



بررسی اثر غلظت ساکارز بر خصوصیات رئولوژی ژل آب انار بر پایه ژلاتین/کاپا-کاراگینان

علی معتمدزادگان^۱، ثمر صحرایی^{۲*} و وحیده سرابی اقدم^۳

^۱استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳دانش آموخته مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: در این مقاله ژل‌های آب انار، رقم شیرین پوست قرمز محلی (۵۰٪ حجمی-حجمی محلول نهایی)، که بر پایه هیدروکلوئیدهای ژلاتین یا کاپا-کاراگینان با مقادیر مختلف ساکارز (۲/۶ و ۵/۸ درصد وزنی-حجمی محلول نهایی) تهیه شده‌اند، از لحاظ ویژگی‌های بافتی (سختی، انسجام و فنریت) و ویژگی‌های ویسکوالاستیک مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. میوه انار یکی از محصولات متنوع غذایی مورد استفاده در ایران کشت می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک منبع مناسب جهت تولید محصولات متنوع غذایی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال شرایط ویژه این میوه از جمله pH پایین، طعم متنوع، رنگ قرمز تیره، ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی و غیره می‌تواند بر ویژگی‌های محصول نهایی مؤثر باشد. از این نظر، نیاز است تا تاثیر استفاده از آب انار طبیعی بر کیفیت ژل نهایی مورد مطالعه قرار گیرد. از آنجا که ژلاتین و کاراگینان دو نماینده خوب از هیدروکلوئیدهای پروتئینی و پلی ساکاریدی با قابلیت دسترسی بالا و قیمت پایین می‌باشند، ژل‌های آب انار بر پایه این هیدروکلوئیدها تهیه شد. همچنین با توجه به اینکه در فرمولاسیون اکثر ژل‌ها شکر به‌عنوان یک طعم دهنده و بهبود دهنده بافت به کار می‌رود، تأثیر آن بر ویژگی‌های بافتی ژل بر پایه آب انار و در نتیجه برهمکنش با ترکیبات ژل مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی ویژگی‌های بافتی از جمله سختی، انسجام و فنریت از آزمون‌های بافت سنجی فشاری به کمک دستگاه بافت سنج و جهت تعیین ویژگی‌های ویسکوالاستیک ژل‌ها از ارزیابی‌های دینامیکی

*مسئول مکاتبه: samar.sahraee@gmail.com

ویسکوالاستیک نوسانی به کمک رئومتر نوسانی استفاده شده و با توجه به مدول ذخیره، مدول ویسکوز و تانژانت افت، رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها تفسیر گردیده است.

یافته‌ها: نتایج آزمون پروفیل بافت نشان می‌دهد که استفاده از ساکارز در ژل‌های (آب انار) بر پایه ژلاتین بطور موثری باعث افزایش سختی، انسجام و فنریت بافت شده است. همچنین ارزیابی‌های رئولوژیکی نوسانی نشان می‌دهد که افزایش غلظت ساکارز سبب بهبود ویژگی الاستیسیته ژل‌های ژلاتینی می‌شود و این ژل‌ها در فرکانس‌های بالاتری تضعیف می‌گردند. از آنجا که ژل‌های ژلاتینی ماهیت پروتئینی دارند، در pHهای مختلف بار الکترواستاتیکی متفاوتی دارد. به همین دلیل در pH اسیدی آب انار، که پایتتر از pH ایزوالکتریک این پروتئین می‌باشد، ژلاتین می‌تواند دارای بار مثبت شود که آن را قادر می‌سازد با گروه‌های آنیونی موجود در محیط واکنش دهد. بر این اساس، وجود ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و تانن‌ها در آب انار که ساختار آنیونی دارند به افزایش این برهمکنش‌ها کمک می‌کنند. همچنین نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که استفاده از آب انار طبیعی و شکر به عنوان افزودنی برای تهیه ژل برپایه ژلاتین، به علت pH مناسب آبمیوه و برهمکنش الکترواستاتیک و هیدروژنی ترکیبات موجود در پروتئین، آب انار و ساکارز، باعث تشکیل ژلی با کیفیت بالا می‌شود. در مورد ژل کاپا-کاراگینان، افزایش غلظت ساکارز به دلیل جلوگیری از تشکیل ساختار ویسکوالاستیک شبه جامد در ژل کاپا-کاراگینان منجر به کاهش سختی و انسجام و همچنین افزایش مدول ویسکوز در این ژل می‌گردد. ساکارز اگرچه در غلظت پایین باعث بهبود ویژگی‌های ژل می‌گردد ولی در غلظت‌های بالا اثر معکوسی روی الاستیسیته ژل کاراگینان می‌گذارد. دلیل اصلی چنین اثری احتمالاً مربوط به اثر ممانعت‌کنندگی ساکارز بر تشکیل اتصالات عرضی است. علاوه بر این، ترکیبات مختلف موجود در آب انار نیز ممکن است اثر هم‌افزایی با ساکارز در کاهش کیفیت بافتی ژل کاراگینان داشته باشند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که می‌توان ژل‌هایی با کیفیت مطلوب بر پایه آب انار طبیعی به کمک هیدروکلوئیدهای ژلاتین و کاپا-کاراگینان با غلظت بهینه شکر تهیه نمود، بدون آنکه ویژگی‌های طبیعی آب انار، مانند pH و یون‌های موجود در آن، تأثیر منفی بر ساختار این ژل‌ها داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آب انار، رئولوژی، ژلاتین، کاپا-کاراگینان، ژل.

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در زمینه شناسایی مواد غذایی که پتانسیل بالقوه‌ای در ایجاد سلامتی دارند صورت گرفته است و سعی بر آن است که بتوان این مواد را به صورت محصولات متنوع غذایی که باعث افزایش مطلوبیت و پذیرش مصرف کنندگان شود، فرآوری نمود (۵).

