسکوزیته بیش از حد، تأثیر زیادی بر ساختار بستنی دارند و بنابراین بر ادراک حسی تأثیر می‌گذارند. پایدار کننده‌ها گروهی از بیوپلیمرها می‌باشند که در فرمولاسیون بستنی باعث ایجاد نرمی در بافت، کاهش سرعت ذوب شدن و کاهش رشد کریستال‌های یخ می‌شوند و به موجب این عملکردها نقش بسزایی در کیفیت بستنی دارند [۱ و ۲]. هیدروکلوئیدهای وسیعی در صنایع غذایی با منشا متفاوت شناسایی شده‌اند؛ از جمله این ترکیبات می‌توان به کفیران اشاره نمود. کفیران یا گلوکولاکتان از اجزای سازنده دانه‌های کفیر می‌باشند که توسط فلور میکروبی دانه‌ها تولید می‌گردد [۳]. کفیران دارای واحدهای ۳ گلوکوزی و ۳ گالاکتوزی می‌باشد که تکرار می‌گردد. کفیران حاوی پلیمری از D- گلوکز و D- گالاکتوز به نسبت ۱:۱ می‌باشد [۴ و ۵]. طبق گزارش برخی محققین، کفیران به وسیله تعدادی از باکتری‌های کفیر (لاکتوباسیلوس برویس، لاکتوباسیلوس کفیرانوفاسینس، لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس، لاکتوباسیلوس هلوتیکوس، لاکتوباسیلوس برویس، استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوکوکوس لاکتیس) تولید می‌شود [۴]. در دهه اخیر این پلی‌ساکارید جهت بهبود ویژگی‌های مواد غذایی و غنی‌سازی آنها کاربرد وسیعی داشته است. در ذیل به گزارش‌های برخی محققین در این زمینه کاربرد هیدروکلوئیدها در بستنی گزارش شده است. Zarei و همکاران (۱۳۹۹) جهت غنی‌سازی بستنی، مقادیر مختلف فیتواسترول به مخلوط بستنی اضافه نموده و نمونه‌های بستنی را به مدت ۶۰ روز در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری کردند. آنها پس از بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی گزارش کردند با افزایش درصد فیتواسترول،

مقادیر اسیدیته، مواد جامد کل، افزایش حجم چربی، مقاومت به ذوب و ویسکوزیته در بستنی افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند [۶]. کاسمنت و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر هیدروکلوئیدها را بر کیفیت انبارمانی بستنی مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند که برخی پایدارکننده‌های منجر به کاهش یا تأخیر رشد بلورهای یخ می‌شود و ترکیب صمغ گوار و گزانتان تأثیر پایدارکنندگی بهتری در بهبود کیفیت بافت و طعم داشته و ترکیب صمغ لوبیای لوکاست و کاراگینان ماندگاری بستنی را بطور قابل ملاحظه‌ای کم می‌کند [۷]. رینکن و همکاران (۲۰۰۶) مخلوطی از صمغ‌های *Acacia glomerosa*، *Enterolobium cyclocarpum* و *Hymenaea courbaril* را به عنوان تثبیت کننده در فرمولاسیون بستنی مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند بستنی‌های حاوی مخلوط صمغ‌ها، ویسکوزیته مناسب و بافت مطلوب‌تری را نسبت به تیمارهای حاوی صمغ به صورت جداگانه داشتند. همچنین تیمارهای حاوی مخلوط صمغ‌های تجاری، خاصیت کف‌کنندگی و هوادهی بهتر، و ویژگی‌های حسی بهتری بودند. در نهایت به صورت نتیجه نهایی مخلوط صمغ‌ها نسبت به کاربرد صمغ‌ها به صورت تکی، عملکرد مناسب‌تری در تهیه بستنی نشان دادند [۸]. جاویدی و همکاران (۱۳۹۱) اثر صمغ‌های گوار، دانه ریحان و مخلوط ۵۰:۵۰ آن‌ها بر خصوصیات بستنی کم‌چرب و نیم‌چرب در مقایسه با نمونه پرچرب را مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش کردند با کاهش چربی، ویسکوزیته ظاهری کاهش، سرعت ذوب و ضریب افزایش حجم افزایش می‌یابد، اما با افزودن صمغ به‌عنوان جایگزین چربی و افزایش غلظت آن، روند معکوسی در این سه ویژگی دیده شد می‌شود [۹]. با توجه به پژوهش‌های گزارش شده و عدم استفاده ترکیبی کفیران و هیدروکلوئیدهای گیاهی ژل آلوه‌ورا و گوار در فرمولاسیون بستنی، لذا این پژوهش با هدف امکان‌سنجی قابلیت کاربرد ترکیب کفیران به همراه هیدروکلوئیدهای گیاهی در فرمولاسیون بستنی و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ارگانولپتیکی و رئولوژیکی آن طراحی شد.

۲- مواد و روش

کشت دانک کفیر

در این تحقیق دانک کفیر (مجموعه‌ای از اسید لاکتیک باکتری‌ها و قارچ‌ها) به مدت ۹ ماه در شیر پس چرخ پاستوریزه (به نسبت ابه ۵)، شیر خشک (آذربایجان شرقی) دوغ یا ماست (پگاه گلستان) (جهت کاهش pH) کشت داده شد و در اینکوباتور مجهز به همزن، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شد. عمل پاساژ دادن دانک‌های کفیر، هر ۲۴ ساعت یک بار تحت شرایط استریل، در ظروف استریل انجام شد. افزودن شیرخشک، ماست و یا دوغ، به صورت تجربی جهت افزایش سرعت رشد دانک‌های کفیر، به شیر پس چرخ حاوی دانک‌های کفیر افزوده شد [۱۰].

استخراج کفیران از دانک کفیر

جهت استخراج کفیران، از روش سلیمانی فرد و همکاران (۱۳۹۶) با یکسری تغییرات جزئی استفاده شد. بدین شکل که مقدار مشخصی از دانک کفیر در آب جوش (نسبت ۱ به ۳ در آب جوش) به مدت ۳ ساعت همزده شد. مخلوط حاصل با استفاده از سانتریفوژ یخچال دار (مدل هانپیل، کره جنوبی) در دور rpm ۱۰۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. کفیران محلول با افزودن اتانول (سرد)، بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای یخچال، جدا شد. محلول حاصل در سانتریفوژ یخچال دار در دور rpm ۱۰۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. رسوب حاصل به نسبت ۱ به ۵ با آب جوش مخلوط و دو بار شستشو داده شد. در نهایت محلول حاصل (کفیران) با استفاده از خشک کن تصعیدی (مدل اپرون، کره جنوبی) خشک و به صورت پودر تهیه شد [۱۱].

تهیه پودر ژل آلونته ورا

برگ‌های بالغ و شاداب گیاه آلونته ورا پس از تهیه از بازار، شستشو شده، سپس بافت گوشتی ژله‌ای بین اپیدرم بالایی و پایینی برگ وجود دارد، به آرامی و به صورت لایه لایه و به طور دستی جداسازی شد (Agarry, O.O., Olaleye, M.T., Bello, C.O. 2005). در ادامه، ژل آلونته ورا توسط کارد تیز خرد شده و توسط مخلوط کن به خوبی مخلوط و همزده شد. در نهایت ژل آلونته ورا از صافی پارچه‌ای عبور داده شده و ژل شفاف و یکنواخت آلونته ورا جمع آوری شد. در نهایت، ژل آماده شده در آن با دمای ۵۰ درجه تا رسیدن به وزن ثابت طی ۶ ساعت، خشک شد. سپس پودر خشک شده توسط دستگاه الک شیکر مدل Retsch (ساخت آلمان)، آسیاب شده و ذرات درشت آن توسط الک‌هایی با مش با اندازه‌هایی به ترتیب ۱۲۵ میکرومتر، ۲۵۰ میکرومتر، ۵۰۰ میکرومتر و ۱ میلی‌متر حذف گردید [۱۲].

فرآیند تولید بستنی غنی شده

جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون بستنی از نرم افزار Design Expert 12 و بررسی مقالات پژوهشگران استفاده شد. بدین منظور ۷۸.۵ درصد شیر ۱۰ درصد چربی (ترکیب شیر ۲.۵ درصد و خامه ۱۰ درصد چربی به روش مربع پیروسون)، ۱۸ درصد شکر، ۰/۴ درصد پایدارکننده (عربی ۰/۴۹)، مجموع کفیران، ژل آلونته ورا و گوار ۰/۵۱)، ۲.۳ درصد شیرخشک و ۰.۸ درصد پودر عصاره پرتقال بکار گرفته شد (جدول ۱). جهت تهیه نمونه‌ها، مقدار لازم از مواد اولیه به روش موازنه جرم محاسبه و توزین شدند. نخست، اجزای مایع مخلوط بستنی شامل خامه و شیر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با یکدیگر مخلوط شده و دمای مخلوط تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از حمام آب گرم افزایش داده شد. سپس اجزاء خشک تشکیل دهنده با هم مخلوط شده و تا دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند. در این مخلوط مواد خشک به شیر ۱۰ درصد چربی اضافه گردید

افزایش ویسکوزیته، مقاومت به ذوب، افزایش حجم و بهبود بافت می‌شود و قابلیت هم زدن را ارتقا می‌بخشد. بعد از طی دوره رساندن مقدار مورد نیاز از مخلوط جهت انجام آزمایش‌های رئولوژیکی کنار گذاشته شده و مابقی مخلوط بستنی به وسیله بستنی ساز (Feller-Germany) در دمای صفر درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه منجمد گردید. سپس نمونه‌های آماده شده در ظروف پلی پروپیلن بسته‌بندی و کدگذاری شد و جهت انجام آزمون‌های بعدی در فریزر ۱۸- درجه سانتی-گراد نگهداری شد [۱۲].

و به مدت ۲ دقیقه دیگر هم زده شد. در ادامه جهت مخلوط کردن کامل محصول، هموزنی‌اسیون در دور rpm ۵۰۰۰ به مدت ۵ دقیقه انجام شد. پاستوریزاسیون مخلوط در دمای ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه به صورت غیر مداوم در حمام آب گرم انجام شد. بلافاصله پس از پاستوریزاسیون، مخلوط آماده شده توسط مخلوط آب و یخ تا دمای ۴ درجه سانتیگراد سرد شد. پودر عصاره پرتقال در این دما به مخلوط اضافه شده و سپس مخلوط بستنی جهت طی نمودن دوره رساندن به مدت ۲۴ ساعت در داخل یخچال در دمای ۴ درجه سانتیگراد قرار گرفت (مارشال و آربوکل، ۱۹۹۶). مرحله رسیدن بستنی سبب

Table 1. Formulation of ice cream treatments

Treatment	شیر ۱۰٪ چربی	Stabilizers (0.4 %)			Orange extract powder	Milk powder	Sugar
		عربی	Kefiran	Aloe vera gel			
1	78.5	0.196	2.83333	2.83333	0.8	2.3	18
2	78.5	0.196	0	17	0.8	2.3	18
3	78.5	0.196	5.66667	5.66667	0.8	2.3	18
4	78.5	0.196	0	8.5	0.8	2.3	18
5	78.5	0.196	8.5	8.5	0.8	2.3	18
6	78.5	0.196	11.3333	2.83333	0.8	2.3	18
7	78.5	0.196	0	0	0.8	2.3	18
8	78.5	0.196	2.83333	11.3333	0.8	2.3	18
9	78.5	0.196	8.5	0	0.8	2.3	18
10	78.5	0.196	0	17	0.8	2.3	18
11	78.5	0.196	17	0	0.8	2.3	18

دمای مخلوط بستنی ۵ درجه سانتی گراد اندازه‌گیری ویسکوزیته در دور rpm ۱۰۰ انجام شد [۱۳].

