

اثر روغن گردو و کفیران بر روی خواص بافتی و رئولوژیکی بستنی

پریسا حبیبی^{a*}، امان محمد ضیائی فر^b، فرامرز خدائیان چگنی^c

^a دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^b استادیار گروه مهندسی و طراحی مواد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^c دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

مقدمه: با توجه به خطرات ناشی از مصرف اسیدهای چرب اشباع، جایگزینی آن‌ها با اسیدهای چرب غیر اشباع می‌تواند راه حل مناسبی برای کاهش مضرات مصرف بستنی به خصوص برای بیماران قلبی عروقی باشد. کفیران نیز علاوه بر اثرات مثبت تغذیه‌ای به عنوان یک ترکیب فراسودمند، می‌تواند به عنوان یک پایدارکننده در محصولات لبنی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نمونه‌های بستنی حاوی (۰/۵-۰/۱٪) کفیران و (۸-۰٪) روغن گردو تهیه شد. نمونه‌ها تحت آزمون‌های ویسکوزیته، رئولوژی و بافت سنجی (سختی و چسبندگی) قرار گرفتند. سپس داده‌های حاصل از این آزمون‌ها در قالب طرح مرکب مرکزی با استفاده از روش سطح پاسخ ارزیابی شدند.

یافته‌ها: کفیران و روغن گردو اثرات قابل توجهی بر روی نمونه‌های بستنی داشتند ($p < 0/05$). افزایش کفیران منجر به افزایش ویسکوزیته، ضریب قوام و کاهش اندیس جریان، سختی و چسبندگی گردید. افزایش روغن گردو نیز منجر به کاهش سختی، چسبندگی، ضریب قوام، ویسکوزیته ظاهری و افزایش اندیس جریان شد ($p < 0/05$). اثر متقابل کفیران و روغن گردو نیز منجر به کاهش معنی‌داری در ویسکوزیته ظاهری گردید، اما بر روی سایر ویژگی‌ها اثر قابل توجهی نداشت ($p > 0/05$).

نتیجه گیری: با توجه به نتایج به دست آمده و با استفاده از بهینه سازی داده‌ها ۲٪ روغن گردو و ۰/۵٪ کفیران می‌تواند ترکیب مطلوبی برای رسیدن به محصولی با کیفیت مناسب از لحاظ رئولوژیکی باشد.

واژه‌های کلیدی: بافت، بستنی، روغن گردو، رئولوژی، کفیران

مقدمه

امروزه گرایش به مصرف غذاهای سالم و فراسودمند منجر به افزایش تولید این محصولات شده است. بستنی یکی از محبوب‌ترین دسرهای منجمد در جهان است، اما به دلیل نگرانی جامعه جهانی نسبت به مصرف چربی‌های اشباع تلاش‌هایی برای جایگزینی آنان با چربی‌های گیاهی انجام شده است. غنی سازی غذاها با استفاده از اسیدهای چرب چند غیر اشباعی به علت حساسیت بالای آنها نسبت به اکسیداسیون مشکل ساز است (Tong et al., 2000)، اما به علت نگهداری بستنی در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد، سیستم غذایی ایده‌آلی برای غنی‌سازی توسط اسیدهای چرب غیر اشباع ضروری می‌تواند باشد (Goh et al., 2006).

مفهوم غذاهای فراسودمند به عنوان یک غذا، یا اجزای مواد غذایی، با اثرات مثبت بر سلامت انسان و یا ارزش بالای مواد مغذی آن شناخته می‌شود (Huggett & Verschuren, 1996). روغن‌های فراسودمند نیز جزو همین گروه هستند. این نوع از روغن‌ها باید شامل یکی از دو گروه اسیدهای چرب امگا۳ یا امگا۶ یا هر دوی آنها به نسبت مناسب باشند (Arihara, 2006). روغن گردو دارای میزان بالایی از لینولئیک اسید (۶۳-۴۹٪) و پس از آن اولئیک (۲۶/۱-۱۳/۸٪) و لینولینیک اسید (۸-۱۵/۵٪) است (Li et al., 2006; Gharibzahedi et al., 2014). این میزان بالای اسیدهای چرب غیر اشباع (حدود ۹۰٪)، موجب جلوگیری از بیماری‌های قلبی عروقی می‌شود (Patel, 2005). نکته قابل توجه این است که با همه سودمندی چربی‌های غیر اشباع برای سلامتی انسان استفاده از آنها مشکلاتی در بر دارد، برای مثال نمی‌تواند ساختاری که چربی اشباع در بستنی ایجاد می‌کند، تشکیل دهد (Goh et al., 2006).

پایدارکننده‌ها پلیمرهای تک شاخه یا شاخه دار حاوی گروه‌های هیدروکسیل هستند که می‌توانند با مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی تشکیل دهند. هنگامی که حل شوند، تولید محلول ویسکوزیته بالا در غلظت کم می‌کنند. (Clarck, 2012). در دانه‌های کفیر پلی ساکاریدی به نام کفیران وجود دارد، که یک گلوکولاکتان منشعب و

محلول در آب است و از مقادیر یکسان D-گلوکز و D-گالاکتوز تشکیل شده است (Piermaria et al., 2008). این پلیمر به عنوان قوام دهنده، پایدارکننده، امولسیفایر، جایگزین چربی و عامل ژل کننده، استفاده می‌شود و همچنین فعالیت‌های ضد باکتری، ضد قارچ و ضد توموری از خود نشان داده است (Welman & Maddox, 2003).