در این میان، آب انار که دارای خواص زیادی از جمله خاصیت ضد میکروبی، ضد گرفتگی شریان‌ها و ضد التهاب می‌باشد (۲۱) می‌تواند برای تولید فراورده‌های مختلف از جمله ژل‌ها به کار رود. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب انار تجاری سه برابر خاصیت آنتی‌اکسیدانی آب انگور قرمز و چای سبز می‌باشد که این ویژگی سودمند مربوط به مقدار بالای مواد پلی‌فنولی و ترکیبات فیتوشیمیایی در انار است (۱۶). انار بومی ایران (*Punica granatum L.*) نیز که در کشورهای همچون اسپانیا و آمریکا کشت می‌شود (۹)، در انواع مختلف واریته‌ها با شکل، مزه (شیرین تا اسیدی)، رنگ و آنتوسیانین‌های متفاوت به صورت دانه تازه یا آب میوه تازه در نوشیدنی‌ها و ژل‌ها بکار می‌رود و یا به عنوان طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۳).

در تولید ژل‌های بر پایه آب میوه‌ها از هیدروکلوئیدهای متعددی مانند آگار، آلژینات، کاراگینان، ژلان، زانتان، ژلاتین و ترکیب آنها استفاده می‌شود (۲۰). هیدروکلوئیدهای مختلف، خواص عملکردی متنوعی از جمله امولسیون کنندگی، بافت دهندگی، تشکیل پیوند، معلق کردن یا پوشاندگی و تشکیل ژل دارند (۱). در این میان، ژل‌های ژلاتین که نرم و انعطاف پذیرند (۹)، نسبت به سایر هیدروکلوئیدها دارای ویژگی‌های متفاوتی مانند نیاز به غلظت بالاتر، زمان طولانی‌تر و دمای پایین‌تر برای تشکیل ژل دارند (۲۸). وقتی محلول ژلاتین تا دمای کمتر از ۳۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد خنک می‌شود، ماریپیچ تصادفی زنجیره پلی‌پپتید به‌طور نسبی به حالت هلیکس سه گانه تبدیل می‌شود که در نهایت ژل تشکیل می‌گردد. قابل ذکر است که مدول الاستیک ژل ژلاتین با افزایش ساختار هلیکس افزایش می‌یابد (۲۶). به‌طور کلی پروتئین‌ها زمانی که در محیطی با pH کمتر (بیشتر) از pH ایزوالکتریک خود قرار بگیرند دارای بار مثبت (منفی) می‌شوند که ایجاد بارهای هم نام به باز شدن ساختار ماریپیچ تصادفی اولیه و دناتوراسیون پروتئین منجر می‌شود. بر این اساس، تغییر pH محیط می‌تواند یک روش مؤثر در بهبود ویژگی‌های تشکیل ژل، فیلم و کف در پروتئین‌ها باشد (۱۴). از آنجا که ژلاتین در محیط اسیدی دارای بار مثبت است، پلی‌فنل‌ها و فلاونوئیدهای استخراج شده از گیاهان می‌توانند با گروه‌های جانبی آمین پپتیدها واکنش دهند و نقش یک عامل اتصال‌دهنده جانبی را در پروتئین‌ها ایفا

نمایند (۱۴). ژلی که دارای این مواد اتصال دهنده باشد دارای قدرت مکانیکی بالاتر، سینترزیس کمتر و گروه‌های آمین آزاد کمتری است. این اتصالات جانبی باعث می‌شود شبکه پلیمری منسجمی تشکیل شود که از باز شدن زنجیره‌ها حتی در pH خارج از محدوده ایزوالکتریک جلوگیری کند (۱۳). وجود بارهای مثبت در ژلاتین می‌تواند به واکنش با ساکاریدهایی مانند ساکارز منجر شود. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که ژلاتین و ساکارز بتوانند در محیطی با pH مناسب قرار بگیرند تا دارای بارهای مخالف شوند. نهایتاً یک محیط ویسکوز تشکیل می‌شود که از ماکرومولکول‌هایی تشکیل شده که می‌توانند قطرات آب را به دام اندازند و در اثر خشک شدن، ژل مستحکمی تشکیل دهند (۲۶).

علاوه بر ژلاتین، هیدروکلونید کاراگینان نیز به علت پتانسیل آن در افزایش ویسکوزیته و تشکیل ژل‌های برگشت‌پذیر حرارتی در آبمیوه‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۸). کاراگینان که از لحاظ ساختاری یک پلی‌ساکارید با وزن مولکولی بالا و ساختار خطی است و دارای واحدهای تکرار شونده گالاکتوز و ۳-۶-آنهیدرو گالاکتوز^۱ می‌باشد، از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی ژل‌هایی با بافت‌های نرم و الاستیک تا سفت و شکننده تشکیل می‌دهد که این ویژگی‌ها تحت تاثیر ساختار شیمیایی و وزن مولکولی آن قرار می‌گیرد (۲۰).

با توجه به اینکه این هیدروکلونید عمده‌تاً به علت وجود گروه‌های سولفات، و به نسبت کمتر وجود پیرووات و متوکسیل، خاصیت آنیونی دارد، کاتیون‌ها در تشکیل ژل توسط این پلیمر موثرند. بر این اساس، انتظار می‌رود عصاره انار که سرشار از یون‌هایی با بار مثبت از جمله یون پتاسیم است، بتواند نقش مهمی در بهبود ساختار ژل بر پایه کارگینان داشته باشد (۱۹). یکی دیگر از عواملی که می‌تواند به عنوان بهبوددهنده ژل‌های کارگینان به کار رود، افزودنی مانند ساکارز است که از طریق تشکیل باندهای هیدروژنی، باعث افزایش پایداری اتصالات و پیوندهای درون ژل و در نتیجه افزایش الاستیسیته آن می‌گردد (۲۲).