در نمونه کنترل، ۰.۴٪ استابیلیزر، فقط صمغ عربی در نظر گرفته شد.

ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های بستنی قبل از عملیات انجماد و پس از عمل رساندن توسط دستگاه ویسکومتر بروکفیلد DVII در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد با درجه برش ۱/۵ ۵۱/۷، در ظرفی با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر انجام شد (کنترل دما با مخلوط آب و یخ). براساس ویسکوزیته مخلوط از پروب‌های L1, L2, L3 استفاده شد. مخلوط بستنی پس از طی دوره رسیدن در کاپ دستگاه ریخته شد.

وزن مخصوص

وزن مخصوص نمونه‌های مخلوط بستنی به روش پیکنومتری در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد اندازه‌گیری شد. روش کار به این صورت بود که وزن پیکنومتر خشک و خالی (G)، وزن پیکنومتر همراه با آب مقطر (G1) و وزن پیکنومتر همراه با

پروب به داخل نمونه، نیروی گراویتی به مدت ۵ دقیقه اعمال شد. عمق نفوذ پروب با سختی نمونه رابطه معکوس داشت [۱۳].

سرعت ذوب شدن^۲

نمونه‌ای از تیمارهای بستنی را از انتهای یک ظرف مستطیلی شکل برش داده شد تا یک بلوک مستطیل شکل بستنی که وزن آن معادل ۱۰۰ گرم است، تهیه شود. ابعاد نمونه یک بستنی به بستنی دیگر (۶ تا ۷ سانتی متر × ۶ تا ۷ سانتی متر × ۳ سانتی متر) به دلیل تفاوت در ویژگی‌های فیزیکی (Overrun) متفاوت بود. نمونه بستنی (در ابتدا در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد) روی صفحه سیمی (۶ سوراخ در سانتی متر) در بالای قیف قرار گرفت که به یک سیلندر منتهی می‌شد. بستنی در یک انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (۵۰٪ RH) قرار گرفت. سپس به مدت ۳ ساعت ۹۰ دقیقه‌ای، در توالی ۵ دقیقه‌ای، حجم قطره ای ثبت شد. زمان (حداقل) در برابر حجم قطره ترسیم شد و شیب فرآیند ذوب اصلی به عنوان نرخ ذوب در نظر گرفته شد [۱۳].

آزمون پراکندگی دینامیکی نور

جهت بررسی اندازه ذرات از دستگاه سنجش اندازه ذرات (زتاسایزر) استفاده شد. بدین منظور نمونه بستنی خشک شده به روش پاشش، قبل از تزریق به دستگاه در اتانول حل شده و کاملاً یکنواخت و هموژن شد، سپس اندازه گیری در دمای محیط توسط دستگاه آنالیز تفرق نوری لیزری انجام شد. متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی مشخص شد [۱۷].

آزمون بررسی پوشش دهی

ویژگی‌های مورفولوژی تیمارهای خشک شده بستنی به روش پاششی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) تعیین شد. ۱۰ میلی-گرم از نمونه مورد نظر به یک فلز متصل شده با طلا پوشیده

مخلوط (G2) را اندازه گرفته و وزن مخصوص از رابطه زیر محاسبه شد [۱۴].

$$\text{Specific Gravity} = \frac{G2 - G}{G1 - G} \quad \text{معادله ۱}$$

pH

ارزیابی pH تیمارهای بستنی، قبل از انجماد توسط pH متر دیجیتال (EDT, Model Gp353)، انجام شد [۱۵].

افزایش حجم^۱

اندازه‌گیری افزایش حجم، از طریق مقایسه وزن مخلوط بستنی (قبل از انجماد) و بستنی (بعد از انجماد) در یک حجم مشخص و فیکس شده، محاسبه شد. درصد افزایش وزن از طریق معادله ۲ محاسبه گردید [۱۶].

$$\text{Overrun} = \frac{\text{weight of mix} - \text{weight of ice cream}}{\text{weight of ice cream}} \times 100 \quad \text{معادله ۲}$$

آزمون بافت سنجی

جهت اندازه‌گیری سختی بافت، از یک پنترومتر (Precision Penetrometer, Precision Scientific Company, Chicago) جهت اندازه‌گیری سفتی بستنی در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد استفاده شد. نمونه‌ها به سرعت به دستگاه پنترومتر منتقل شده و در دمای اتاق نگهداری شدند؛ سپس آنالیز تیمارها طی ۳۰ ثانیه جهت کاهش حداقل تغییرات در بافت نمونه، انجام شد. دستگاه پنترومتر مجهز به یک پروب استیل ضد زنگ (مخروط ۶۰ درجه با قطر حداکثر ۶.۵ سانتی متر) بوده و موقعیت آن همراستا با تیمار و بر سطح آن تماس داشت. سپس جهت نفوذ

2. Melting rate

1. Overrun

اطمینان ۹۵ درصد ($p \leq 0.5$) بکار گرفته شد. تمامی آزمون‌ها جهت حذف اثرات و شرایط محیطی، در دو بلاک و سه تکرار انجام شدند. از بین نمودارهای حاصل، نمودارهای 3D Surface & Real Contour انتخاب و ارائه شدند.

۳- نتایج و بحث

ویسکوزیته یا مقاومت به حرکت

ویسکوزیته یکی از فاکتورهای مهم جهت نگهداری هوا در مخلوط بستنی طی همزدن آن، و همچنین یک فراسنجه اساسی جهت انتخاب همزن مخلوط، پمپ انتقال و تجهیزات مرتبط با آن به شمار می‌رود [۱۹]. همچنین ویسکوزیته، فراسنجه مهمی در سرعت خامه‌ای شدن، سرعت انتقال حرارت و ذوب شدن، سرعت انتقال جرم، نحوه و سرعت جریان شیر و فرآورده‌های مرتبط با آن می‌باشد [۱۹]. ذکر این نکته ضروری است که عوامل مهمی بر ویسکوزیته مخلوط بستنی تاثیر دارد، از جمله این عوامل، می‌توان ترکیبات تشکیل دهنده مخلوط بستنی به ویژه نوع و مقدار چربی‌ها و اسایلیزرها را نام برد (بهرام پرور و همکاران، ۱۳۸۷). شکل ۱ مقادیر ویسکوزیته تیمارهای بستنی با مقادیر متفاوت پایدارکننده‌ها نشان داده است. برای ارزیابی ویسکوزیته نمونه‌های بستنی، مدل Linear vs Mean مدل پیشنهادی و معنی دار ($p \leq 0.05$) پیشنهادی توسط نرم افزار داد. نتایج نشان داد که افزودن هیدروکلئیدها منجر به افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی می‌شود که این ویژگی به دلیل جذب آب و تشکیل شبکه ژل مانند می‌باشد. در مقایسه تیمارها با هم مشخص شد به ترتیب کفیران کمترین (۰/۲۵ پاسکال/ثانیه) و گوار بیشترین (۰/۲۸۲ پاسکال/ثانیه) ویسکوزیته را در مخلوط‌های بستنی ایجاد کرد که به قدرت جذب آب آنها وابسته بود. Amiri و همکاران (۱۳۹۱) با افزودن موسیلاژ حاصل از دانه ریحان و اسفرزه به مخلوط بستنی گزارش کردند که افزایش غلظت صمغ‌های طبیعی منجر به افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی می‌شود

شد و ویژگی‌های سطحی و شکل نمونه‌ها با استفاده از FE-SEM مشاهده گردید [۱۸].

آزمون ارگانولپتیکی

ارزیابی ویژگی‌های ارگانولپتیکی تیمارهای بستنی، توسط ۱۲ نفر پانلیست انجام شد. پانلیست‌ها جهت آشنایی با ویژگی‌های هدف در محصول نهایی از جمله نرمی، یکنواختی در بافت، عدم حالت شنی و کلوخه‌ای در بستنی، طعم تازه و عاری از پختگی، عطر مناسب، رنگ نهایی مخلوط، و پذیرش کلی محصول نهایی آموزش داده شدند. در این آزمون، از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد که به محصول با شرایط متفاوت از جمله عالی امتیاز ۵، خوب ۴، متوسط ۳، بد ۲ و خیلی بد ۱، تعلق گرفت. مقداری نان و یک فنجان آب بین نمونه‌ها جهت تمیز کردن کام پانلیست‌ها، به آنها ارائه شد.

آنالیز آماری

در مرحله اول به منظور بهینه سازی تولید فرمولاسیون بستنی، از نرم افزار Design expert 12 و روش Mixture Components استفاده شد. سه ترکیب کفیران، ژل آلون و گوار به عنوان متغیرهای مستقل در چند سطح پیشنهادی نرم افزار مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱) و اثر هر یک از این متغیرهای مستقل بر روی فاکتورهای مد نظر در تحقیق، مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله دوم، جهت تجزیه و تحلیل آماری نتایج نرم افزار Design expert 12 نیز بکار گرفته شد. در مرحله تحلیل، بعد از بررسی نمودارهای (Diagnostics, Normal Plot, Residual Vs Prediction, Cook's Distance & Analysis of Variance) و جداول (Box-Cox Plot & Fit Statistics)، در صورت غیرمعنادار بودن مدل اولیه برای هر فاکتور، بهترین مدل پیشنهادی نرم افزار (بعد از بررسی مدل‌های Linear vs Mean, Quadratic vs Linear, Sp Cubic vs quadratic, Cubic vs Sp Cubic, Quadratic vs Cubic, Sp Quadratic vs Quadratic, Quadratic vs Sp Quaraic) با سطح

پلیمری و همچنین برهم‌کنش‌های آهن با زنجیره‌های پلیمری در مخلوط می‌باشد [۲۶]. در نهایت این که با وجود پژوهش‌ها انجام شده در این زمینه، هنوز مقدار دقیق و مناسبی برای مصرف هیدروکلوئیدها جهت ایجاد ویسکوزیته مناسب گزارش نشده است. احتمال می‌رود این واقعیت به دلیل غلظت‌های متفاوت مخلوط نهایی توسط پایدار کننده‌های متفاوت در مقادیر یکسان، قدرت جذب مختلف آنها، همچنین گروه‌های عاملی متفاوت در ساختار پایدار کننده‌ها و در نتیجه میزان اتصال یا واکنش با آب یا مخلوط بستنی، قدرت متفاوت هیدروکلوئیدهای بومی و سنتزی در ایجاد پایداری، پایداری شبکه ژله‌ای، حضور یون‌ها و ترکیبات موثر بر پایداری شبکه حاصل شده، و همچنین مواردی مشابه باشد.