در طراحی و مدلسازی فرآیندهای غذایی بایستی ویژگی‌های رئولوژیکی مواد غذایی مایع به دقت مورد توجه قرار گیرند. محاسبات فرآیندهای حامل جریان سیال نظیر پمپ کردن، استخراج و فیلتراسیون نیازمند داشتن داده‌های رئولوژیکی می‌باشد (Marcotte et al., 2001). پایدارکننده‌ها بر رفتار رئولوژیکی مخلوط‌ها اثرات قابل توجهی دارند. Minhas و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که رفتار مخلوط بستنی حاوی هیدروکلوئیدهای مختلف رقیق شونده با برش^۱ بود.

هدف از این تحقیق بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی بستنی حاوی کفیران (۰/۵-۱/۰٪) و روغن گردو (۰-۸٪) بود.

مواد و روش‌ها

- استخراج کفیران

جداسازی کفیران بر اساس روش پیشنهادی Piermaria (۲۰۰۹) انجام شد. دانه کفیر به نسبت ۱ به ۱۰ با آب جوش مخلوط شد به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰xg در دمای ۲۰ درجه سانتی‌فیوژ شد. مایع رویی حاوی کفیران و سایر مواد قابل حل در آب از جمله برخی پروتئین‌ها بود. این محلول با اتانل سرد به نسبت (۱:۱) مخلوط شده و به مدت ۱ شب در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس مخلوط به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با دور ۱۰۰۰۰xg سانتی‌فیوژ شد، رسوبات به وسیله آب داغ از قسمت پایین لوله جدا شد و این عملیات ۲ بار تکرار شد. در انتها رسوبات باقی مانده در آب دوبار تقطیر (DDW)^۲ حل شد، که محلول کفیران به دست آمد. سپس نمونه‌ها برای اطمینان از عدم وجود پروتئین و سایر پلی‌ساکاریدها منظور بررسی دقیقتر اثر کفیران خالص با

¹ Pseudoplastic² Double Distilled Water

سرد شد. پس از آن مرحله رسیدن به مدت ۲۰ ساعت در دمای یخچال (۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. پس از پایان مرحله رسیدن، عصاره وانیل اضافه و مخلوط در دستگاه بستنی ساز یک کیلویی غیر مداوم (Musso - ایتالیا) منجمد شد. بستنی‌های نرم تهیه شده در ظروف پلاستیکی درب‌دار ریخته شده و کدگذاری شدند. در پایان، بستنی‌ها جهت یکسان سازی دمایی در فریزر خانگی قرار داده شدند.

- ویسکوزیته

ویسکوزیته مخلوط قبل از انجماد و پس از مرحله رساندن توسط دستگاه ویسکومتر (بروکفیلد DV II) (دارای حمام آب سرد برای نگهداری دمای نمونه در ۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. پس از آزمایش‌های مقدماتی، اسپیندل شماره ۵ به‌عنوان مناسب‌ترین اسپیندل انتخاب شد (با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده اسپیندل مناسب جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته اسپیندلی است که در سرعت‌های مورد آزمایش گشتاور بالای ۱۰٪ نشان دهد). جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته، مقدار مورد نیاز نمونه درون بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد، سپس ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها در سرعت چرخش اسپیندل ۵۰ دور در دقیقه اندازه‌گیری شد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹).

فنول- سولفوریک اسید آزمایش شد (Dubois *et al.*, 1956). کفیران بدست آمده با دستگاه خشک کن انجمادی خشک گردید.

- تهیه بستنی

پس از انجام آزمایشات لازم بروی مواد اولیه، کلیه اجزاء بستنی شامل ۱۰ درصد چربی (چربی شیر+ روغن گردو (کیمیگران پسته کرمان) ۸-۰٪، ۱۵ درصد قند، ۰/۳٪ امولسیفایر mono and diglyceride of fatty acids (E471), MultecMono 9402 sfp, Puratus, (Belgium)، ۰/۱٪ وانیل؛ ۵/۰ - ۱/۰٪ کفیران، شیر، خامه و شیر خشک (برای تنظیم ماده خشک) توزین گردیدند. مواد مایع باهم مخلوط شده تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد گرم شد، سپس مواد خشک به غیر از وانیل اضافه شد و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ثانیه بوسیله حرارت غیر مستقیم توسط آب داغ پاستوریزه شد (Clark, 2012). سپس مخلوط در هموژنیزاتور به مدت ۵ دقیقه با ۱۳۸۰۰ دور در دقیقه - در دستگاه هیدولف^۱ D91126- آلمان هموژنیزه شد و پس از آن به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۶۰۰ دور در دقیقه دوباره هموژن گردید (Lim *et al.*, 2010). مخلوط بستنی به کمک مخلوط سرمازا (یخ و نمک) تا دمای کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد

جدول ۱- درصد اختلاط روغن گردو و کفیران و چربی شیر در نمونه‌ها

تیما	چربی شیر	روغن گردو	کفیران
T ₁	۸	۲	۰/۲
T ₂	۸	۲	۰/۴
T ₃	۴	۶	۰/۲
T ₄	۴	۶	۰/۴
T ₅	۶	۴	۰/۱
T ₆	۶	۴	۰/۵
T ₇	۸	۰	۰/۳
T ₈	۲	۸	۰/۳
T ₉	۶	۴	۰/۳
T ₁₀	۶	۴	۰/۳
T ₁₁	۶	۴	۰/۳
T ₁₂	۶	۴	۰/۳
T ₁₃	۶	۴	۰/۳

^۱ Heidolph Homogenizer

- رفتار جریان

ویسکوزیته ظاهری و گشتاور نمونه‌ها در سرعت‌های چرخش اسپیندل ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۵۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ دور در دقیقه اندازه‌گیری شد. سایر پارامترهای رئولوژیکی نظیر سرعت برشی و تنش برشی به وسیله معادلات ریاضی Mitschka (۱۹۸۲) و با استفاده از سرعت چرخش اسپیندل و گشتاور بدست آورد. برای پیش بینی رفتار جریان با توجه به ضریب همبستگی (R) بالا در مقایسه با مدل هرشل بالکی (جدول ۲)، از قانون توان و معادله کاسون، طبق معادله‌های زیر استفاده شد.