استفاده از تکنیک‌های رئولوژیکی برای ارزیابی ویژگی‌های مواد غذایی به ویژه ژل‌های هیدروکلونیدی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تکنیک‌ها، به منظور تعیین تنش آستانه، ویسکوزیته ظاهری و میزان هیستریزس ژل‌ها از آزمون‌های بافتی در محدوده تغییر شکل زیاد استفاده می‌شود در حالی که آزمون رئومتری نوسانی با دامنه کوتاه برای بررسی تنش‌هایی که

بیشتر از حد مجاز محدوده الاستیک نیست، به کار می‌رود. تکنیک‌های رئولوژیکی می‌تواند برای بررسی برهمکنش‌های بین مواد بهبود دهنده مثل ساکارز با ماده اصلی تشکیل دهنده ژل مثل کاراگینان و ژلاتین کاربرد داشته باشد (۲۰).

با توجه به اینکه اطلاعات در مورد ویژگی‌های بافتی ژل تهیه شده از آب انار شیرین محلی ایران اندک است، در این تحقیق سعی شده ژلهایی بر پایه ژلاتین و کاراگینان با استفاده از آب انار محلی تهیه گردد و تأثیر آب انار بر ویژگی‌های رئولوژیکی ژل ژلاتین و کاراگینان مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی از آنجا که شکر یک افزودنی لازم از نظر طعم دهندگی و بهبود دهندگی بافت است تأثیر غلظت شکر نیز بر ویژگی‌های بافتی ژل نهایی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مواد: هیدروکلوئیدهای ژلاتین گاوی (بلاوم ۲۵۰، میانگین وزن مولکولی ۴۰۰۰۰-۵۰۰۰۰ و نقطه ایزوالکتریک بین ۴/۹-۸/۴، شرکت نامکسون، کشور سازنده پاکستان) و کاپا-کاراگینان (تهیه شده از شرکت نگین خوراک پارس) از مرکز فروش صمغ‌های خوراکی واقع در زنجان، ایران خریداری شدند. میوه انار ترش محلی (رقم شیرین پوست قرمز) در آبان ماه از یک سوپرمارکت محلی واقع در ساری (مازندران، ایران) خریداری و با آبمیوه گیر خانگی (Toshiba, Ltd., Japan) آبگیری شد. آب مقطر دیونیزه شده (تهیه شده در دستگاه آب مقطر گیر آزمایشگاهی) و ساکارز خوراکی (شرکت شکر شاهرود) برای مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

روش‌ها

تهیه ژله انار: در این پژوهش اثر ساکارز در غلظت‌های ۲/۸ و ۵/۶ درصد وزنی بر حجم محلول نهایی بر ژلهای ۲/۸ درصد وزنی-حجمی ژلاتین یا ۲ درصد وزنی-حجمی بر پایه محلول نهایی کاپا کاراگینان بر پایه آب انار بررسی شد. سطوح ماده ژل کننده و ساکارز پس از انجام آزمون‌های اولیه تعیین شدند. برای تهیه ژل ژلاتین، ۵۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه شده حرارت داده شد تا به دمای جوش برسد. ژلاتین به مقدار در نظر گرفته شده به آن افزوده و به خوبی در آب حل شد. سپس حرارت دهی متوقف گردید و ساکارز به مقدار مورد نظر به محلول فوق اضافه گردید. پس از حل شدن ساکارز ۵۰ میلی لیتر آب انار (۵۰٪ حجم محلول نهایی) با بریکس اولیه ۱۷ درجه سانتی‌گراد

(اندازه گیری شده با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتال ABBE، CETI بلژیک)، $\text{pH} = 3/3$ (pH) متر 827 pH lab، سوئیس) و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به محلول افزوده شد، و پس از از اندکی همزدن به ظروف پلی پروپیلن با قطر ۳ و ارتفاع ۲ سانتی متر منتقل گردید و در دمای 1 ± 4 درجه سلسیوس در یخچال به مدت ۲۰ ساعت نگهداری گردید تا رسانیدن ژل‌ها کامل شود (بنرجی و همکاران، ۲۰۱۳).

برای تهیه ژل کاراگینان، محلول کاپا-کاراگینان، ساکارز و آب مقطر دیونیزه شده داخل ظرف استیل ضد زنگ با یک همزن مغناطیسی (TRIMIX TXR 10 L, V.M.I.-Rayneri, Montaigu, France) با سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه با سیر افزایش دمای ۴ درجه سلسیوس بر دقیقه تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده، سپس به مدت ۱۰ دقیقه در همان دما نگهداشته شد. محلول در حال همزدن تا دمای ۷۰ درجه سلسیوس خنک گردید و ۵۰ میلی‌لیتر (۵۰ درصد حجمی محلول نهایی) آب انار با بریکس ۱۷° و دمای ۲۵ درجه سلسیوس به آن افزوده شد. بعد از ۱۰ دقیقه همزدن نمونه‌ها به ظروف مشابه بالا منتقل شده و در دمای 1 ± 4 درجه سلسیوس به مدت یک شبانه روز نگهداری گردیدند.

آزمون بافت: رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌ها شامل ژل آب انار بر پایه ژلاتین با غلظت‌های مختلف شکر (۲/۸ و ۵/۶ درصد وزنی - حجمی محلول نهایی) و ژل آب انار بر پایه کاپا کاراگینان با غلظت‌های مختلف شکر (۲/۸ و ۵/۶ درصد وزنی - حجمی محلول نهایی) با استفاده از رئومتر (Anton paar.MC301، ساخت کشور اتریش) ارزیابی گردید. ژل‌ها با قطر ۳۰ mm و ارتفاع ۱۰ mm در دستگاه قرار گرفتند. اطراف ژل‌ها با روغن پارافین پوشانده شد تا از افت رطوبت جلوگیری شود. نمونه‌ها تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه خود با استفاده از یک صفحه مسطح با قطر ۱۰ mm با سرعت 1 mms^{-1} تحت فشار قرار گرفتند. ویژگی‌های مختلف بافتی از جمله انسجام، فنریت، سختی با استفاده از منحنی فشردگی - تغییر شکل محاسبه شدند.