[۲۰]. Javidi و همکاران (۱۳۹۴) با افزودن صمغ‌های گوار و دانه ریحان و جایگزین کردن آنها با چربی گزارش کردند افزایش غلظت صمغ‌ها منجر به افزایش ویسکوزیته شده ولی در مقایسه با تاثیر چربی بر افزایش ویسکوزیته، این افزایش به طور چشمگیر و معنی‌داری کمتر می‌باشد [۹]. برخی پژوهشگران تاثیر مثبت فیبرهایی مانند اینولین، فیبر جو و گندم، پکتین موجود در پودر کدو حلواپی و پودر پکتین به صورت جداگانه را بر ویسکوزیته مخلوط بستنی (به دلیل افزایش غلظت مواد حل شده سرم مخلوط و تشکیل شبکه ژل مانند) و ایزوله پروتئین جوانه گندم را گزارش کردند [۲۵-۲۱]. از جمله دلیل ایجاد تغییر ویسکوزیته مخلوط بستنی توسط هیدروکلوئیدها به وزن مولکولی بالا، انعطاف‌پذیری محدود بین مونومرهای سازنده زنجیره

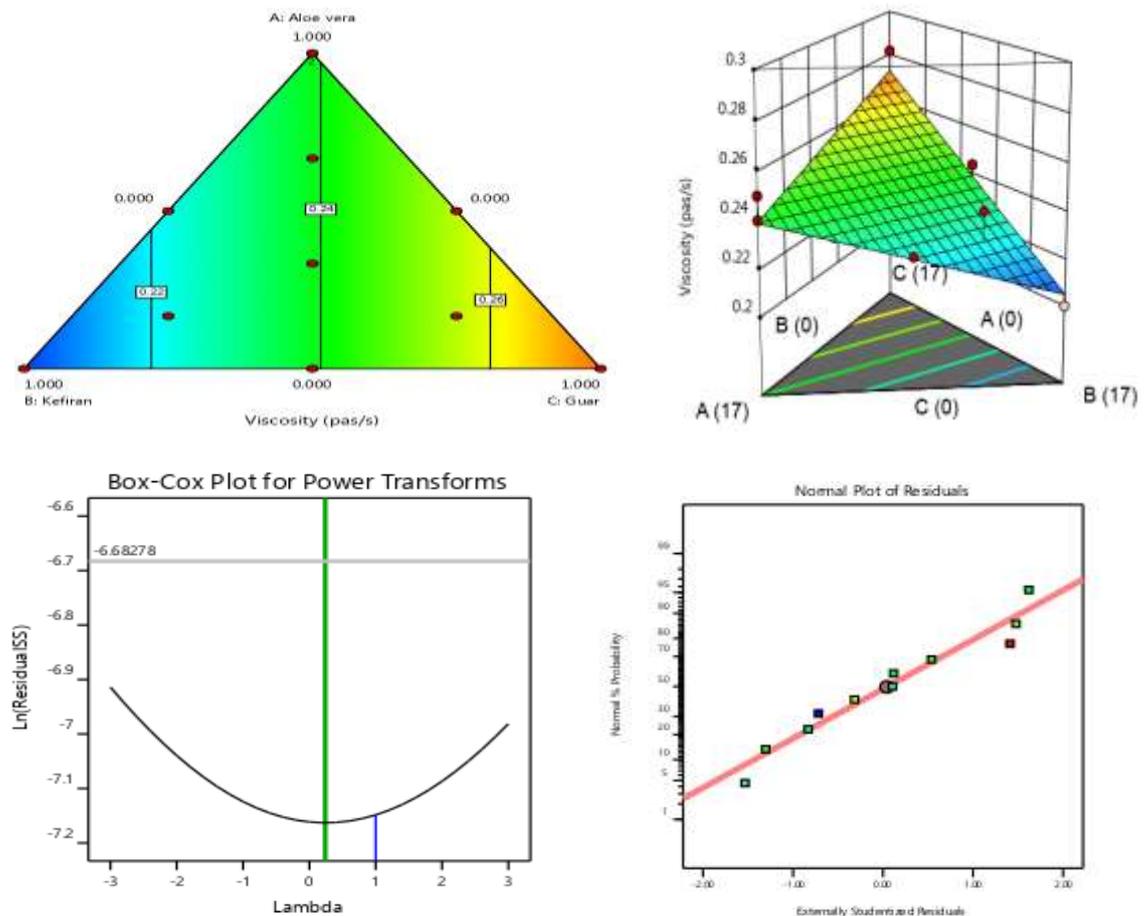
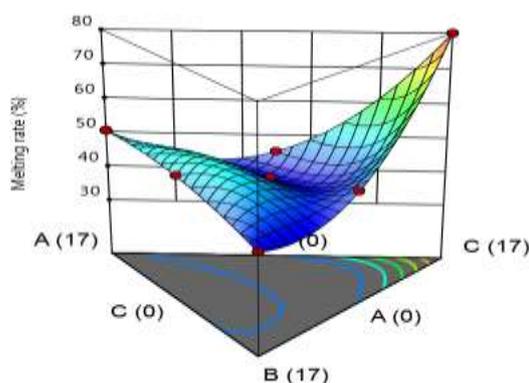
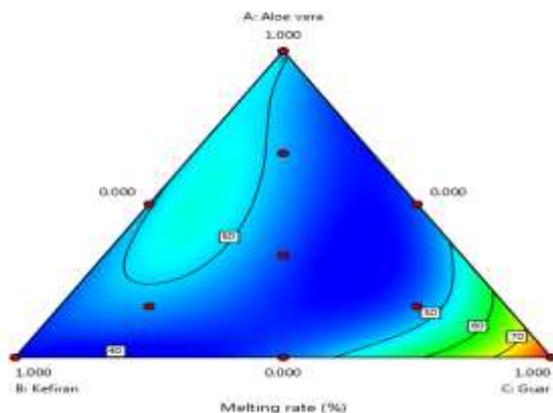


Fig 1. The effect of different gums on the viscosity of ice cream treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

سرعت ذوب شدن

کاهش ورود هوا به مخلوط بستنی، نقش عایق بودن هوا کم‌تر شده (افزایش سرعت انتقال حرارت) و به دنبال آن سرعت ذوب شدن بستنی بالا می‌رود [۲۰ و ۲۸]. دیدگاه دوم، به موضوع ویسکوزیته مخلوط بستنی اشاره دارد. این احتمال وجود دارد که با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها یا صمغ‌ها یا پودرهای جاذب آب و تشکیل دهنده ژل، به دلیل جذب آب و افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی، زمان بیشتری برای توزیع یخ ذوب شده (آب حاصل از ذوب شدن یخ) در شبکه بستنی لازم می‌باشد؛ که نتیجه نهایی آن رابطه معکوس غلظت هیدروکلوئیدها با سرعت ذوب شدن بستنی را نشان می‌دهد [۲۰ و ۲۸]. دیدگاه سوم به موضوع شبکه ژلی درشت مولکول‌ها اشاره دارد. این دیدگاه به این شرح است که افزایش درشت مولکول‌ها و جذب آب توسط آنها منجر به تشکیل یک شبکه ژل مانند می‌شود و ذرات آب به شکل قطره در لابه لای شبکه به دام می‌افتد، ولی از طرفی این آب، به آب آزاد معرفی و در محصول باقی می‌ماند. بنابراین در زمان انتقال حرارت و گرم شدن بستنی، تیمارهای حاوی شبکه ژله‌ای، در مقایسه با نمونه شاهد سریع‌تر ذوب می‌شوند [۲۹]. با وجود دیدگاه‌های متفاوت و ضد و نقیض، و همچنین بر اساس مطالعات پژوهشگران، این مطلب منتج می‌شود که به صورت کلی با افزایش حجم هوا و افزایش حجم‌افزایی (کاهش سرعت انتقال حرارت) و غلظت هیدروکلوئیدها (به دلیل تشکیل شبکه ژله‌ای و محبوس کردن آب) همچنین هیدروکلوئیدهایی با نیروی برشی کمتر، سرعت ذوب شدن کاهش می‌یابد.

ساختار و شبکه بستنی تاثیر ویژه و بسزایی در ویژگی سرعت ذوب شدن بستنی دارد. از جمله این فراسنجه‌ها می‌توان به مقدار هوای ورودی به شبکه بستنی، ماهیت کریستال‌های یخ و شبکه گلبول‌های چربی تشکیل شده طی عمل انجماد بستگی دارد [۲۳ و ۲۷]. برای ارزیابی سرعت ذوب شدن نمونه‌های بستنی، مدل Quadratic vs Linear مدل پیشنهادی و معنی‌دار ($p \leq 0.05$) پیشنهادی توسط نرم افزار داد. شکل ۲ نتایج تاثیر افزودن صمغ‌ها بر سرعت ذوب شدن یا مقاومت به ذوب شدن بستنی را نشان می‌دهد. بر اساس مقایسه نتایج بخش سرعت ذوب شدن و حجم‌افزایی مشخص شد هر کدام از تیمارها کاهش حجم بیشتری داشتند مقاومت به ذوب بیشتر یا به عبارتی سرعت ذوب کمتری را نشان دادند. بر اساس نتایج مشخص شد که فرمولاسیون حاوی کفیران به دلیل حجم‌افزایی بیشتر، سرعت ذوب شدن کمتر (۴۲ درصد)، و فرمولاسیون حاوی گوار به دلیل افزایش ویسکوزیته و ورود هوای کمتر و در نتیجه خاصیت عایق بودن و کاهش سرعت انتقال حرارت؛ سرعت ذوب شدن بالاتری را نشان داد (۸۰ درصد). بر اساس مطالعه نتایج پژوهشگران در مورد تاثیر افزودن صمغ‌ها بر ویژگی مقاومت به ذوب شدن یا سرعت ذوب شدن چند دیدگاه وجود دارد، دیدگاه اول به این شرح است که افزودن صمغ‌ها به دلیل افزایش ویسکوزیته، منجر به کاهش ورود هوا طی عملیات همزدن و هوادهی می‌شود که در نتیجه این عمل، با



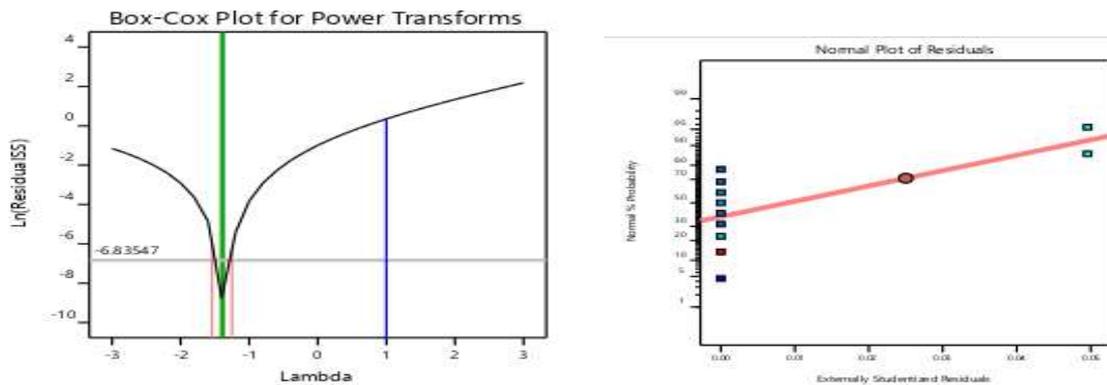


Fig 2. The effect of different gums on the melting rate of ice cream treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

آلوه ورا به ترتیب ۲۷.۱۱ و ۳۶.۸ درصد و برای صمغ کفیران این مقدار ۳۸.۴ درصد مشاهده شد. Amiri و همکاران (۱۳۹۱) با افزودن صمغ حاصل از دانه اسفرزه و دانه ریحان به مخلوط بستنی گزارش کردند با افزایش غلظت موسیلاژ دانه اسفرزه، میزان حجم بستنی کاهش می‌یابد در حالی که با افزایش غلظت موسیلاژ دانه ریحان عکس این موضوع صادق است که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت، همچنین آنها گزارش کردند با افزودن صمغ ترکیبی (موسیلاژ- ثعلب) با افزایش غلظت پایدار کننده، مقدار حجم‌افزایی تیمارهای بستنی کاهش می‌یابد [۲۰]. Zarei و همکاران (۱۳۹۹) با افزودن فیتواسترول به بستنی گزارش کردند با افزایش مقدار فیتواسترول، حجم تیمارهای بستنی، افزایش معنی‌داری داشتند [۶]. Faraji و همکاران (۲۰۱۴) با جایگزین کردن شکر با شیره انگور به بستنی افزایش حجم در تیمارهای بستنی را گزارش کرد [۳۱]. Mahpour و همکاران (۱۳۹۹) با افزودن ایزوله پروتئین گندم و بررسی تاثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بستنی گزارش کردند افزودن ایزوله پروتئین به دلیل افزایش ویسکوزیته مخلوط بستنی منجر به کاهش معنی‌داری در حجم‌افزایی تیمارهای بستنی شد [۲۵]. Ashourmohammadi & Hosseini. Qaboos (۱۳۹۶) با افزودن پودر کدو حلوایی به مخلوط بستنی گزارش کردند با افزایش پودر کدو حلوایی کاهش