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n$$

معادله توان

τ تنش برشی (pa)، k ضریب قوام ($\text{pa}\cdot\text{s}^n$)، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1}) و n اندیس رفتار جریان می‌باشد.

$$\tau^{0.5} = K_{OC}^{0.5} + K_C (\dot{\gamma})^{0.5}$$

معادله کاسون

K_{OC} ، عرض از مبدا نمودار ($\tau^{0.5}$ - $(\dot{\gamma})^{0.5}$) و K_C شیب نمودار فوق است. $K_C^2 = \mu_C$ و $K_{OC}^2 = \tau_{OC}$ به ترتیب عبارتند از ویسکوزیته کاسون (Pa.s) و تنش تسلیم کاسون (Pa) (Razavi et al., 2011).

۶۲

- ارزیابی بافت

قبل از انجام ارزیابی بافت نمونه‌ها از دمای ۲۴- درجه سانتیگراد به دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و به وسیله دستگاه اندازه‌گیری بافت (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) میزان سختی و چسبندگی بافت سنجیده شد (Soukoulis et al., 2008). قطر میله نفوذ ۶ میلی‌متر و عمق نفوذ ۱۰ سانتی‌متر انتخاب گردید.

- تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز واریانس نتایج آزمون‌ها در قالب طرح مرکب مرکزی با استفاده از روش سطح پاسخ و با استفاده از نرم افزار مینی‌تب ۱۶ انجام شد. نمودارهای مربوط به رفتار جریان با نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ رسم گردید.

یافته‌ها

- ویسکوزیته

با افزایش میزان روغن گردو ویسکوزیته هم در اثر پارامتر خطی و هم پارامتر درجه دوم به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش می‌یابد. افزایش سطح کفیران هم در

جدول ۲- ضرایب همبستگی R^2 مدل‌های رئولوژیکی قانون توان، کاسون و هرشل بالکی برای نمونه‌های بافتی حاوی روغن گردو و کفیران

تیمارها	R^2 قانون توان	R^2 کاسون	R^2 هرشل بالکی
T_1	۰/۹۹۷	۰/۹۹۳	۰/۹۵۶
T_2	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۵۸
T_3	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۵۸
T_4	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۵۵
T_5	۰/۹۹۶	۰/۹۸۵	۰/۹۵۵
T_6	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۹۵۹
T_7	۰/۹۹۹	۰/۹۹۲	۰/۹۵۲
T_8	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۵۴
T_9	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۵۸
T_{10}	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۵۶
T_{11}	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۹۵۶
T_{12}	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۹۵۷
T_{13}	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۵۵

در معادله فوق A کفیران و B روغن گردو می‌باشد. مناسب بودن مدل با استفاده از آزمون فقدان برازش مورد بررسی قرار گرفت و معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). $R^2 = 0.9986$ نشان دهنده این است که مدل رگرسیون، واکنش را بخوبی توضیح داده و مدل برازش شده توانسته ۹۹/۸۶ درصد از کل تغییرات در دامنه مقادیر مورد مطالعه را توضیح دهد.

- رفتار جریان

در شکل ۲ و شکل ۳ به ترتیب رابطه‌ی سرعت برشی و تنش برشی و تغییرات ویسکوزیته تحت تأثیر سرعت برشی در نمونه‌های مورد آزمایش نشان داده شده‌است. مدل‌های رئولوژیکی مختلفی جهت بررسی رفتار جریان مخلوط بستنی وجود دارد. در این پژوهش به سبب بالاتر بودن ضریب همبستگی (R^2) مدل توان برای پیش‌بینی رفتار

اثر پارامتر خطی (A) و پارامتر درجه دو (AA) منجر به افزایش معنی‌دار در ویسکوزیته نمونه‌ها گشت ($P < 0.05$). بیشترین میزان ویسکوزیته در نمونه حاوی ۴ درصد روغن گردو و ۰/۵ درصد کفیران مشاهده شد و کمترین میزان ویسکوزیته در نمونه حاوی ۴ درصد روغن گردو و ۰/۱ درصد کفیران مشاهده شد. بررسی اثر متقابل روغن گردو و کفیران بر روی بستنی نشانگر اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) در نمونه‌های آزمایش شده بود. به منظور مشاهده تغییرات ویسکوزیته با افزودن روغن گردو و کفیران در بستنی، نمودار سطحی به ترتیب در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل پیشنهادی با توجه به جدول ۳ در رابطه زیر نشان داده شده‌است.

$$+1920/69 + 617/25 A - 413/75 B + 41/92 AA + 21/42 BB - 45/25 AB$$

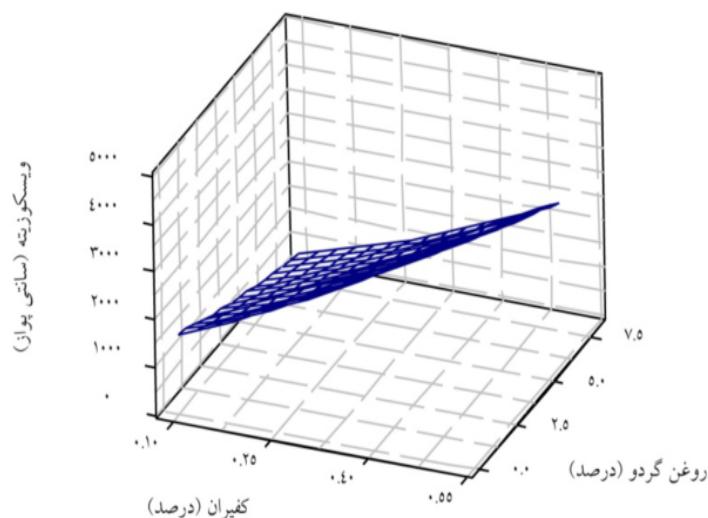
$$R^2 = 99/86$$

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای میزان ویسکوزیته

متغیر مدل	ضریب
ثابت	۱۹۲۰/۶۹**
کفیران (A)	۶۱۷/۲۵**
روغن گردو (B)	-۴۱۳/۷۵**
کفیران × کفیران (AA)	۴۱/۹۲**
روغن گردو × روغن گردو (BB)	۲۱/۴۲*
کفیران × روغن گردو (AB)	-۴۵/۲۵*