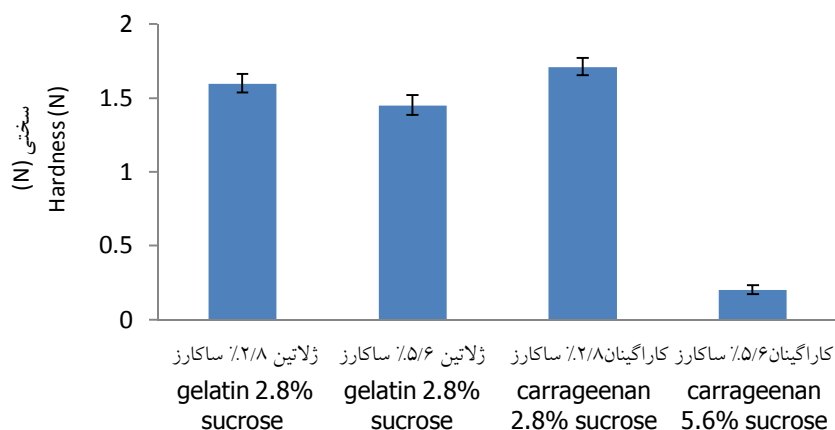
ارزیابی‌های دینامیکی ویسکوالاستیک نوسانی: با استفاده از دستگاه رئومتر نوسانی (MCR 301 ساخت شرکت آنتون پار آلمان) آزمون رئولوژیکی ناپایا شامل روبش کرنش جهت تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی و روبش فرکانس در کرنش تعیین شده با پروب صفحه موازی انجام شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده شدند تا به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برسند. سپس

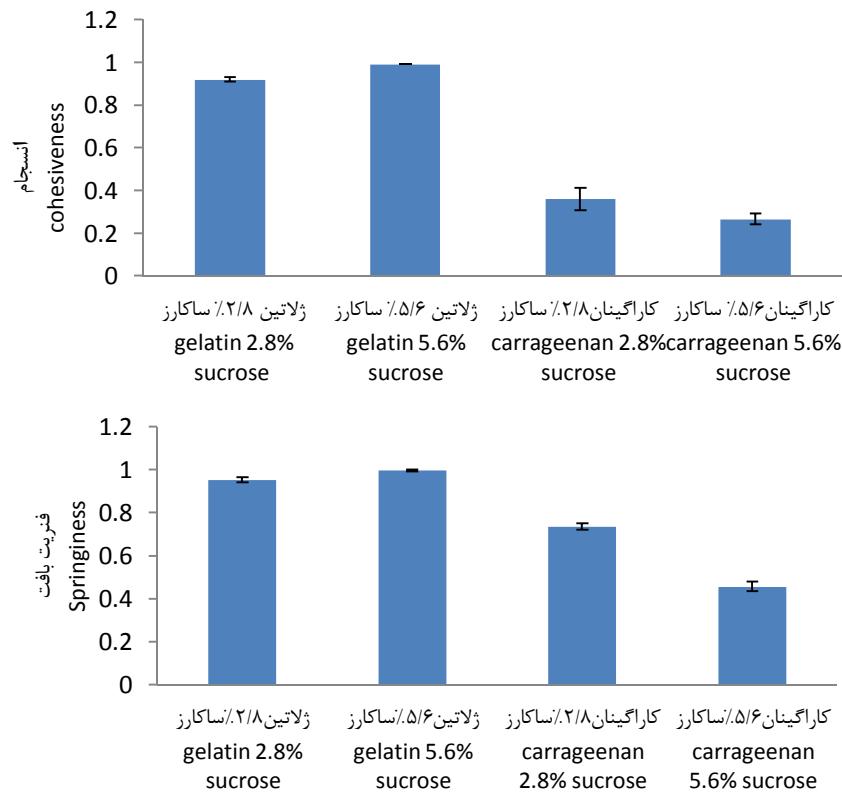
با استفاده از استوانه فلزی توخالی با قطر ۲۵ mm برش زده شده و به دستگاه منتقل شدند. با استفاده از آزمون روبش کرنش، کرنش ثابت ۱ درصد به عنوان محدوده ویسکوالاستیک خطی برای آزمون‌های روبش فرکانس انتخاب شد. نمونه‌ها در محدوده خطی ویسکوالاستیک در دامنه فرکانسی ۱-۱۰۰ رادیان بر ثانیه در استرس کنترل ۸ پاسکال (که با توجه به شکل ۱-۳ تعیین شده است) قرار گرفتند. متعاقباً مدول ذخیره (G')، مدول افت (G'') و تانژانت افت ($\tan\delta$) تحت تأثیر فرکانس اندازه‌گیری شدند. نرم‌افزار رثوپلاس برای ثبت نمودارها مورد استفاده قرار گرفت.

طرح آماری و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها: در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمایشات فاکتوریل ۲×۲ (ساکارز و ماده ژل کننده هر یک در دو سطح) با سه تکرار استفاده گردید. نتایج با نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سختی: تأثیر غلظت ساکارز در سختی ژل ژلاتین/کاپا-کاراگینان در شکل ۱ نشان داده شده است. سختی معادل بیشترین نیرویی است که در اولین فشردگی به ماده غذایی وارد می‌شود و در منحنی پروفیل آنالیز بافت معادل ارتفاع اولین پیک می‌باشد. به طور کلی، با افزایش غلظت ساکارز، سختی ژل افزایش می‌یابد ($P \leq 0.05$). ولی این افزایش سختی در مورد ژل آب انار بر پایه کاپا-کاراگینان بیشتر بوده است. بیشترین نیرویی که ژل کاپا-کاراگینان با غلظت ۲/۸ درصد ساکارز می‌تواند تحمل کند اندکی بیشتر از بیشترین نیرویی است که ژل ژلاتین با غلظت ۵/۶ درصد ساکارز تحمل می‌کند.