حجم‌افزایی^۱

حجم‌افزایی به دلیل تاثیر مثبت بر راندمان و تاثیر ویژه بر بافت و پیکره بستنی از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۳۰]. در شکل ۳ نتایج افزایش معنی دار در تغییرات حجم تیمارهای بستنی مشاهده می‌شود. برخی پژوهشگران گزارش کردند این میزان از افزایش حجم مرتبط با مقدار کل مواد جامد، ویسکوزیته مخلوط؛ غلظت اجزاء سازنده و ترکیب آنها می‌باشد [۲۵]. برای ارزیابی حجم‌افزایی نمونه های بستنی، مدل Quadratic vs Linear پیشنهادی و معنی دار ($p \leq 0.05$) پیشنهادی توسط نرم افزار داد. به طور کلی با افزایش غلظت صمغ‌ها؛ کاهش معنی‌داری در حجم تیمارهای بستنی مشاهده می‌شود [۲۵]. احتمال می‌رود از جمله دلایل کاهش حجم تیمارهای بستنی، افزایش شدید ویسکوزیته و به دنبال آن، کاهش ورود هوا به مخلوط بستنی طی عملیات همزدن و هوادهی اشاره کرد؛ اما این در مورد دو صمغ کفیران و ژل آلوه‌ورا این روند کاهش مشاهده نشد. در این پژوهش با افزایش مقادیر صمغ‌های گوار و ژل آلوه‌ورا نسبت به صمغ کفیران در فرمولاسیون بستنی، افزایش معنی‌داری در کاهش حجم تیمارهای بستنی مشاهده شد (به دلیل غلظت بیشتر صمغ گوار نسبت به کفیران و افزایش ویسکوزیته شبکه بستنی). میزان افزایش حجم برای تیمارهای بستنی حاوی صمغ‌های گوار و ژل

حباب ها به دلیل ترکیدن به شکل نامتقارن و غیر یکنواخت در بافت بستنی توزیع می شوند [۲۲].

چشمگیر و معنی داری در حجم افزایشی تیمارهای بستنی مشاهده می شود، آنها گزارش کردند با افزایش ویسکوزیته، نیروی برشی بیشتری جهت هوادهی و انجماد لازم است و

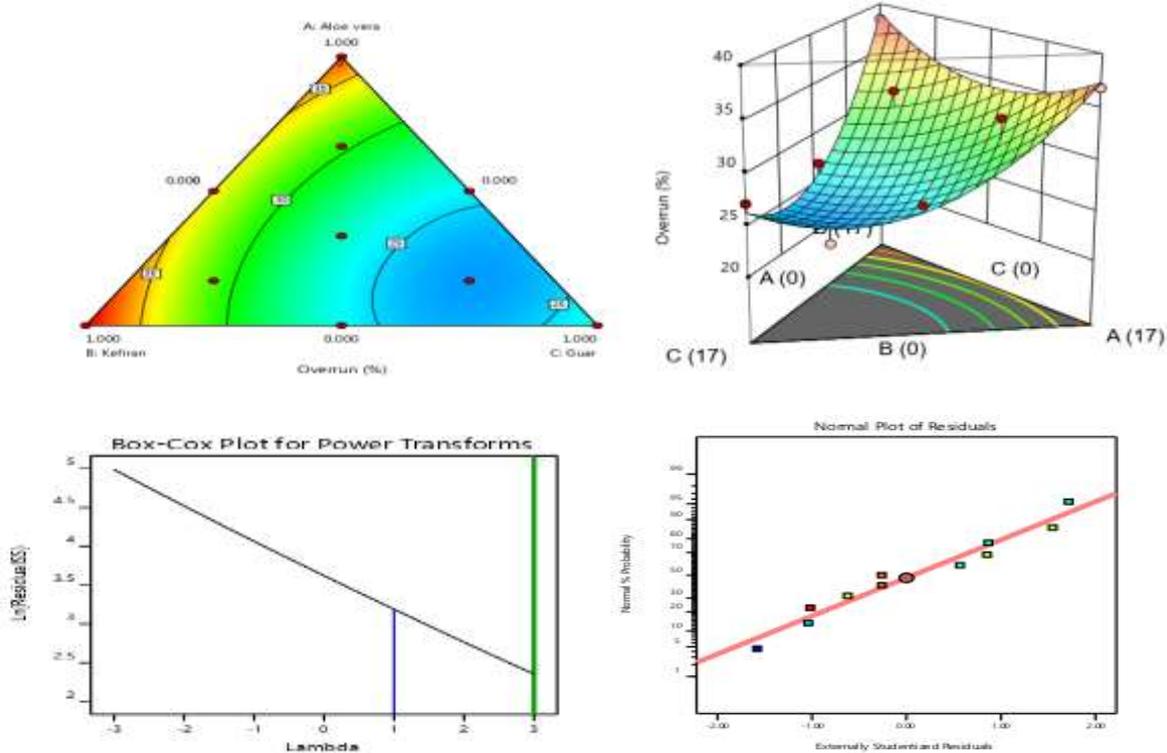


Fig 3. The effect of different gums on the overrun of ice cream treatment (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

بر سختی تاثیر می‌گذارد [۳۴]. Tharp و همکاران (۱۹۹۸) دریافتند که سختی بستنی با افزایش سطح پلی سورفاکتانت ۸۰ (PS80) یا سطح چربی افزایش می‌یابد [۳۵].

برای ارزیابی سفتی بافت نمونه های بستنی، مدل Linear vs Mean پیشنهادی توسط نرم افزار داد. نتایج تغییرات سختی بافت تیمارهای بستنی در شکل ۴ ارائه شده است. کاربرد هیدروکلوئیدها در بستنی منجر به افزایش معنی داری در سختی بافت تیمارهای بستنی می‌شود. بیشترین و کمترین میزان سختی به ترتیب مربوط به تیمار با بالاترین مقدار گوار (۱۹۸۹.۶ گرم بر سانتی متر مربع) و کفیران (۱۸۳۴.۱۱ گرم بر سانتی متر مربع) بود (به دلیل تفاوت در قدرت جذب بالا یا پایین آب). احتمال می‌رود این تغییر به دلیل این

سختی بافت

سختی بستنی به عنوان مقاومت بستنی در برابر تغییر شکل، هنگام اعمال نیروی خارجی اندازه‌گیری می‌شود. سختی بستنی تحت تأثیر عواملی مانند حجم‌افزایی، اندازه کریستال یخ، حجم فاز یخ و میزان بی ثباتی چربی می‌باشد. یک رابطه معکوس بین سختی و حجم‌افزایی توسط بسیاری از محققین ذکر شده است [۲۳، ۳۲، ۳۳ و ۳۴]. دو فاکتور اندازه کریستال یخ و حجم فاز یخ بر سختی بستنی تاثیر مثبت دارند [۲۳]. Sakurai و همکاران (۱۹۹۶) دریافتند که بستنی‌هایی با کریستال‌های یخ بزرگتر نسبت به بستنی‌هایی که کریستال‌های یخ درشت کمتری دارند سخت‌تر هستند [۲۳]. Wilbey و همکاران (۱۹۹۸) دریافتند که سختی بستنی به طور تصاعدی با حجم فاز یخ مرتبط است و شبکه چربی نیز

حجم توده یخ و بزرگ شدن کریستال‌های یخ می‌شود [۲۵]. اسدی نژاد و همکاران (۱۳۸۳)، با بررسی تاثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر به بستنی گزارش کردند کنسانتره پروتئینی منجر به افزایش شاخص سختی در بستنی می‌شود که این نتایج با نتایج حاضر در این پژوهش همخوانی و مطابقت داشت [۳۶].

واقعیت باشد که پودرهای هیدروکلوئید علاوه بر جذب آب موجود در سیستم بستنی و همچنین تراکنش با دیگر اجزای موجود در مخلوط، به عنوان هسته‌ای برای رشد کریستال‌های بزرگ یخ عمل کنند؛ که این عمل منجر به افزایش سفتی بافت در تیمارهای بستنی شود. Mahpour و همکاران (۱۳۹۹) با افزودن ایزوله پروتئین جوانه گندم به بستنی گزارش کردند که افزودن ایزوله پروتئین منجر به افزایش

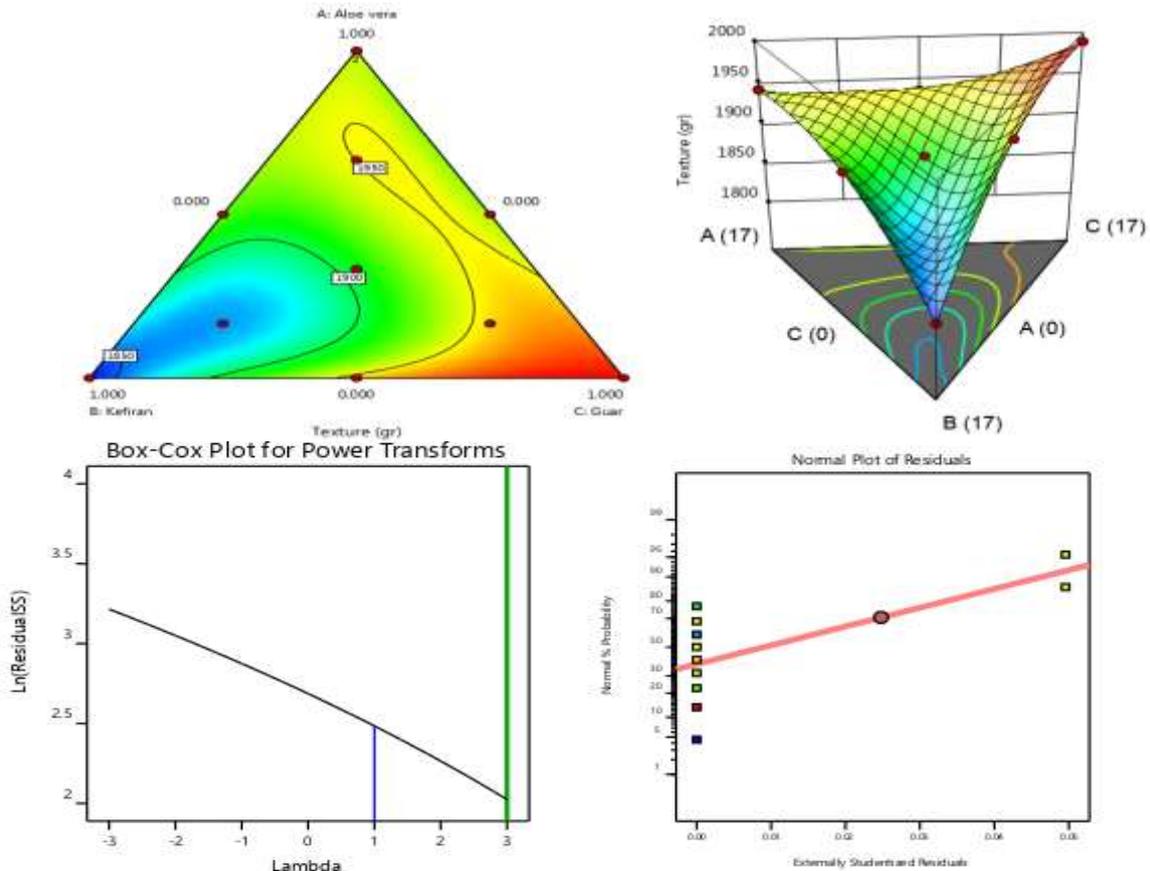


Fig 4. The effect of different gums on the texture of ice cream treatments treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