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد



شکل ۱- نمودار سه بعدی سطحی تغییرات میزان ویسکوزیته در مقادیر مختلف کفیران و روغن گردو

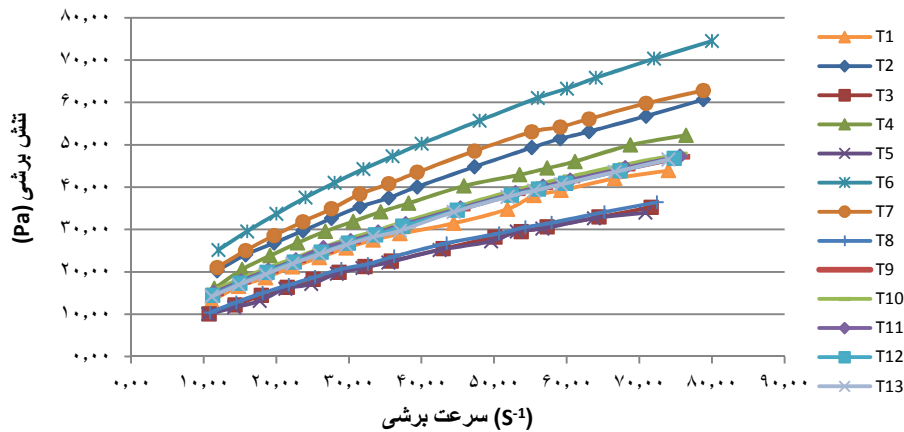
اثر روغن گردو و کفیران بر روی خواص بافتی و رئولوژیکی بستنی

اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی داری بر اندیس جریان نداشتند ($p > 0.05$).

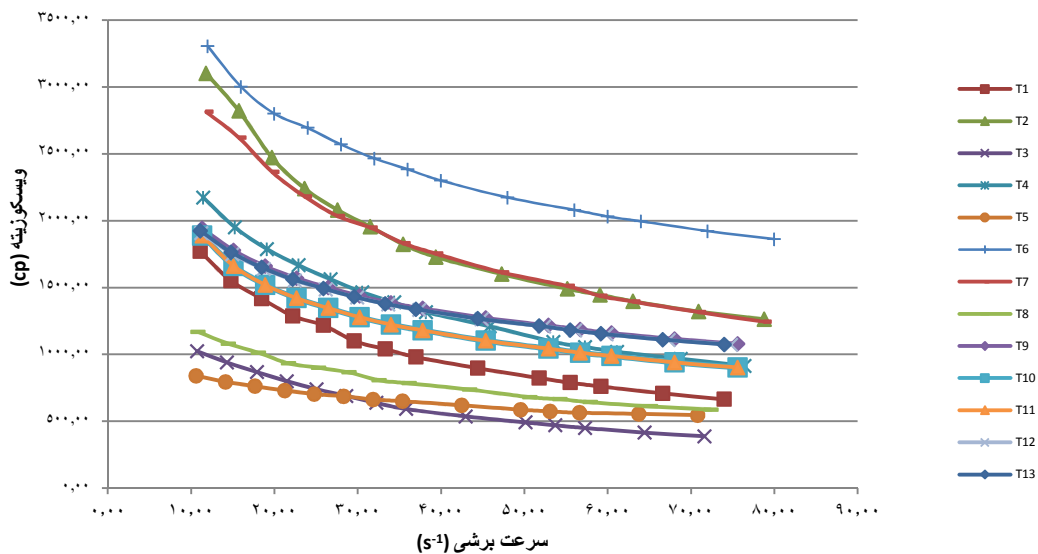
با افزایش میزان کفیران، ضریب قوام نیز افزایش یافت، این افزایش تحت اثر پارامترهای خطی (A) و درجه دوم (AA) کفیران معنی‌دار بود ($p < 0.05$). ضریب قوام تحت اثر خطی روغن گردو (B) به طور قابل توجهی کاهش یافت ($p < 0.05$). پارامتر درجه دوم روغن گردو (BB) و اثر متقابل روغن گردو و کفیران (AB) تأثیر معنی‌داری بر ضریب قوام نداشت ($p > 0.05$).

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مدل کاسون نیز رفتار رئولوژیکی نمونه‌های بستنی را به خوبی و با ضریب تبیین بالایی توصیف می‌نماید.