شکل ۱: میزان سختی، انسجام و قابلیت ارتجاع ژل تیمارهای مختلف.

Figure 1. Hardness, cohesiveness and springiness of gel samples.

بهبود خواص رئولوژیکی ژل‌ها تحت تأثیر افزایش غلظت ساکارز در تحقیقات پیشین پیرامون ژل‌های بر پایه ژلان، زانتان یا صمغ لوبیای لوکاست مشاهده شده است (۶). در ژل‌های بر پایه ژلان یا با افزایش غلظت ساکارز، مقاومت ژل در برابر فشار نیز افزایش می‌یابد (۴). علت این امر می‌تواند افزایش ماده خشک کل، کاهش آب آزاد، افزایش قدرت یونی محیط و نیز افزایش اثرات متقابل صمغ/پروتئین و ساکارز باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ژل آب انار بر پایه ژلاتین یا کاپا-کاراگینان نیز از این روند تبعیت می‌کند.

در بین کل تیمارها، بیشترین مقدار سختی مربوط به ژل با غلظت ۲/۸٪ ساکارز، ۲٪ کاپا-کاراگینان بود. طبق بررسی‌های ساه و همکاران در سال ۲۰۱۰ تأثیر ساکارز بر ویژگی‌های رئولوژیکی ژل ژلان در

آب میوه‌هایی با غلظت هیدروکلوئیدی پائین تر مشهودتر می‌باشد (۲۴). نمونه‌هایی که ساکارز بیشتری داشتند آرمیدگی بیشتری نسبت به نمونه‌هایی با ساکارز کمتر نشان دادند. در این تحقیق ساکارز نقش مهمی در سختی نمونه‌های کاپا-کاراگینان نسبت به ژل‌های انار بر پایه ژلاتین داشته است که با تحقیقات ساها و همکاران، ۲۰۱۰ مطابقت دارد.

انسجام بافت (چسبندگی): انسجام ژل به معنای اندازه‌گیری میزان انرژی لازم برای شکستن ساختار داخلی ژل می‌باشد (۲۵). افزایش میزان ساکارز در ژل‌های آب انار بر پایه ژلاتین / کاپا-کاراگینان به ترتیب باعث افزایش و کاهش انسجام ژل شد. در مطالعه ای که توسط فیزمن در سال ۱۹۹۲ صورت گرفت در اثر افزودن ۵۰٪ ساکارز در ژله پالپ هلو بر پایه کاراگینان ژل سستی تشکیل می‌شود که سختی و مقاومت کمی در برابر شکست دارد. وجود پالپ میوه تأثیر ساکارز در کاهش مقاومت در شکست^۱ را افزایش می‌دهد. با توجه به نتایج مشاهده شده در شکل ۱-۳ ژل ژلاتین با غلظت بالای ساکارز می‌تواند در دمای اندازه‌گیری شده نماینده ژل منسجم تری نسبت به ژل کاپا-کاراگینان باشد. افزایش غلظت ساکارز احتمالاً باعث سست شدن ماتریکس ژل کاراگینان شده و باعث کاهش انسجام ژل می‌گردد. در ژل‌های بر پایه پلی ساکاریدها مثل آگار، ژلان، کاراگینان با افزودن ساکارز سستی و کرنش ژل افزایش می‌یابد. این پدیده ممکن است به دلیل کاهش زنجیره‌های شکل گرفته در فیبرهای پلی ساکاریدی باشد (۲۴).

ولف و همکاران در سال ۱۹۸۹ گزارش کردند که افزودن ژلاتین در مقایسه با هیدروکلوئیدهایی مثل زانتان، گوار، لوکاست بین، کربوکسی متیل سلولز و تامارین به ژل بر پایه ژلان انسجام بیشتری می‌دهد (۲۷).

لوتنت و همکاران در سال ۲۰۰۳ در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که اگرچه ساکارز باعث کاهش انسجام ژل‌هایی بر پایه کاراگینان می‌گردد ولی تأثیر غلظت آن بسیار ناچیز است. در این مطالعه نیز تأثیر غلظت ساکارز بر انسجام بافت ژل ژلاتین نسبت به ژل کاراگینان بیشتر بوده است (۱۰).

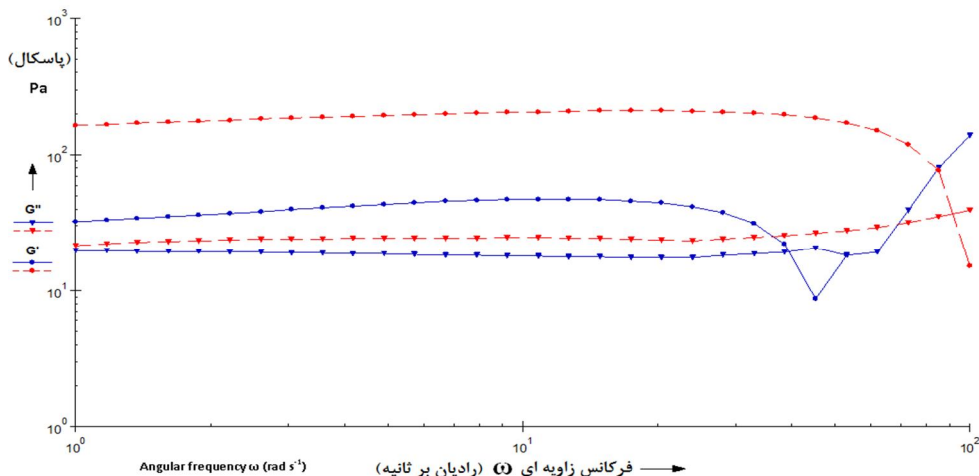
قابلیت ارتجاع: قابلیت ارتجاع (که گاهی به الاستیسیته ربط داده می‌شود) شاخصی برای میزان لاستیکی بودن ژل و ارزیابی تخریب ساختار بافت ژل در فشردگی اولیه در دهان است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود قابلیت ارتجاع به نوع صمغ و غلظت ساکارز بستگی دارد. قابلیت ارتجاع

1. Rupture resistance

ژل ژلاتین با افزایش غلظت ساکارز افزایش می‌یابد. در حالی که، ساکارز تأثیر معکوس در قابلیت ارتجاع ژل کاپا-کاراگینان دارد. به طور کلی ژل‌های بر پایه ژلاتین قابلیت ارتجاع بسیار بالاتری نسبت به ژلهایی بر پایه کاپا-کاراگینان دارند.