توسط نرم‌افزار داد. به طور کلی افزودن صمغ به تیمار بستنی منجر به افزایش میزان چسبندگی مخلوط بستنی می‌شود. با توجه به شکل ۵ مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری بین ویژگی چسبندگی تیمارهای بستنی وجود دارد، به طوری که تیمار حاوی بالاترین غلظت گوار و کفیران به ترتیب کمترین (۱۷/۳۱ مگاژول) و بیشترین (۱۸/۱۱ مگاژول) میزان چسبندگی را نشان داد. ماهپور و همکاران (۱۳۹۹) با افزودن ایزوله پروتئینی جوانه گندم گزارش کردند که افزودن

چسبندگی

به مقدار کار لازم جهت غلبه بر نیروی سطح تماس مشترک بین مواد غذایی و سطوح در تماس با آن، چسبندگی گفته می‌شود [۲۱]، که در واقع یک فاکتور جهت نیروی بین مواد غذایی با زبان، دندان و دهان را نشان می‌دهد. برای ارزیابی چسبندگی نمونه های بستنی، مدل Sp Quartic vs Quadratic پیشنهادی و معنی دار ($p \leq 0.05$) پیشنهادی

ماکرومولکول‌های تشکیل دهنده شبکه ژل منجر به افزایش چسبندگی در تیمارهای بستنی می‌شود [۲۵] که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

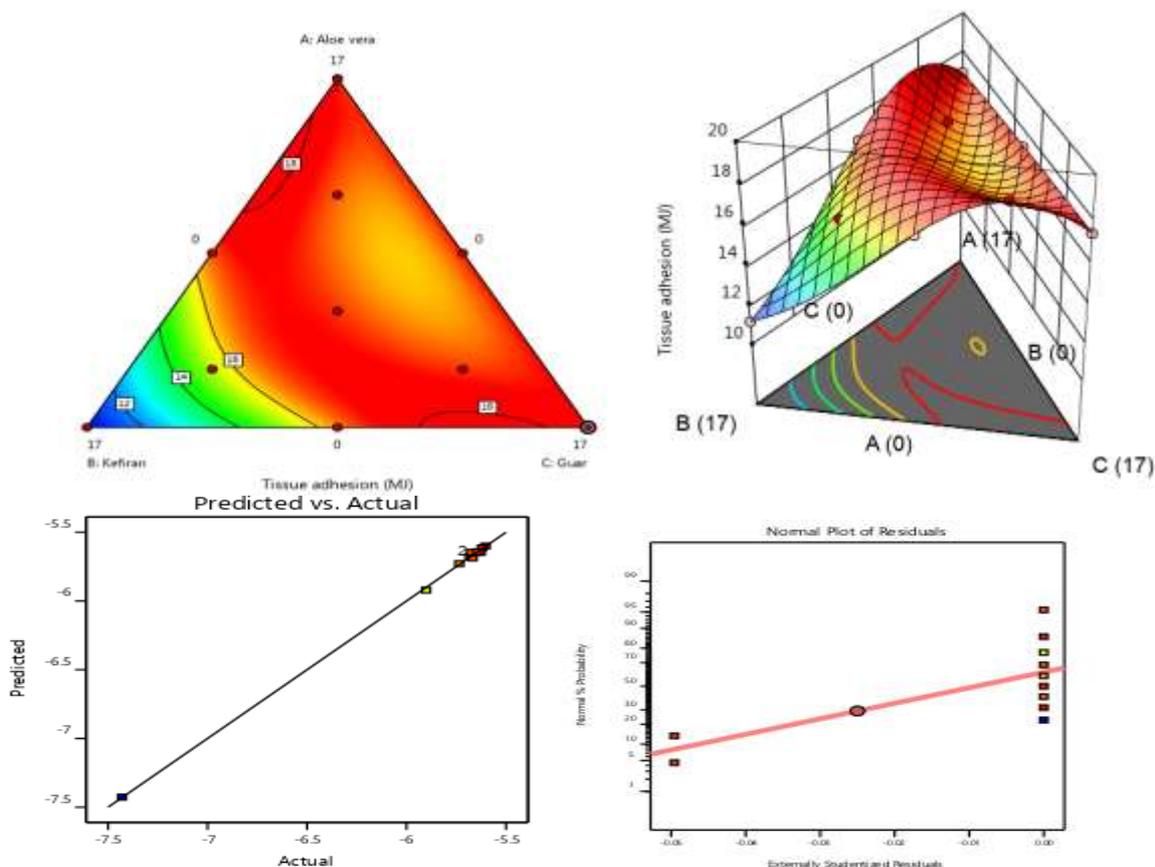


Fig 5. The effect of different gums on the tissue adhesion of ice cream treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

گوار و کفیران، به ترتیب بالاترین (1.21 gr/cm^3) و کمترین (1.07 gr/cm^3) مقدار دانسیته را به همراه داشتند. ماهپور و همکاران (۱۳۹۹) با افزودن ایزوله پروتئینی جوانه گندم گزارش کردند که افزودن ماکرومولکول‌های تشکیل دهنده شبکه ژل منجر به افزایش چسبندگی در تیمارهای بستنی می‌شود [۲۵] که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

دانسیته

برای ارزیابی دانسیته نمونه های بستنی، مدل Sp Cubic vs Quadratic پیشنهادی توسط نرم افزار داد. شکل ۶ نتایج تاثیر افزودن صمغ‌ها به مخلوط تیمارهای بستنی را بر دانسیته تیمارها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود استفاده از صمغ‌ها در مخلوط بستنی به دلیل افزایش جرم بستنی و به دنبال آن جذب آب و افزایش هر چه بیشتر جرم نهایی، منجر به افزایش دانسیته می‌شود. به طوری که تیمار حاوی بالاترین سطح

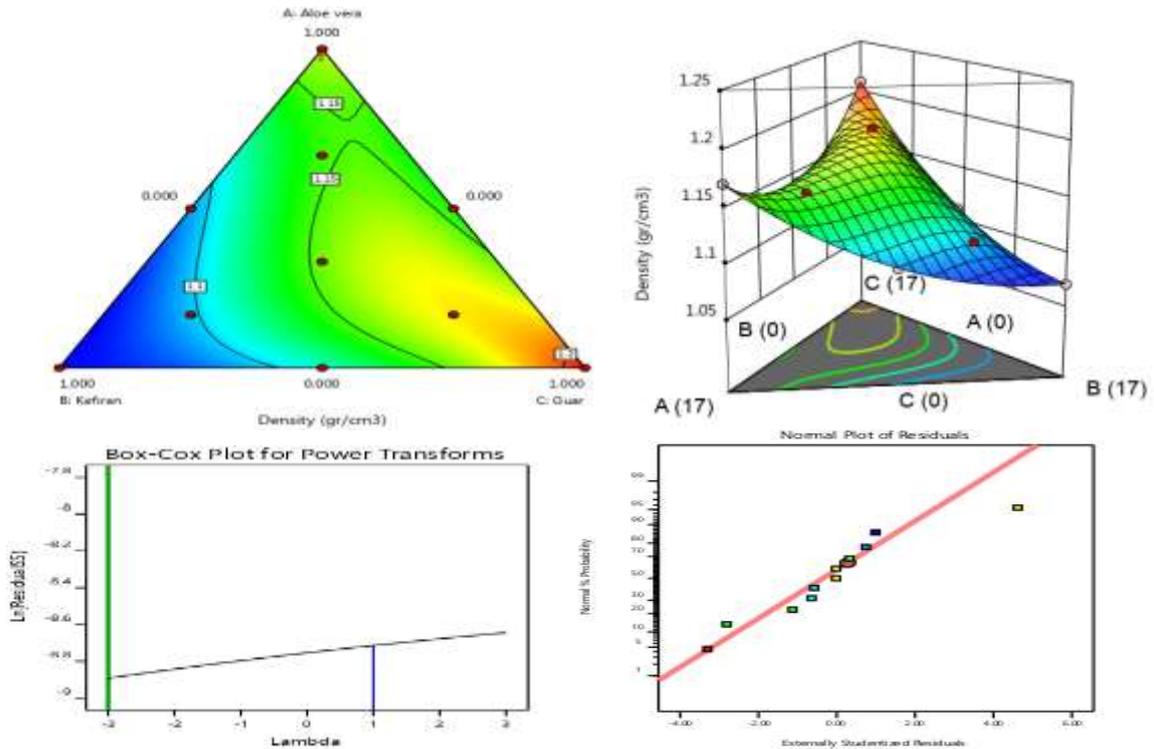


Fig 6. Fig 4. The effect of different gums on the density of ice cream treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

ترتیب در نمونه های بالاترین سطح گوار (تیمار ۳) و بالاترین سطح کفیران (تیمار ۲) بودند. Hwang و همکاران (۲۰۰۹) آب انگور را به فرمولاسیون بستنی افزوده و گزارش کردند آب انگور منجر به کاهش pH نمونه های بستنی می شود [۳۷]، که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت، در حالی که امیری و همکاران (۱۳۹۱) با افزودن صمغ دانه ریحان و اسفرزه به بستنی گزارش کردند هیچ گونه تغییر معنی داری در pH و اسیدیته بستنی مشاهده نشده است [۲۰]. Javidi و همکاران (۱۳۹۲) با افزودن صمغ گوار و دانه ریحان به بستنی گزارش کردند که تغییر معنی داری در pH مشاهده نشد [۹].