جریان انتخاب گردید. در جدول ۴ پارامترهای مربوط به مدل توان آمده است. در مدل توان اندیس رفتار جریان کمتر از ۱ نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش می‌باشد. با توجه به اینکه نمونه‌های آزمایش شده دارای اندیس رفتار جریان کوچک‌تر از یک هستند، رفتار رقیق شونده با برش دارند. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود با افزایش سطح جایگزینی روغن گردو، اندیس رفتار جریان بزرگتر شد، در نتیجه میزان رقیق شوندگی با برش، کاهش یافت و رفتار مخلوط به رفتار مایع نیوتنی ($n=1$) نزدیک شد. این تغییرات تحت اثر خطی روغن گردو (B) معنی‌دار بود ($p < 0.05$). اندیس رفتار جریان با افزایش میزان کفیران تحت اثر خطی (A) به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرد ($p < 0.05$). پارامترهای درجه دوم کفیران و روغن گردو و



شکل ۲- نمودار تنش برشی - سرعت برشی در نمونه‌های مخلوط بستنی قبل از انجماد



شکل ۳- نمودار تغییرات ویسکوزیته با افزایش سرعت برشی در مخلوط بستنی پیش از انجماد

جدول ۴- پارامترهای رئولوژیکی مدل قانون توان برای نمونه‌های بستنی حاوی روغن گردو و کفیران

تیمارها	$k_p (Pa.s^n)$	n_p	R^2
T_1	۲/۹۲	۰/۶۳	۰/۹۹۷
T_2	۴/۸۵	۰/۵۸	۰/۹۹۹
T_3	۲/۱۴	۰/۶۶	۰/۹۹۹
T_4	۳/۸۱	۰/۶۰	۰/۹۹۳
T_5	۱/۹۹	۰/۶۸	۰/۹۹۶
T_6	۵/۹۹	۰/۵۷	۰/۹۹۹
T_7	۴/۷۱	۰/۵۸	۰/۹۹۹
T_8	۲/۲۲	۰/۶۵	۰/۹۹۹
T_9	۳/۳۲	۰/۶۱	۰/۹۹۹
T_{10}	۳/۶۶	۰/۶۰	۰/۹۹۹
T_{11}	۳/۴۶	۰/۶۱	۰/۹۹۹
T_{12}	۳/۲۲	۰/۶۲	۰/۹۹۹
T_{13}	۳/۰۹	۰/۶۳	۰/۹۹۹

جدول ۵- پارامترهای رئولوژیکی مدل کاسون برای برای نمونه‌های بستنی حاوی روغن گردو و کفیران

تیمارها	$T_{OC} (Pa)$	$\eta_c (Pa.s)$	R^2
T_1	۳/۶۵	۰/۵۶	۰/۹۹۳
T_2	۶/۹۷	۰/۶۱	۰/۹۹۸
T_3	۳/۰۶۲	۰/۵۲	۰/۹۹۵
T_4	۵/۴۸	۰/۵۷	۰/۹۹۳
T_5	۲/۲۵	۰/۵۲	۰/۹۸۵
T_6	۸/۲۴	۰/۶۵	۰/۹۹۶
T_7	۶/۳۵	۰/۶۰	۰/۹۹۲
T_8	۲/۵۶	۰/۵۳	۰/۹۹۵
T_9	۴/۲۰	۰/۵۶	۰/۹۹۷
T_{10}	۴/۶۷	۰/۵۶	۰/۹۹۷
T_{11}	۴/۳۷	۰/۵۶	۰/۹۹۶
T_{12}	۴	۰/۵۷	۰/۹۹۶
T_{13}	۳/۶۹	۰/۵۸	۰/۹۹۷

در بین نمونه‌های آزمایش شده، نمونه حاوی ۸ درصد روغن گردو و ۰/۳ درصد کفیران کمترین میزان سختی و نمونه حاوی ۴ درصد روغن گردو و ۰/۱ درصد کفیران بیشترین سختی را داشتند. بررسی اثر متقابل روغن گردو و کفیران نیز هیچگونه اختلاف معنی‌داری را نشان نداد ($p > 0/05$).
باتوجه به جدول ۶ که تجزیه و تحلیل رگرسیونی و معنی‌داری ضرایب را نشان می‌دهد، مدل پیشنهادی برای سختی بستنی در رابطه زیر ارائه شد.

$$R^2 = 97/38 = +156/12 - 23/43A - 36/58B + 5/85AA$$

$$R^2 = 97/38$$

ویسکوزیته کاسون نیز با افزایش کفیران و کاهش روغن گردو تحت اثر پارامترهای خطی آن‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($p < 0/05$).

- ویژگی‌های بافتی

- سختی

با توجه به شکل ۴ با افزودن کفیران سختی بستنی به صورت معنی‌داری ($p < 0/05$) هم در اثر پارامتر خطی (A) و هم در اثر پارامتر درجه دوم (AA) کاهش یافت. اضافه کردن روغن گردو تنها تحت اثر پارامتر خطی (B) سختی بافت بستنی را به طور قابل توجهی کاهش داد ($p < 0/05$).

اثر روغن گردو و کفیران بر روی خواص بافتی و رئولوژیکی بستنی

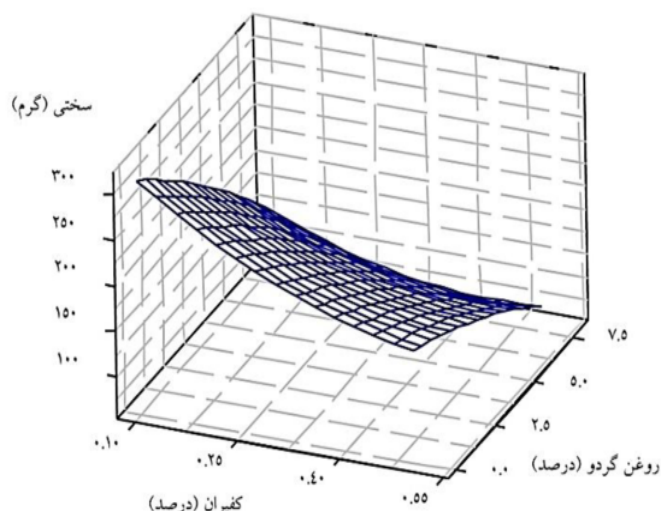
- چسبندگی

درجه دوم روغن گردو (BB) و اثر قابل توجهی بر روی چسبندگی نمونه‌ها نداشت ($p > 0.05$). مدل پیشنهادی جهت پیش‌بینی میزان چسبندگی در زیر آمده است.