آزمون‌های نوسانی: شکل ۲ نشان دهنده نتایج آزمایشات روبش فرکانس برای نمونه‌های ژل آب انار بر پایه ژلاتین با غلظت ۲/۸ و ۵/۶ درصد ساکارز می‌باشد. تغییرات مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') نسبت به فرکانس در این آزمون‌های اندازه‌گیری شدند.

با توجه به نمودارها، در آزمون روبش فرکانس ژل‌های تهیه شده با ژلاتین و کاراگینان، الگوی بدست آمده نشان دهنده وابستگی مدول‌های ذخیره و افت به فرکانس است. از سوی دیگر در تمام محدوده فرکانس مدول‌های G' و G'' تقریباً موازی هم هستند. همچنین از برازش مدل هرشل بالکی ($G' = k\omega^n + G_0$) بر داده‌های تجربی حاصل از آزمون روبش فرکانس و تعیین پارامترهای این مدل برای بررسی تأثیر نوع هیدروکلوئید و میزان ساکارز بر قدرت و نوع ساختار نمونه‌ها با ضریب همبستگی ($R^2 = 0.98$) استفاده شد. با توجه به جدول ۱ مقدار مدول ذخیره در فرکانس ۱/۲۵ هرتز برای ژل‌های تهیه شده با ژلاتین با غلظت ۵/۶٪ ساکارز از سایر نمونه‌ها بالاتر بوده است.



شکل ۲: منحنی روبش فرکانس ژل آب انار بر پایه ژلاتین با غلظت ۲/۸٪ ساکارز (منحنی توپر) و غلظت ۵/۶٪ ساکارز (منحنی خط چین).

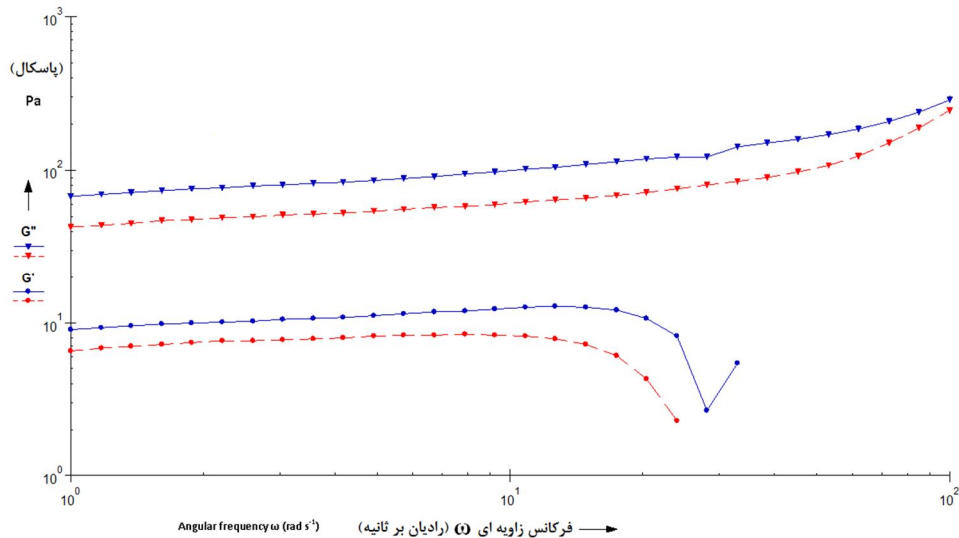
Figure 2. Frequency sweep curve of pomegranate gels based on carrageenan with 2.8% sucrose (solid curve) and 5.6% sucrose (dashed curve).

جدول ۱: فاکتورهای بدست آمده از آزمون روبش-فرکانس برای نمونه‌های ژله آب انار بر پایه ژلاتین و کاراگینان

Table 1. Frequency sweep test results for different treatments of pomegranate gels based on gelatin or carrageenan

فرکانس نقطه تلاقی (Hz) Cross over frequency (Hz)	G'/G'' of cross over	G'' (در فرکانس ۱/۲۵ هرتز) (1.25 Hz frequency)	G' (در فرکانس ۱/۲۵ هرتز) (1.25 Hz frequency)	نمونه sample
8.430 ± 2.030	18.090 ± 3.210	18.110 ± 1.340	46.550 ± 3.220	ژلاتین-۲/۸٪ شکر Gelatin- 2.8% sucrose
14.600 ± 2.110	36.840 ± 5.140	24.690 ± 4.130	201.440 ± 9.860	ژلاتین-۵/۶٪ شکر Gelatin-5.6% sucrose
ندارد	ندارد	75.110 ± 5.310	7.850 ± 1.110	کاراگینان-۲/۸٪ شکر Carrageenan- 2.8% sucrose
ندارد	ندارد	84.970 ± 9.540	10.800 ± 3.150	کاراگینان-۵/۶٪ شکر Carrageenan 5.6% sucrose