سنجش pH

برای ارزیابی pH نمونه های بستنی، مدل linear مدل پیشنهادی و معنی دار ($p \leq 0.05$) بود که نرم افزار پیشنهاد داد. نتایج آزمون اندازه گیری pH در تیمارهای بستنی حاوی مقادیر مختلف پایدارکننده ها در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد با افزودن آگزوپلی ساکارید میکروبی کفیران pH نمونه های بستنی کاهش معنی داری یافت در صورتی که افزودن گوار افزایش معنی دار و چشمگیری در pH نمونه ها مشاهده نشد، ولی سیر صعودی داشت. در حالی که افزایش مقدار ژل آلونه ورا منجر به ننگه داشتن pH در محدوده ۵.۲۵ شد. بالاترین و کمترین مقدار pH به

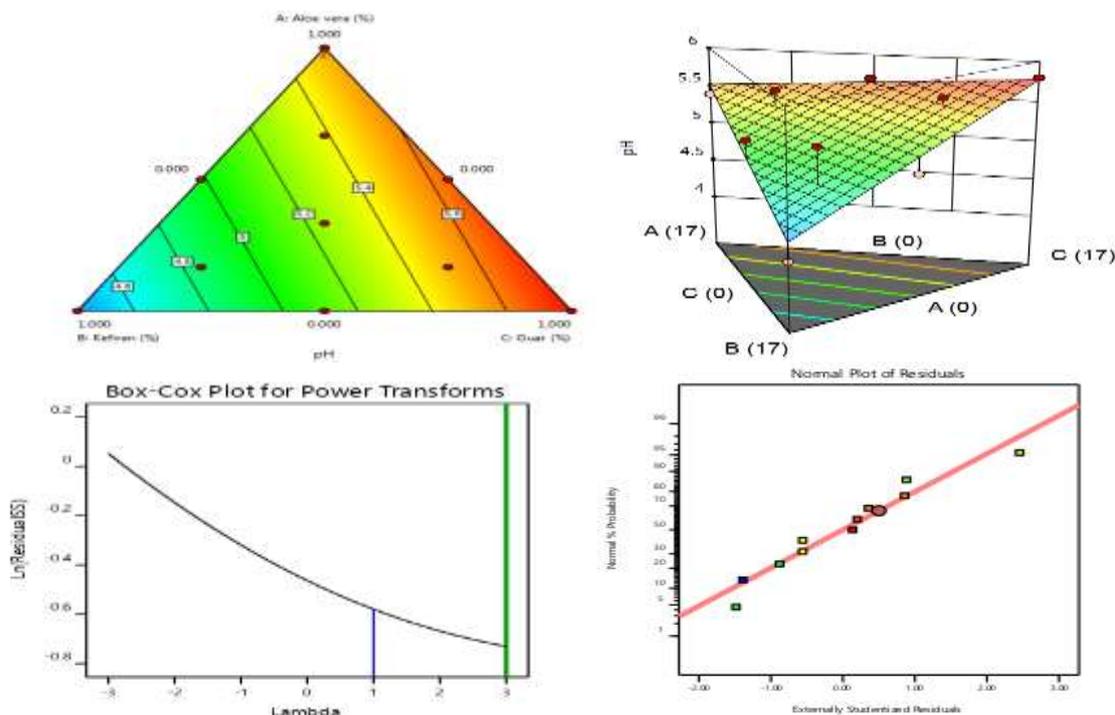


Fig 7. Fig 4. The effect of different gums on the pH of ice cream treatments (X1:A; Aloe vera, X2:B: Kefiran, X3:C: Guar)

دیواره‌ای چروکیده می‌باشد و شواهدی از ترک خوردگی مشاهده نشد. Otálora و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که میکروپارتیکل‌های حاوی ماده‌ی حامل با وزن مولکولی بالاتر، کمتر دچار چروکیدگی و شکستگی ذرات شده است که با بررسی وزن مولکولی صمغ گوار ($C_{35}H_{49}O_{29}$)، در مقایسه با کفیران ($C_{12}H_{24}O_{11}$) با نتایج حاضر مطابقت و همخوانی داشت. در این بررسی و مقایسه تصاویر الکترونی حاصل، مشخص شد تیمارهای حاوی ۱۷٪ درصد کفیران نسبت به تیمارهای حاوی ۱۷٪ گوار، به دلیل ویسکوزیته کمتر و حجم افزایشی بیشتر، بعد از خشک شدن چروکیدگی بیشتری نشان دادند. احتمال می‌رود این ویژگی علاوه بر تاثیر وزن مولکولی، تحت تاثیر عواملی دیگر از جمله چسبندگی و ویسکوزیته نیز باشد که با نتایج ارائه شده در دو بخش مذکور در پژوهش حاضر همخوانی دارد [۳۸].

میکروسکوپ الکترونی روبشی

از جمله روش‌های آنالیز و شناسایی مواد استفاده از FE-SEM می‌باشد. مورفولوژی نمونه‌های بهینه بستنی با دستگاه FE-SEM انجام شد. در این آزمون، هدف بررسی ساختار نمونه‌های بهینه بستنی با استفاده از این دستگاه بود. همانطور که در اشکال ۸ مشاهده می‌شود تصاویر نمونه‌های بستنی خشک شده توسط خشک کن پاششی با بزرگنمایی ۱۰ میکرون درج شده است. با توجه به اشکال ارائه شده می‌توان مشاهده نمود که نمونه‌های بهینه بستنی حاوی ۱۷٪ کفیران و تیمار ۱۷٪ گوار دارای ساختار کروی چروکیده بودند. در این تصاویر مشخص شد نمونه ۱۷٪ گوار نسبت به تیمار بهینه ۱۷٪ کفیران، دارای ساختار همگن با زنجیره‌های منظم و پیوسته از ذرات کروی با درصد حفرگی بین ذره‌ای، پایینی بودند. همچنین زنجیره‌های کربوهیدراتی دارای ساختاری چسبنده، جداره سالم و کروی شکل با

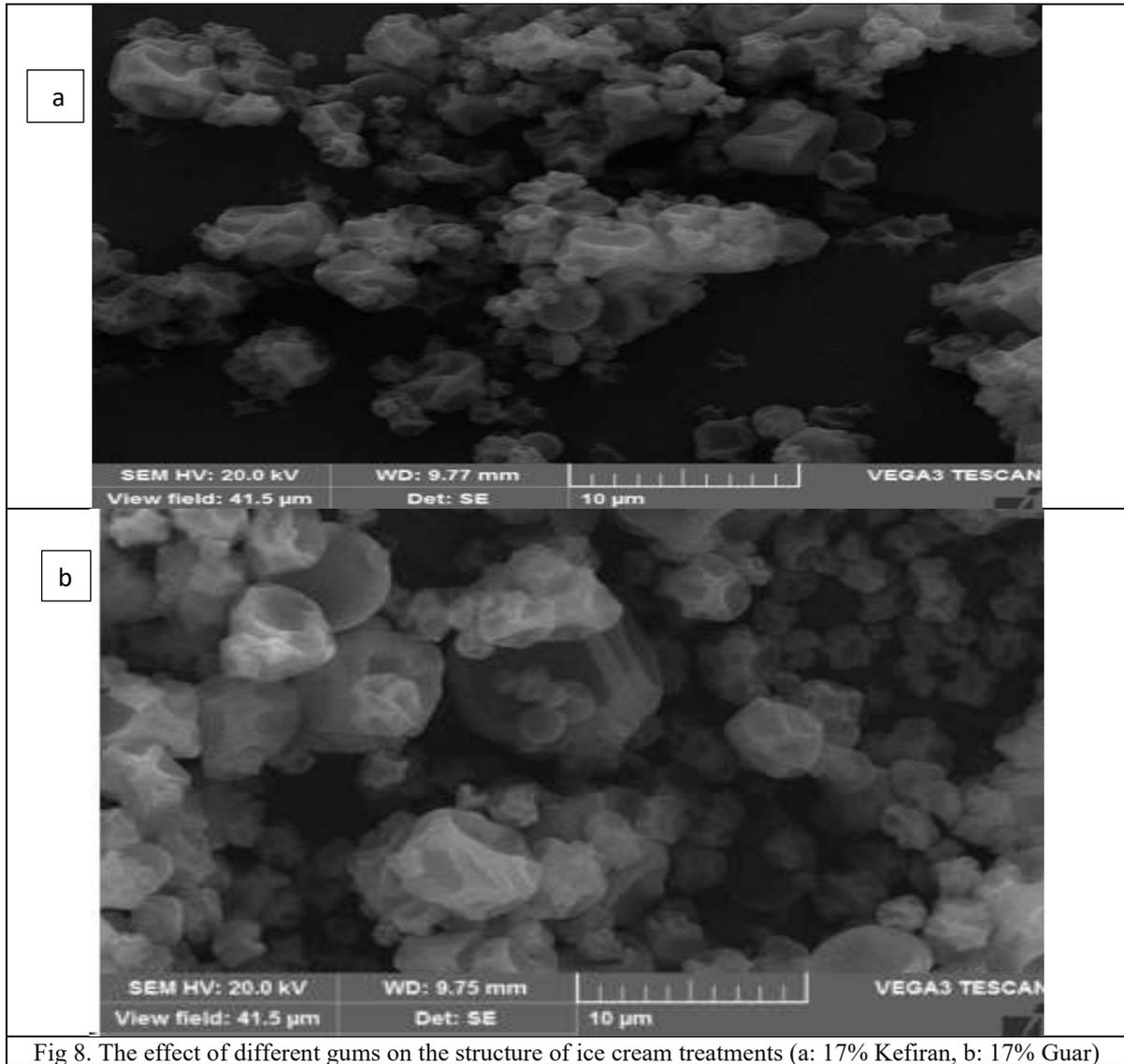


Fig 8. The effect of different gums on the structure of ice cream treatments (a: 17% Kefiran, b: 17% Guar)

آزمون پراکنندگی دینامیکی نور

ناحیه ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ بود؛ در حالی که تیمار بالاترین مقدار گوار (۱۷٪) دارای پراکنندگی ذرات بیشتر بوده و از ۱۸۰۰ تا ۴۲۰۰ نانومتر (۱.۸ تا ۴.۲ میکرون) بود و بیشترین پراکنندگی ذرات در محدوده ۱۸۰۰ تا ۳۸۰۰ نانومتر (۱.۸ تا ۳.۸ میکرون) بود. که این افزایش اندازه ذرات در تیمار حاوی گوار بیشتر (۱۱.۳۳) به دلیل افزایش در مقدار چسبندگی و ویسکوزیته تیمار نهایی می‌باشد و با نتایج ارائه شده در بخش تصویر میکروسکوپ الکترونی همخوانی دارد (تجمع ذرات).

تصاویر آزمون پراکنندگی نور تیمارهای ۲ و ۳ در شکل ۹ ارائه شده است. با وجود تفاوت در بافت و احساس دهانی تیمارهای بستنی، که به دلیل کاهش چسبندگی و افزایش حجم تیمارهای حاوی کفیران و ژل آلوه ورا، انتظار می‌رفت نمودار حاوی درصد گوار بیشتر، میزان پراکنندگی بیشتری را در برگرد در حالی که میانگین قطر ذرات تیمار بالاترین مقدار کفیران (۱۷٪) دارای اندازه قطر در محدوده ۱۰۰۰ تا ۳۵۰۰ نانومتر (۱ تا ۳ میکرون) بود که بیشترین پراکنندگی در