$$\text{چسبندگی} = 1/95AA + 26/31B - 19/52A - 50/119 = \text{چسبندگی}$$

$$R^2 = 96/54$$

چسبندگی نمونه‌ها تحت تأثیر اثر خطی (A) و درجه دوم کفیران (AA) قرار داشت ($p < 0.05$). با افزایش میزان کفیران چسبندگی نمونه‌ها کاهش پیدا کرد. جایگزینی روغن گردو در پارامتر خطی (B) به طور معنی‌داری منجر به کاهش در میزان چسبندگی می‌شود ($p < 0.05$). پارامتر



شکل ۴- نمودار سطحی سختی در مقادیر مختلف روغن گردو و کفیران

جدول ۶- ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای ارزیابی سختی بافت

متغیر مدل	ضریب	ضریب اصلاح شده
ثابت	۱۵۸/۸۱**	۱۵۶/۱۲
کفیران (A)	-۲۳/۴۳**	-۲۳/۴۳
روغن گردو (B)	-۳۶/۵۸**	-۳۶/۵۸
کفیران × کفیران (AA)	۵/۲۰*	۵/۸۵
روغن گردو × روغن گردو (BB)	-۲۰/۲۶ ^{ns}	—
کفیران × روغن گردو (AB)	۴/۹۸ ^{ns}	—

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار

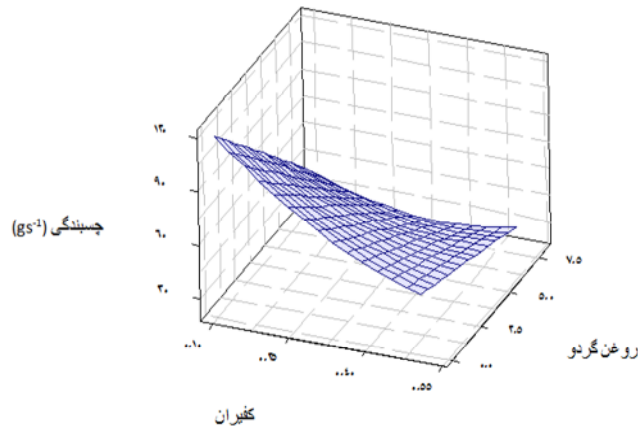
جدول ۷- ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای ارزیابی چسبندگی بافت

متغیر مدل	ضریب	ضریب اصلاح شده
ثابت	۵۰/۱۸**	۵۰/۱۱
کفیران (A)	-۱۹/۵۲**	-۱۹/۵۲
روغن گردو (B)	-۲۶/۳۱**	-۲۶/۳۱
کفیران × کفیران (AA)	۸/۸۹**	۸/۹۵
روغن گردو × روغن گردو (BB)	-۰/۲۰ ^{ns}	—
کفیران × روغن گردو (AB)	۱۴/۲۰ ^{ns}	—

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار



شکل ۵- نمودار سطحی چسبندگی در مقادیر مختلف روغن گردو و کفیران

بحث

ویسکوزیته، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های رئولوژیکی مخلوط بستنی است و تحت تأثیر ترکیب مخلوط (عمدتاً پایدارکننده و پروتئین)، نوع و کیفیت مواد تشکیل دهنده، غلظت ماده جامد کل، فرایند تولید و دمای محیط قرار دارد، مقدار مشخصی از ویسکوزیته برای همزدن مناسب و نگهداری هوا لازم است (Marshall *et al.*, 2003). ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های بستنی با افزایش میزان اختلاط روغن گردو، کاهش و با افزایش میزان کفیران افزایش یافت. Nadeem و همکاران (۲۰۱۰)، نشان دادند که با اختلاط روغن کلزا تا سطح ۲٪ ویسکوزیته به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. و در بالاتر از این غلظت ویسکوزیته به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. Goh و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که با افزایش نسبت روغن دانه کتان کاهش در ویسکوزیته نسبی مشاهده شد. ممکن است این اتفاق به علت وجود اسیدهای چرب غیر اشباع بالا به عنوان مثال لینولنیک اسید با نقطه ذوب ۵ درجه سانتی‌گراد باشد (Nadeem *et al.*, 2010). BahramParvar و همکاران (۲۰۰۹) نتیجه گرفتند که ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز و ثلث پنج انگشتی، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها افزایش یافته است. پژوهشگران دیگری نیز گزارش دادند که با افزودن کفیران تا سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ژل اسیدی شیر پس چرخ ویسکوزیته به صورت قابل توجهی ($p < 0.05$) افزایش یافته است (Rimada & Abraham, 2006).

می‌توان انتظار داشت که مخلوط بستنی که مقدار بالاتری از چربی شیر دارد در دوران فرآیند رساندن در مقایسه با مخلوط بستنی که نسبت بالاتری از روغن گیاهی دارد، بلورهای چربی بیشتری تشکیل دهد. گویچه‌های چربی شیر که بیشتر متبلور هستند، می‌توانند به مانند یک منطقه سخت رفتار کنند، از این رو، مقاومت بیشتری در برابر تغییر شکل در طی اعمال نیروی برشی دارند، روغن‌های گیاهی مایع نیز به عنوان یک حوزه نرم مشخص می‌شوند، از این رو به احتمال زیاد تحت نیروی برشی تغییر شکل می‌دهند (Goh *et al.*, 2006). در اثرواکنش هیدروکلوئیدها با قسمت مایع مخلوط و جذب آب مخلوط منجر به افزایش ویسکوزیته می‌گردد. ترکیبات هیدروکلوئیدی به خاطر طبیعت جاذب رطوبتشان، آب را به خود جذب کرده و تشکیل شبکه ژل مانند می‌دهند که باعث تغییر خصوصیات رئولوژیکی فرآورده می‌شوند (Akin *et al.*, 2007).