شکل ۳ مربوط به نمونه ژله‌های تهیه شده از کاراگینان با غلظت‌های ۲/۸ و ۵/۶ درصد ساکارز می‌باشد. همان‌طور که در این نمودارها نشان داده شده است ژله‌های بر پایه کاراگینان در فرکانس‌های مختلف دارای مدول ویسکوز بالاتری نسبت به مدول ذخیره می‌باشند. که این موضوع توصیف کننده ظاهر سست و ضعیف این ژله‌ها می‌باشد. همان‌طور که در شکل مربوطه نشان داده شده است افزایش فرکانس تا ۱/۲۵ هرتز باعث تخریب کامل ژل کاراگینان با ۲/۸ درصد ساکارز شده و کاهش شدید مدول ذخیره و افزایش مدول افت مشاهده می‌شود. تخریب ژل در مورد نمونه کاراگینان با ۵/۶ درصد ساکارز نیز در فرکانس ۲/۰۲ هرتز صورت گرفت. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، نقطه تقاطع در نمونه‌های ژلاتین مشاهده می‌شود ولی در نمونه‌های کاراگینان وجود ندارد که دلیل این پدیده می‌تواند غلبه حالت ویسکوز بر حالت الاستیک در نمونه‌های کاراگینان در فرکانس‌های بالا باشد. در این فرکانس‌ها نمونه خاصیت مایع ویسکوالاستیک نشان می‌دهد در حالیکه نمونه‌های ژلاتین حتی در فرکانس‌های بالا نیز همچنان حالت جامد ویسکوالاستیک داشتند و لذا نقطه تقاطع می‌تواند به‌عنوان فرکانسی که در آن نقطه تضعیف ژل صورت می‌گیرد، معرفی گردد.



شکل ۳: منحنی روبش فرکانس ژل آب انار بر پایه کاراگینان با غلظت ۲/۸٪ شکر (منحنی خط چین) و غلظت ۵/۶٪ (منحنی توپر).

Figure 3. Frequency sweep curve of pomegranate gels based on carrageenan with 2.8% sucrose (dashed curve) and 5.6% sucrose (solid curve).

نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج آزمون‌های بافت سنجی، افزایش غلظت ساکارز تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های بافتی ژل‌های آب انار بر پایه ژلاتین داشته است زیرا پارامترهای سختی، انسجام و فنریت بافت با افزایش غلظت ساکارز افزایش می‌یابد. از طرفی بر اساس نتایج حاصل از آزمون رئولوژیکی نوسانی که در محدوده تنش‌های کوچک انجام می‌شود و ماده رفتار ویسوالاستیک خطی در این محدوده نشان می‌دهد، مدول الاستیک ژل‌های ژلاتین با افزایش غلظت ساکارز افزایش می‌یابد و ژلی منسجم و سخت تشکیل می‌شود. در نتیجه، استفاده از آب انار طبیعی و شکر در تهیه ژل‌های بر پایه ژلاتین نه تنها تأثیر منفی بر ساختار ژل ندارد بلکه می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های بافتی آن گردد. با این وجود ژل‌های بر پایه کاپا-کاراگینان در غلظت‌های کمتر شکر ویژگی‌های مطلوبتری نسبت به غلظت‌های بالاتر داشتند بطوریکه سختی ژل کاراگینان در غلظت کم ساکارز حتی از ژل ژلاتین با غلظت بالای شکر نیز بالاتر بود. به‌طور کلی می‌توان با کمک هیدروکلونیدهای ژلاتین و کاپا کاراگینان ژل‌هایی بر

پایه آب انار با ویژگی مطلوب بافتی بدست آورد در صورتی که غلظت اپتیمم ساکارز برای این ژل‌ها به درستی تعیین گردد.

منابع

1. Anon.1992. Gellan gum. A multi-functional polysaccharide for gelling and texturizing. San Diego, CA: Kelco Inc.
2. Banerjee, S., and Bhattacharya, S. 2013. Textural characterisation of gellan and agar based fabricated gels with carrot juice. *Food Science and Technology*. 53: 255-261.
3. Bourne, M.C. 1982. Food texture and viscosity: concept and measurement. New York: Academic Press. 44-117.
4. Costell, E., Peyrolon, M., and Duran, L. 2000. Influence of texture and type of hydrocolloid on perception of basic tastes in carrageenan and gellan gels. *Food Science and Technology International*. 6(6): 495-499.
5. Dahlawi, H., Jordan-Mahy, N., Clench, M.R., and Le Maitre, C.L. 2012. Bioactive actions of pomegranate fruit extracts on leukemia cell lines in vitro hold promise for new therapeutic agents for leukemia. *Nutr. Cancer*. 64: 100-110.
6. Damasio, H., Costell, E. and Duran, L. 1997. Sensory quality of low sugar orange gels with gellan, xanthan and locust bean gums. *Zeitschrift f. ur Lebensmittel Untersuchung und Forschung*. 204: 183-188.
7. Dhandar, D.G. 2002. Current Status and Future Needs for the Development of Pomegranate. National Horticulture Conference. 12.
8. Glicksman, M. 1983. Red seaweed extracts. *Food Hydrocolloids 2*, CRC Press Baton Rouge. 73-113.
9. Johnston-Banks, F. A. 1990. Gelatin. In P. Harris, *Food Gels*. 233-289.
10. Lethuaut, L., Brossard, C., Rousseau, F., Bousseau, B. and Genot, C. 2003. Sweetness-texture interactions in model dairy desserts: effect of sucrose concentration and the carrageenan type. *International Dairy Journal*. 13: 631-641.
11. Marshall, S.G. and Vaisey, M. 1972. Sweetness perception in relation to some textural characteristics of hydrocolloid gels. *Journal of Texture Studies*. 3: 173-185.
12. Martucci, J.F. and Roseckaite, R.A. 2009. Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil condition. *Polymer degradation stability*. 94: 1307-1313.
13. Nagarajan, M., Benjakul, S., Prodpran, T. and Songtipy, H.K. 2012. Characteristics and functional properties of gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skin affected by extraction temperature. *Food hydrocolloids*. 29: 389-397.