A

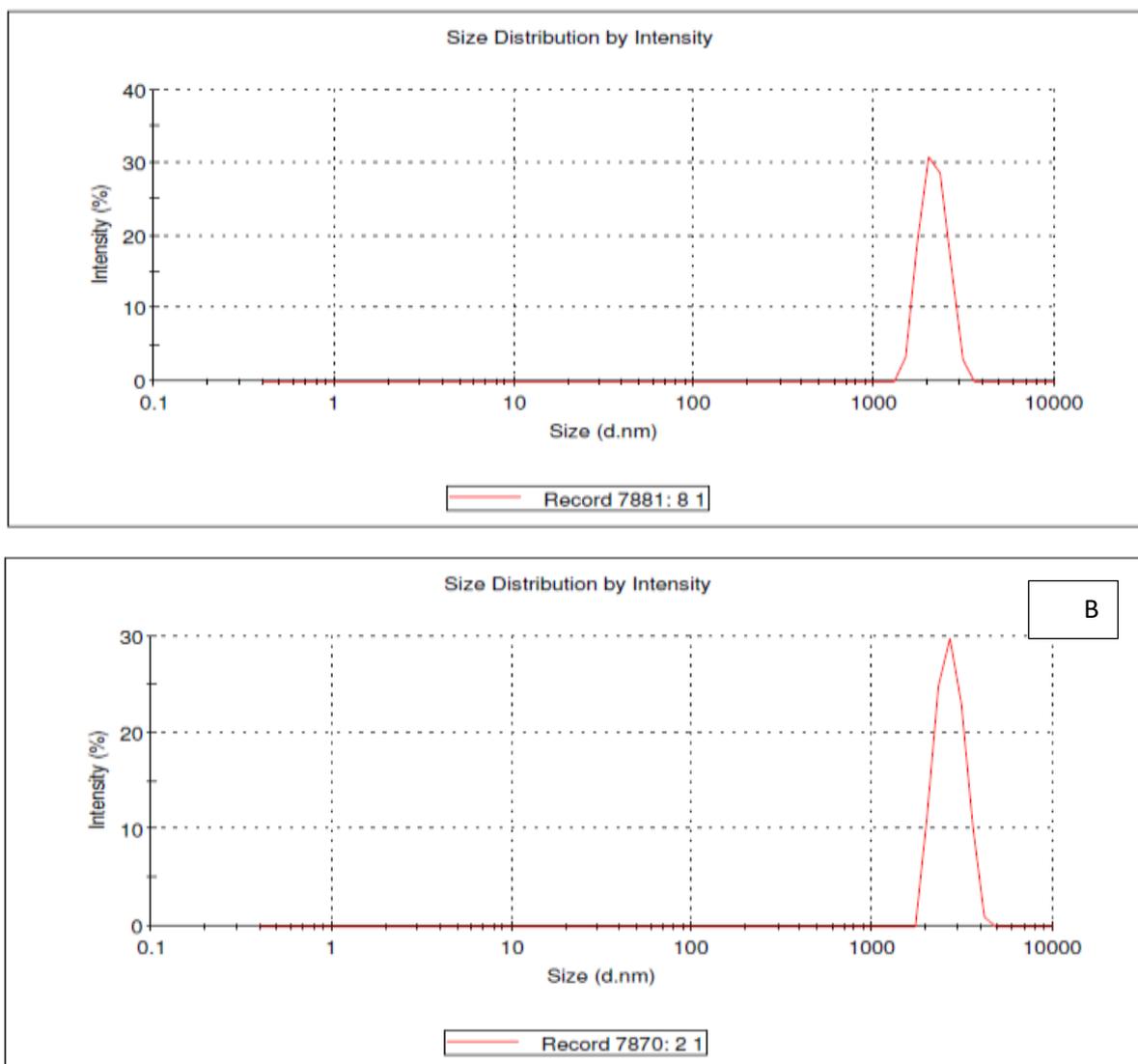


Fig 9. The effect of different gums on the particle size of ice cream treatments (A: 17% Kefiran, B: 17% Guar)

آنالیز حسی

و ژل آلوه و مقدار چسبندگی افزایش می‌یابد، به همین دلیل نمونه‌هایی که گوار بیشتری داشتند حجم افزایشی کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی کفیران و آلوه‌ورا یا نمونه‌های حاوی نسبت بیشتر از کفیران و ژل آلوه‌ورا بودند. ولی تیمارهایی که نسبت بیشتری کفیران و ژل آلوه‌ورا داشتند از نظر عطر و طعم؛ فاکتور رنگ و پذیرش کلی امتیاز بالاتری نسبت به نمونه‌های حاوی گوار داشتند. با کاربرد مقادیر بالای گوار (افزایش سطوح گوار) عطر و طعم بستنی کاهش یافت که این امر به دلیل افزایش قطر ذرات بستنی‌های حاوی گوار و افزایش حجم افزایشی و حفظ آب در این ترکیب و محصول نهایی می‌باشد، که در نهایت منجر به کاهش میزان سطح تماس ذرات با پرزهای چشایی موجود در گیرنده‌های

برای ارزیابی ویژگی‌های ارگانولپتیک نمونه‌های بستنی، مدل Linear vs Mean پیشنهادی و معنی دار ($p \leq 0.05$) پیشنهادی توسط نرم‌افزار بود. نتایج حاصل از ویژگی‌های حسی تیمارهای بستنی حاوی ترکیبات گیاهی و میکروبی در شکل ۱۰ (a, b و ...) ارائه شده است. از برجسته‌ترین ویژگی‌های مهم جهت پذیرش بستنی از دیدگاه مصرف‌کننده می‌توان به فاکتورهای حجم افزایشی، بافت بستنی، عطر و طعم و همچنین پذیرش کلی محصول نهایی اشاره نمود. با توجه به شکل ۱۰ مرتبط با بافت نمونه‌های بستنی مشخص شد با افزایش مقدار گوار چسبندگی بستنی و کاهش مقادیر کفیران

روی ویژگی‌های بستنی گزارش کردند احساس دهانی بستنی می‌تواند متأثر از ویسکوزیته، میزان هوادهی و شاخص مقاومت به ذوب شدن باشد، بر این اساس، با توجه به نتایج حاصله نمونه بستنی که دارای مقدار کفیران بیشتری بود به دلیل مقدار ویسکوزیته کمتر و حجم افزایشی بیشتر سرعت ذوب شدن کمتری داشت به همین دلیل امتیاز احساس دهانی بالاتری نسبت به سایر نمونه‌های بستنی داشت [۲۵]. در جدول ۲ نتایج Adjusted R², Predicted R², Adeq R², Precision ارائه شده است.

چشایی زبان می‌باشد و در نهایت این امر منجر به کاهش عطر و طعم محصول می‌شود که با نتایج حاصل از بررسی اندازه ذرات در آزمون پراکندگی دینامیکی تفرق نور و نتایج بررسی ویژگی‌های مورفولوژی و ساختاری بستنی همخوانی داشت. Amiri و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی اثر اسفرزه بر بستنی گزارش کردند استفاده از اسفرزه در فرمولاسیون بستنی، لازم است با سایر پایدارکننده‌ها به صورت ترکیبی بکار رود تا اثرات مثبتی در ویژگی‌های بستنی حاصل شود [۲۰]. Mahpour و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی ایزوله پروتئین جوانه گندم بر

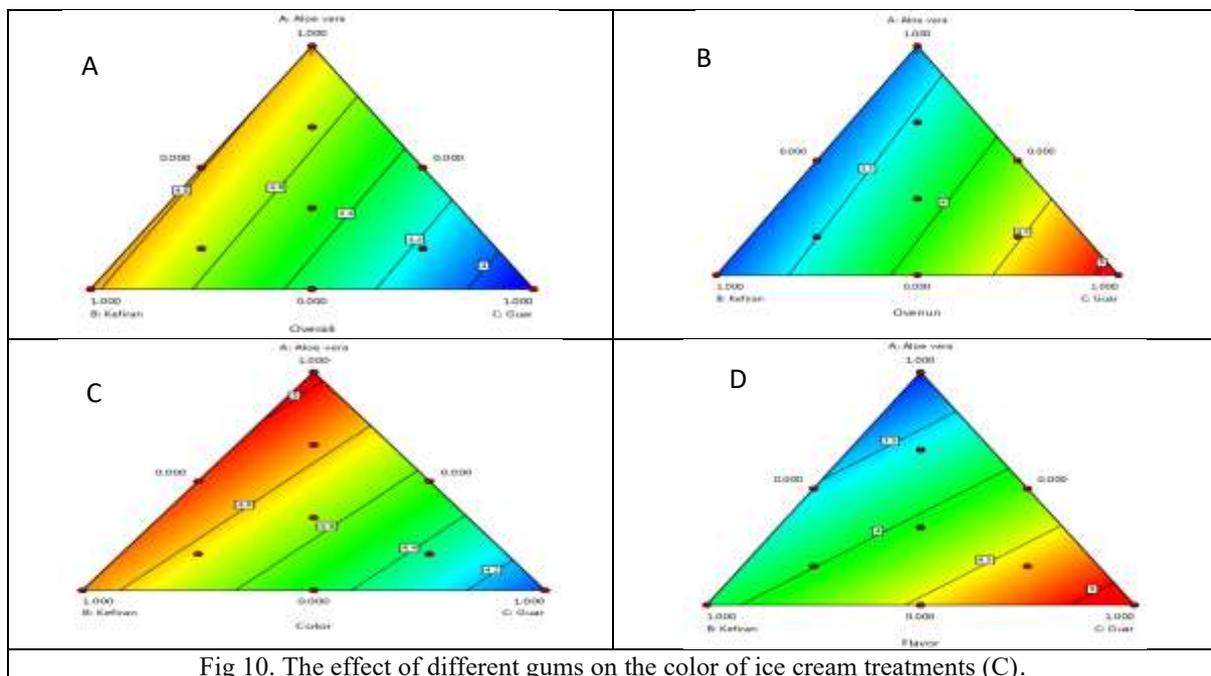


Fig 10. The effect of different gums on the color of ice cream treatments (C).

Table 2. Fit Statistics

	pH	Overru n	Melting rate	Viscosity	Texture	Tissue adhesion	Density	Overall	Flavor	Color
R ²	0.7577	0.9253	0.9986	0.8152	0.6184	0.9992	0.9943	0.6710	0.9203	0.8818
Adjusted R ²	0.6971	0.8505	0.9932	0.7690	0.5230	0.9962	0.9714	0.5887	0.9003	0.8523
Predicted R ²	0.6010	0.1222	0.2159	0.6217	0.2463	0.5614	- 1.3164	0.3971	0.8561	0.7493
Adeq Precision	10.770 5	9.2361	49.854 8	13.1365	7.3066	61.4841	21.536 3	7.5121	18.820 5	14.843 3

۴- نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق با افزودن پایدار کننده‌ها تغییرات قابل توجهی در بستنی ایجاد شد. به طوری که افزودن صمغ‌ها منجر به افزایش ویسکوزیته (تیمار ۱۷٪ کفیران ۰.۲۵ پاسکال بر ثانیه و تیمار ۱۷٪ گوار ۰.۲۸۲ پاسکال بر ثانیه) و چسبندگی (گوار ۱۸.۱۱ و کفیران ۱۷.۳۱ گرم بر سانتیمتر مربع) تیمارهای بستنی شد. همچنین دانسیته تیمارها با افزایش صمغ و افزایش جذب آب، افزایش یافت (گوار ۱.۲۱ و کفیران ۱.۰۷ گرم بر سانتیمتر مربع). به طور کلی هر چقدر ویسکوزیته افزایش یابد ورود هوا به مخلوط بستنی کمتر شده، که منجر به کاهش حجم هوای ورودی به شبکه بستنی و کاهش خاصیت عایق بودن و در نتیجه کاهش سرعت انتقال حرارت شد که در نهایت این تیمارها، سرعت ذوب بالاتری داشتند (تیمار ۱۷٪ کفیران: ۰.۴۲٪ و تیمار ۱۷٪ گوار: ۰.۸۰٪). در این راستا با افزایش صمغ‌ها و افزایش ویسکوزیته و به دنبال آن کاهش حجم هوای ورودی، حجم افزایشی تیمارها به طور معنی‌داری کاهش یافت؛ که در وزن یکسان، هر صمغ غلظت بیشتری ایجاد می‌کرد منجر به کاهش شدیدتری در این فاکتور شد (تیمار ۱۷٪ کفیران: ۳۸.۴٪ و تیمار ۱۷٪ گوار ۲۷.۱۱٪). به طور کلی یک رابطه معکوس بین سختی بافت در بستنی و فاکتور حجم‌افزایی وجود دارد. افزایش صمغ‌ها، به دلیل افزایش مواد جامد و افزایش جذب، حجم کریستال‌های یخ در شبکه بستنی بیشتر شده و در نتیجه سختی بستنی افزایش می‌یابد که در این تحقیق بالاترین مقدار مربوط به تیمار ۱۷٪ گوار بالاترین مقدار را داشت. در نهایت با افزودن صمغ‌ها به طور چشمگیری pH تیمارها تغییری نکرد ولی افزودن مقدار صمغ گوار نسبت به کفیران، pH را افزایش داد.