رفتار رئولوژیکی مخلوطها در بسیاری از قسمت‌های کارخانجات صنعتی که تحت تأثیر رئولوژی سیال هستند، مانند فرایندهای اختلاط، خط لوله‌ها و پمپ‌ها اهمیت دارد. علاوه بر آن پایداری محصول در دوره نگهداری طولانی مدت و بافت آن که در احساس دهانی بسیار مؤثر است، تحت تأثیر رفتار رئولوژیکی محصول قرار دارد. بنابراین با دانستن رفتار جریان محصول، پیشگویی شرایط لازم جهت طراحی و فراوری و بنابراین تولید محصول با کیفیت، امکان‌پذیر می‌شود (Ibanoglu, 2002).

نسبت داد. Goh و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که با افزودن روغن دانه کتان استحکام بستنی به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

چسبندگی به کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروهای جاذب بین سطح ماده غذایی و موادی که در تماس با آن هستند اشاره می‌کند (Adhikari et al., 2010). هرچه ساختار ژلی و شبکه پروتئینی ازسفتی بیشتری برخوردار باشد، نیروی چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود، افزایش میزان غلظت هیدروکلوئید، منجر به کاهش میزان چسبندگی نمونه‌های می‌شود که می‌تواند ناشی از ایجاد شبکه سه بعدی پروتئینی ضعیف تر در این نمونه‌ها باشد (امیری عقدایی و همکاران، ۱۳۸۹).

نتیجه‌گیری

افزودن روغن گردو و کفیران منجر به تغییرات قابل توجهی در خصوصیات رئولوژیکی و بافتی بستنی می‌گردد. کفیران به عنوان یک هیدروکلوئید که می‌تواند نقش پایدار کنندگی در بستنی ایفا کند، منجر به افزایش ویسکوزیته و کاهش سختی و چسبندگی بافت شد. همچنین کفیران موجب افزایش میزان رقیق شوندگی با برش گردید. پارامترهای قانون توان نیز با افزایش میزان کفیران تغییر یافتند، اندیس رفتار جریان (n) کاهش یافت که خود مبین افزایش رقیق شوندگی با برش است. ضریب قوام نیز با افزایش کفیران افزایش یافت. ویسکوزیته کاسون نیز با افزایش کفیران تحت اثر پارامترهای خطی آن به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

با توجه به تفاوت در ساختار روغن‌های با چربی غیر اشباع بالا نسبت به چربی اشباع شیر، جایگزینی روغن گردو منجر به کاهش قابل توجهی در سختی و چسبندگی بافت و ویسکوزیته ظاهری بستنی گردید. این روغن همچنین منجر به کاهش خصوصیت رقیق شوندگی با برش بستنی شد. اندیس رفتار جریان با افزایش میزان روغن به یک نزدیک شد و ضریب قوام نیز کاهش پیدا کرد. با افزایش درصد اختلاط روغن گردو ویسکوزیته کاسون نیز کاهش پیدا کرد.

اثر متقابل کفیران و روغن گردو نیز منجر به کاهش معنی‌داری در ویسکوزیته ظاهری گردید. اما بر روی اندیس جریان، ضریب قوام و سختی و چسبندگی اثر قابل توجهی

با توجه به شاخص رفتار جریان بدست آمده ($n < 1$)، تمامی نمونه‌ها رفتار رقیق شونده با برش داشتند اما با افزودن کفیران میزان رقیق شوندگی با برش افزایش و با افزودن روغن گردو، کاهش یافت. مخلوط بستنی به طور معمول رفتار سیالات غیر نیوتنی را از خود نشان می‌دهد، همچنین شاخص رفتار جریان مخلوط‌های بستنی را حدود ۰/۷ گزارش کردند (Goff & Davidson, 2005). کاهش میزان ویسکوزیته با افزایش میزان سرعت برشی مربوط به کاهش اصطکاک بین لایه‌ها می‌باشد یا به عبارت دیگر، افزایش برش موجب تبدیل مولکول‌های بلند زنجیره و به هم پیچیده به مولکول‌های مستقیم و خطی می‌شود که هم راستا با جریان سیال جهت گرفتند که همین امر موجب کاهش ویسکوزیته می‌شود (Paton et al., 1999). مولکول‌ها در سرعت برشی پایین به صورت نامنظم قرار می‌گیرند و این باعث ایجاد ویسکوزیته بالا می‌شود (Glicksman et al., 1982).

با افزودن روغن گردو و کفیران سختی و چسبندگی کاهش یافت. بافت بستنی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نقطه ذوب، مقدار ماده جامد کل، افزایش حجم و مقدار و نوع پایدارکننده است (Marshall et al., 2003). سختی برای بیان قدرت شبکه ژل اندازه‌گیری می‌شود و بسته به نوع سیستم غذایی می‌تواند یک پارامتر بسیار مهم باشد (Fizman & Damasio, 2000). افزایش اندازه بلورهای یخ در طول ذخیره‌سازی بستنی با افزایش مقدار سختی همراه است. تعداد و اندازه بلورهای یخ که در طول انجماد و ذخیره‌سازی شکل گرفته است، سختی بستنی را تعیین می‌کند (Goff, 1997). علاوه بر این، ممکن است تأثیری از مواد تشکیل دهنده (چربی، قند، پروتئین و هیدروکلوئیدها) و شرایط فرایند (همگن‌سازی، رساندن و انجماد) در محصول منجمد نهایی را منعکس کند (Muse & Hartel, 2004). هیدروکلوئیدها می‌توانند تبلور مجدد را با افزایش ویسکوزیته، کاهش دهند (Miller & Hartel, 1997). هیدروکلوئید عامل ژل کننده است و توانایی خود در کنترل تبلور مجدد را در حضور پروتئین‌های شیر بهبود می‌دهند (Soukoulis et al., 2008).