14. Nagarajan, M., Benjakul, S., Prodpran, T. and Songtipy, P. 2015. Effects of pHs on properties of bio-nanocomposite based on tilapiaskin gelatin and Cloisite Na+. *International journal of biological macromolecules*. 75: 388–397.
15. Nishinari, K., Watase, M., Miyoshi, E., Takaya, T. and Oakenfull, D. 1995. Effects of sugar on the gel–sol transition of agarose and k-carrageenan. *Food Technology Chicago*. 49(10): 90-96.
16. Onsekizoglu, P. 2013. Production of high quality clarified pomegranate juice concentrate by membrane processes. *Journal of membrane science*. 442: 264-271.
17. Papageorgiou, M., Kasapis, S. and Richardson, R.K. 1994. Steric exclusion phenomena in gellan/gelatin systems. I. Physical properties of single and binary gels. *Food Hydrocolloids*. 8(2): 97-112.
18. Patil, A.V. and Karade, A.R. 1996. In *Fruits: Tropical and Subtropical*. Calcutta, India. 234-246.
19. Rochas, R.M., and Landry, S. 1990. Role of the molecular weight on the mechanical properties of kappa carrageenan gels. *Carbohydrate Polymer*. 12: 255-266.
20. Rodd, A.B., Davis, C.R., Dunstan, D.A., Forrest, B.A., and Boger, D.V. 2000. Rheological characterisation of 'weak gel' carrageenan stabilised milks. *Food hydrocolloids*. 14: 445-454.
21. Sangster, M.Y. and D'Souza, D.H. 2010. In vitro effects of pomegranate juice and pomegranate polyphenols on foodborne viral surrogates. *Foodborne Pathogen Disease*. 7: 1473-1479.
22. Sabadini, E.H. and Cunha, R.L. 2006. The Effects Of Sucrose On The Mechanical Properties of Acid Milk Proteins-K-Carrageenan Gels. *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*. 23: 55-65.
23. Sadeghi, N., Jannat, B.M., Oveisi, R., Hajimahmoodi, M. and Photovat, M. 2009. Antioxidant Activity of Iranian Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Extracts. *Journal of Agricultural Sciences Technology* 11: 633-638.
24. Saha, D. and Bhattacharya, S. 2010. Characteristics of gellan gum based food gel. *Journal of Texture Studies*. 41: 459-471.
25. Sanderson, G.R. 1990. Gellan gum. In P. Harris, *Food gels*.
26. Strauss, G. and Gibson, S. 2004. Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food ingredients. *Food Hydrocolloids*. 18: 81-89.
27. Wolf, C.L., Beach, S., La Velle, W.M. and Clark, R.C. 1989a. Gellan gum/gelatin blends. US patent 4876105.
28. Wolf, C.L., Beach, S., La Velle, W.M. and Clark, R.C. 1989b. Gellan gum/gelatin blends. US patent 4876105.

Effect of sucrose concentration on rheological properties of pomegranate juice gels based on gelatin/K-carrageenan

A. Motamedzadegan¹, S. Sahrae^{*2} and V. Sarabi Aghdam³

¹PhD, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran.

²PhD student of food science and technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari, Mazandaran, Iran.

³MS student of food science and technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University Sari, Mazandaran, Iran.

Received: 2014/07/28; Accepted: 2015/11/10

Abstract

Background and objectives: In this paper local pomegranate juice (50% v/v final solution) based gels made from gelatin or kappa-carrageenan with sucrose (2.6%, 5.8% w/v final solution) have been examined to determine their textural characteristics and viscoelastic properties. Pomegranate is one of the most important crops cultivated in Iran which extensively used as a source of variety of products. However, some especial properties of this fruit such as low pH, varied tastes, red color, and phenolic and anthocyanin compounds may affect final product properties. In this regard, it is required to study the influence of applying natural pomegranate juice on final gel quality. Since gelatin and kappa-carrageenan are two popular examples of protein and polysaccharide hydrocolloids which are available with low cost, in this work pomegranate gels were prepared based on these hydrocolloids. Generally, gel formulations include sugar as a taste and texture improver so its interaction with gel components and its effect on textural properties of pomegranate gel was investigated.

Materials and methods: In order to determine textural properties like hardness, cohesiveness and springiness, texture profile analyses have been used. Also, to investigate viscoelastic properties, dynamic oscillation measurements were used and their rheological behavior was interpreted regard to loss tangent, elastic and viscos modulus.

* Corresponding author; samar.sahraee@gmail.com

Results: The result of texture profile analysis show that incorporation of sucrose into gelatin based gels effectively increases hardness, cohesiveness and springiness. Furthermore, the results of oscillatory dynamic rheological measurements show that gelatin gels are more elastic and resist higher frequencies when sucrose concentration increased. Since gelatin has the protein nature, it has different electrostatic charges at different pH levels, so at lower/higher pH than pI it would be found with positive/negative charge. Accordingly, under acidic condition of pomegranate juice with pH lower than gelatin pI, gelatin may carry positive charge which able it interact with anionic agents in the media. In this case, presence of phenolic compounds, flavonoids and tannins with anionic nature in pomegranate juice can enhance these interactions. The results of our investigations have shown that applying pomegranate juice and sucrose for the preparation of gelatin gels leads to form a high quality gel due to proper pH of the juice and adequate hydrogen and electrostatic interactions.

In case of K-carrageenan gels, increase in the sucrose level enhances viscose modulus and decrease hardness and cohesiveness because of preventing the formation of a solid-like viscoelastic texture. Although low concentration of sucrose can improve gel textural properties, at high concentration it inversely affects on carrageenan gel elasticity. The major reason for this effect may be due to sucrose prohibition from cross-linking interactions. Moreover, different compounds in pomegranate juice may have synergistic effect on decreasing textural quality of carrageenan gels by sucrose.

Conclusion: The results of this study indicate that high quality pomegranate gels based on gelatin and K-carrageenan with optimum concentration of sucrose can be produced with no adverse effects of natural conditions of pomegranate juice (low pH and contained ions) on the quality.

Keywords: Pomegranate juice, Rheology, Gelatin, Kappa-carrageenan, Ggel.