[3] Irigoyen, A., Arana, I., Castiella, M., Torre, P., & Ibanez, F. C. (2004). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*, 90(4), 613–620.

[4] Kooiman, P. (1968). The chemical structure of kefir, the water-soluble polysaccharide of the kefir grain. *Carbohydrate Research*, 7(2), 200–211.

[5] Mitsue, T., Tachibana, K., & Fujio, Y. (1999). Efficient kefir production by a mixed culture of

۵- سپاسگزاری

در اینجا، نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از کلیه عزیزانی که به نحوی در انجام آزمایش‌های این پژوهش مساعدت و همکاری صادقانه داشته‌اند، صمیمانه قدردانی نمایند. این مقاله علمی-پژوهشی، مستخرج از طرح تحقیقاتی با "عنوان تولید بستنی غنی‌سازی شده با آگزوپولی ساکارید میکروبی کفیران و پایدار کننده‌های گیاهی به روش طرح مخلوط" و شماره ۱۴۰۳/۹۱۶۵ می‌باشد، که در دانشگاه اردکان، شرکت لبنیات به آرا (شیرآرا) و آزمایشگاه‌های پژوهشکده صنایع غذایی مشهد به انجام رسیده است.

سپاسگزاری

بدین بدین وسیله، نویسندگان مراتب تشکر و سپاس خود را از معاونت محترم آموزشی - پژوهشی دانشگاه اردکان به دلیل پشتیبانی و مساعدت در اجرای طرح، ابراز می‌دارند.

رضایت‌نامه کتبی

رضایت‌نامه کتبی و آگاهانه از همه شرکت کنندگان در مطالعه اخذ شد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی‌شوند

۶- منابع

[1] Issariyachaikul, K. (2008). Development of modified fat ice cream products using inulin as a fat replacer [Master's thesis, Mahidol University].

[2] Mortazavi, S. A., Ghods Rouhani, M., & Joyandeh, H. (2006). Technology of milk and dairy products. Ferdowsi University of Mashhad Publications.

- Lactobacillus kefiranofaciens* KF-75 and yeast strains-Note. *Seibutsu-Kogaku Kaishi, 77*(3), 99–103.
- [6] Zarei, M. A., Pourahmad, R., & Hashemi-Ravan, M. (2010). Investigation of the physicochemical and sensory properties of ice cream enriched with phytosterols. *Journal of Food Science and Technology*, 68(3), 35–64.
- [7] Klesment, T., Stekolštšikova, M., & Laos, K. (2011). The influence of hydrocolloids on storage quality of 10% dairy fat ice cream. *Agronomy Research*, 9(Special Issue II), 403–408.
- [8] Rincon, F., Leon de Pinto, G., & Beltran, O. (2006). Behaviour of a mixture of *Acacia glomerosa*, *Enterolobium cyclocarpum* and *Hymenaea courbaril* gums in ice cream preparation. *Food Science and Technology International*, 12(1), 13–19.
- [9] Javidi, F., Razavi, S. M. A., Mazaheri Tehrani, M., & Emadhezadeh, B. (2012). The effect of guar gum and basil seeds on the physical properties of semi-fat and low-fat ice cream. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 11(5), 694–706.
- [10] Soleimanifard, M., Aalami, M., khodaiyan Chegeni, F., Najafian, G., & Sadeghi Mahoonak, A. R. (2015). Production of kefir in kefir grains and its effects on the rheological properties low protein wheat dough and quality of France bulky bread. *Advances in Crop Science and Technology*, 3(4), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000171>
- [11] Soleimanifard, M., A'alami, M., Heydari, R., Sadeghi Mahonak, A. R., & Najafian, G. (2017). Kefiran extraction and its effect on farinographic characteristics of wheat dough and quality of French bread. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 14(72), 301–312.
- [12] Marshall, R. T., & Arbuckle, W. S. (1996). *Ice cream* (5th ed.). Chapman & Hall. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4613-0477-7>
- [13] Akalın, 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.
- [14] Mahdian, E., Mazaheri Tehrani, M., & Shahidi, F. (2011). Evaluation of the physicochemical and sensory properties of low-fat ice cream containing inulin and lactulose. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, 8(31), 107–114.
- [15] Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2008). *Ice cream - characteristics and test methods* (National Standard No. 24).
- [16] Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2012). *Ice cream*. Springer Science & Business Media.
- [17] Sze, A., Erickson, D., Ren, L., & Li, D. (2003). Zeta-potential measurement using the Smoluchowski equation and the slope of the current–time relationship in electroosmotic flow. *Journal of Colloid and Interface Science*, 261(2), 402–410.
- [18] Varshosaz, J., Hassanzadeh, F., Sadeghi, H., & Andalib, S. (2012). Synthesis of octadecylamine-retinoic acid conjugate for enhanced cytotoxic effects of 5-FU using LDL targeted nanostructured lipid carriers. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 54, 429–438.
- [19] Bahramparvar, M., Haddad Khodaparast, M. H., & Razavi, S. M. A. (2009). The effect of stabilizers on the viscosity, syneresis and textural properties of regular and light ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 62(4), 571–576.
- [20] Amiri-Aghdaie, S. S., A'alami, M., Rezaei, R., Dadpour, M., & Khamiri, M. (2012). The effect of basil and eschar seeds mucilage on the physicochemical, rheological and sensory properties of soft ice cream. *Journal of Research and Innovation in Food Sciences and Industries*, 1(1), 28–36.
- [21] Bahramparvar, M., & Stathopoulos, C. (2010). Effect of egg yolk substitution by sweet whey protein concentrate (WPC), on physical properties of Gelato ice cream. *International Food Research Journal*, 17(3), 787–793.
- [22] Ashourmohammadi, M., & Hosseini Qaboos, S. H. (2018). Production of functional ice cream with pumpkin powder. *Journal of Food Science and Technology*, 15(57), 364–372.
- [23] Soukoulis, C., Chandrinou, I., & Tzia, C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ -carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *LWT - Food Science and Technology, 41*(10), 1816–1827.
- [24] Yoo, S. H., Lee, B. H., Lee, H., Lee, S., Bae, I. Y., Lee, H. G., & Fishman, M. L. (2012). Structural characteristics of pumpkin pectin extracted by microwave heating. *Journal of Food Science*, 77(11), C1169–C1173.
- [25] Mahpour, H., Mokhsem, T., & Shahriari, Sh. (2019). The effect of using wheat germ protein isolate on the physical, rheological, textural and sensory properties of ice cream. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 17(2), 243–259.
- [26] Roller, S., & Jones, S. A. (1996). *Handbook of fat replacers*. CRC Press.

- [27] Kaya, S., & Tekin, A. R. (2001). The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 59–62.
- [28] Sofjan, R. P., & Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14(3), 255–262.
- [29] Goff, H. D., & Jordan, W. K. (1989). Action of emulsifiers in promoting fat destabilization during the manufacture of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 72(1), 18–29.
- [30] Goff, H. D. (2011). Ice cream and frozen desserts: Product types. In J. W. Fuquay, P. F. Fox, & P. L. H. McSweeney (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (2nd ed., pp. 893–898). Academic Press.
- [31] Faraji Kafshgari, S., Fallah Shojaei, M., & Akbarian Meymand, M. J. (2014). Effect of sugar replacement with grape syrup on physicochemical and sensory properties of vanilla ice cream. *Innovative Food Technology*, 2(6), 85–93.
- [32] Goff, H. D. (1997). Colloidal aspects of ice cream—A review. *International Dairy Journal*, 7(6–7), 363–373.
- [33] Tanaka, M. A., Pearson, A. M., & deMan, J. M. (1972). Measurement of ice cream hardness with a constant speed penetrometer. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 5(2), 105–110.
- [34] Wilbey, R. A., Cooke, T., & Dimos, G. (1998). Effects of solute concentration, overrun and storage on the hardness of ice cream. In W. Buchheim (Ed.), *Ice cream: Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18–19 September 1997* (pp. 186–187). International Dairy Federation.
- [35] Tharp, B. W., Forrest, B., Swan, C., Dunning, L., & Hilmoe, M. (1998). Basic factors affecting ice cream meltdown. In W. Buchheim (Ed.), *Ice cream: Proceedings of the International Symposium held in Athens, Greece, 18–19 September 1997* (pp. 54–55). International Dairy Federation.
- [36] Asadinejad, S., Habibi Najafi, M. B., Razavi, S. M. A., & Nasiri Mahallati, M. (2004). The effect of whey protein concentrates on the physicochemical and sensory properties of ice cream. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11(4), 95–105.
- [37] Hwang, J. Y., Shyu, Y. S., & Hsu, C. K. (2009). Grape wine lees improves the rheological and adds antioxidant properties to ice cream. *LWT - Food Science and Technology*, 42*(1), 312–318.
- [38] Otálora, M. C., Carriazo, J. G., Iturriaga, L., Nazareno, M. A., & Osorio, C. (2015). Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 187, 174–181.



Scientific Research

Investigation of the rheological and physicochemical properties of ice cream enriched with kefir and vegetable stabilizers using the Mixture Design method

Ali Sahrae¹, Seydeh Mahnaz Jokar Quchan², Mansooreh Soleimanifard^{3*}

1- Assistant Professor, Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary Medicine, University of Ardakan

2-Master of Science in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Quchan Branch

* 3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received: 2025/09/14</p> <p>Review: 2025/12/08</p> <p>Accepted: 2025/12/10</p> <hr/> <p>Keywords:</p> <p>Mixture design, Kefiran, Aloe vera and guar, Ice cream, Rheological and physicochemical properties</p> <p>DOI: 10.48311/fsct.2026.84099.0</p> <p>*Corresponding Author E- mansooresoleimani14@gmail.com, mansooresoleimani14@ardakan.ac.ir</p>	<p>In this study, kefir, after being cultured from kefir grains and extracted, was added to ice cream in combination with aloe vera gel and guar gum at various levels (2.83%, 5.66%, 8.5%, 11.33%, and 17%) by weight, along with gum arabic (constituting 50% of the total gums). The effects on the rheological, physicochemical, and organoleptic properties of the ice cream were investigated. Data analysis was performed using analysis of variance (ANOVA) with an appropriate follow-up model at a 5% probability level, employing Design Expert 12 software. The results of the physicochemical tests on the ice cream samples revealed that the addition of hydrocolloids led to an increase in viscosity, melting rate, and adhesiveness. Specifically, treatments containing 17% kefir exhibited the lowest values (0.25 Pa·s, 42% decrease, 17.31 MJ), while those with 17% guar gum showed the highest values (0.282 Pa·s, 80% decrease, 18.11 MJ). Increasing the gum content resulted in higher hardness of the ice cream treatments. The treatment with 17% kefir had the lowest hardness (1834.11 g/cm²), whereas the treatment with 17% guar gum exhibited the highest hardness (1989.6 g/cm²). Additionally, the incorporation of gums led to an increase in the overrun of the ice cream treatments. FE-SEM images of treatments containing 17% kefir and 17% guar gum indicated that the 17% guar gum treatment featured spherical particles with minimal wrinkling and no tearing, presenting a uniform surface. DLS results demonstrated that the particles in the 17% kefir treatment had an average diameter ranging from 1 to 3.5 microns. Organoleptic evaluation of the ice cream treatments revealed that samples with a higher proportion of kefir received higher scores for color and overall acceptability compared to those containing guar gum.</p>