Nadeem و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاهش در سختی بستنی با سطوح بالاتر از ۳٪ روغن کلزا، می‌تواند به نقطه ذوب پایین‌تر روغن کلزا مورد استفاده

Gharibzahedi, S. M. T., Mousavi, S. M., Hamed, M. & Khodaiyan, F. (2014). Determination and characterization of kernel biochemical composition and functional compounds of Persian walnut oil. *Journal of food science and technology*, 51(1), 34-42.

Glicksman, M. (1987). Utilization of seaweed hydrocolloids in the food industry. In *Twelfth International Seaweed Symposium* (pp. 31-47). Springer Netherlands.

Goff, H. D. (1997). Colloidal aspects of ice cream: a review. *International Dairy Journal*, 7, 363-373.

Goff, H. D. & Davidson, V. J. (1992). Flow characteristics and holding time calculations of ice cream mixes in HTST holding tubes. *Journal of Food Protection*, 55(1), 34-37.

Goh, K. K., Ye, A. & Dale, N. (2006). Characterisation of ice cream containing flaxseed oil. *International journal of food science & technology*, 41(8), 946-953.

Huggett, A. C. & Verschuren, P. M. (1996). The safety assurance of functional foods. *Nutrition reviews*, 54(11), S132-S140.

Ibanoğlu, E. (2002). Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic. *Journal of Food Engineering*, 52(3), 273-277.

Li, D., Yao, T. & Siriamornpun, S. (2006). Alpha-linolenic acid content of commonly available nuts in Hangzhou. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research* (1):18-21.

Lim, C. W., Norziah, M. H. & Lu, H. F. S. (2010). Effect of flaxseed oil towards physicochemical and sensory characteristic of reduced fat ice creams and its stability in ice creams upon storage. *International Food Research Journal*, 17, 393-403.

Marcotte, M., Taherian, A. R. & Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34, 695-704.

Marshall, R. T., Goff, H. D. & Hartel, R. W. (2003). *Ice cream*. Springer Science & Business Media

Minhas, K. S., Sidhu, J. S., Mudahar, G. S. & Singh, A. K. (2002). Flow behavior characteristics of ice cream mix made with buffalo milk and various stabilizers. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57(1), 25-40.

Miller-Livney, T. & Hartel, R. W. (1997). Ice recrystallization in ice cream: interactions

نداشت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با انتخاب نسبت مناسبی از روغن گیاهی و پایدار کننده می‌توان به ترکیبی از بستنی با خصوصیات رئولوژیکی مطلوب دست پیدا کرد.

منابع

امیری عقدایی، س.، اعلمی، م. و رضایی، ر. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر هیدروکلوئید دانه اسفرزه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست کم چرب. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد ۶، شماره ۳، ۲۰۹-۲۰۱.

رضایی، ر.، خمیری، م.، کاشانی نژاد، م. و اعلمی، م. (۱۳۸۹). بررسی خواص رئولوژیکی و حسی ماست منجمد حاوی غلظت‌های مختلف صمغ عربی و صمغ گوار. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد ۷، شماره ۱، ۴۹-۴۲.

Adhikari, B., Howes, H., Bhandari, B. R. & Truong, V. (2001). Stickiness in foods: a review of mechanisms and test methods. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 1-33.

Akin, M. B., Akin, M. S. & Kırmacı, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food chemistry*, 104(1), 93-99.

Arihara, K. (2006). Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Science*, 74(1), 219-229.

Bahramparvar, M., Haddadkhodaparast, M. H. & Razavi, S. (2009). The effect of *Lallemantia royleana* (Balangu) seed, palmate-tuber salep and carboxymethylcellulose gums on the physicochemical and sensory properties of typical soft ice cream. *International journal of dairy technology*, 62(4), 571-576.

Clarke, C. (2012). *The science of ice cream*. Royal Society of chemistry. Cambridge, UK.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

Fizman, S. M. & Damasio, M. H. (2000). Instrumental Measurement of Adhesiveness in Solid and Semi-Solid Foods. A Survey. *Journal of Texture Studies*, 31(1), 69-91.

between sweeteners and stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 80(3), 447-456.

Mitschka, P. (1982). Simple conversion of Brookfield RVT readings into viscosity functions. *Rheologica Acta*, 21(2), 207-209.

Muse, M. R. & Hartel, R. W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science*, 87(1), 1-10.

Nadeem, M., Abdullah, M. & Ellahi, M. Y. (2010). Effect of incorporating rape seed oil on quality of ice cream. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(2), 121-126.

Patel, G. (2005). Essential fats in walnuts are good for the heart and diabetes *Journal of the American Dietetic Association*, 105(7): 1096-1097.

Piermaria, J. A., de la Canal, M. L. & Abraham, A. G. (2008). Gelling properties of kefiran, a food-grade polysaccharide obtained from kefir grain. *Food Hydrocolloids*, 22(8): 1520-7.

Razavi, S. M. A., Taheri, H. & Quinchia, L. A. (2011). Steady shear flow properties of wild

sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 25, 451-458.

Rimada, P. S. & Abraham, A. G. (2006). Kefiran improves rheological properties of glucono- δ -lactone induced skim milk gels. *International dairy journal*, 16 (1), 33-39.

Soukoulis, C., Chandrinos, 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.

Tong, L. M., Sasaki, S., McClements, D. J. & Decker, E. A. (2000). Mechanisms of the antioxidant activity of a high molecular weight fraction of whey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1473-1478.

Welman, A. D. & Maddox, I. S. (2003). Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: perspectives and challenges. *Trends in biotechnology*, 21(6), 269-274.