

بررسی اثر استفاده توأم نشاسته‌ی اصلاح شده و صمغ زانتان بر ویژگی‌های پایداری، حسی و رئولوژیک سس گوجه‌فرنگی

الهه امیدبخش^۱، کوشان نایب زاده^۲، محمد امین محمدی فر^۳، زهره امیری^۴

- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، انتستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، انتستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: knayeb@sbmu.ac.ir
- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، انتستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- دانشیار گروه علوم پایه، انتستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۱ تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: پایداری و اطلاعات رئولوژی سس گوجه‌فرنگی برای طراحی و بهینه‌سازی تجهیزات فرایند و پذیرش مصرف‌کننده ضروری است. معمولاً از مخلوط نشاسته و صمغ برای کنترل و اصلاح بافت، بهبود ویژگی حفظ رطوبت، کنترل سیالیت آب و کیفیت خوراکی محصولات غذایی استفاده می‌شود. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثرات متقابل نشاسته و زانتان بر ویژگی‌های پایداری، حسی و رئولوژیک سس گوجه‌فرنگی طی نگهداری بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از نشاسته‌ی اتصال عرضی شده‌ی ذرت موئی در ۰/۰٪ وزنی/وزنی (صفر و ۰/۵) و زانتان در ۵٪ وزنی/وزنی (صفر، ۰/۰۲۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۳) استفاده شد. سینرسیس با کاغذ صافی تعیین شد. رفتار جریان و ویژگی‌های ویسکوالاستیک و تیکسوتروپی با دستگاه رئومتر مورد بررسی قرار گرفت. پذیرش کلی بافت (آزمون حسی) با استفاده از مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای ارزیابی شد. کلیه‌ی آزمون‌ها در بالاچاله بعد از تولید و در طول نگهداری (۳ و ۶ ماه بعد از تولید) انجام شد.

یافته‌ها: بررسی کلیه‌ی نتایج با آنالیز واریانس یکطرفه اختلاف معنی‌داری را میان کلیه‌ی نمونه‌ها در هر سه مرحله‌ی اندازه‌گیری نشان داد ($P<0/01$). در کلیه‌ی مراحل اندازه‌گیری، حضور نشاسته و افزایش غلظت صمغ موجب کاهش سینرسیس و افزایش ویسکوزیته شد ($P<0/05$). کلیه‌ی نمونه‌ها سودوپلاستیک بودند و نشاسته موجب کاهش تیکسوتروپی در نمونه‌های حاوی صمغ شد ($P<0/05$). بالاترین تیکسوتروپی را نمونه‌ی حاوی ۰/۰٪ زانتان در میان نمونه‌های با نشاسته داشت ($P<0/05$). در آزمون نوسانی، ماهیت جامد ویسکوالاستیک نمونه‌ها تأیید و بالاترین قدرت پیوند در نمونه با نشاسته حاوی ۰/۰٪ زانتان مشاهده شد ($P<0/05$). پذیرش کلی بافت غلظت‌های ۰/۰٪ و ۰/۲۵ درصد زانتان در نمونه‌های با نشاسته، بیشتر از سایر نمونه‌ها بود.

نتیجه‌گیری: افزودن نشاسته به نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی، استفاده از مقدار ۰/۰۲ و ۰/۰۲۵ درصد را ضمن حفظ ویژگی‌های پایداری، حسی و رئولوژیک مناسب، میسر می‌کند. در حالی که با افزایش غلظت صمغ بافت نامناسبی به دست می‌آید.

وازگان کلیدی: نشاسته، زانتان، رئولوژی، سینرسیس، سس گوجه‌فرنگی

۴ مقدمه

ملکول‌های پلی‌ساکاریدی متراکم شده است. صمغ عربی، گوار، زانتان، کربوکسی متیل سلولز، لوکاست بین و کاکاراگینان از ماکرولملکول‌های رایجی هستند که در ترکیب با نشاسته‌ی ذرت یا گندم بررسی شده‌اند. از بررسی این گونه مطالعات چنان بر می‌آید که یکی از جنبه‌های جذاب مخلوط

در صنایع غذایی مدرن از مخلوط نشاسته و سایر هیدروکلریدهای پلی‌ساکاریدی برای کنترل و اصلاح بافت، بهبود حفظ رطوبت، کنترل سیالیت آب و کیفیت خوراکی محصولات غذایی استفاده می‌شود (۱). مدت زیادی است که بسیاری از تحقیقات بر مخلوط نشاسته‌های غلات و دیگر

ویسکوزیته بالا، پایداری عالی در سیستم‌های اسیدی و گرمایی و در مقابل انجماد و رفع انجماد. این صمغ با قدرت پایدارکنندگی خوب در سس‌ها به کار می‌رود (7). مقدار صمغ زانتان به کار رفته به نوع سس بستگی دارد. به طوری که سس‌های حاوی روغن حدود ۰/۲۵٪ صمغ زانتان نیاز دارند. سس‌های بدون روغن مانند سس گوجه‌فرنگی برای حفظ پایداری به غلظت‌های بالاتری صمغ نیاز دارند که در این صورت، بافتی سنگین و نامطلوب ایجاد می‌شود. به همین دلیل، در صنایع غذایی مدرن سعی شده است برای حل این مشکل از مخلوط نشاسته و صمغ استفاده شود.

بر اساس تحقیقات *Be Miller* و *Whistler* در سال ۱۹۹۷ کاربردهای متعدد نشاسته در صنعت غذا به دلیل تمایل به ترتوگراید شدن و سینرسیس محدود شده است. علاوه بر این، ژل یا خمیر نشاسته در شکل طبیعی خود، به شکستن در گرمادهی طولانی، نیروی برشی یا شرایط اسیدی تمایل دارد که خمیری لاستیکی، ضعیف و ژلی نامطلوب تولید می‌کند (8). نشاسته برای پایداری در مقابل اسید و نیروهای برشی تحت تأثیر اصلاحات شیمیایی قرار می‌گیرد. نشاسته امتیاز توانایی ایجاد بافت قاشق‌پذیر دارد که در سایر هیدروکلوریدها مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این، قابل هضم و ارزان است. اما استفاده از آن در غلظت‌های بالا حالت خمیری ایجاد می‌کند و طعم واقعی سس پنهان می‌شود (6).

تحقیقات بسیاری در مورد کاربرد همزمان صمغ و نشاسته در سس‌های مختلف حاوی روغن انجام شده و اطلاعات مربوط به ویژگی‌های پایداری، رئولوژیک و حسی در اختیار صنعت غذا قرار داده است. برای مثال *Dolz* و همکاران در سال ۲۰۰۷ تأثیر جایگزینی بخشی از نشاسته اصلاح شده با صمغ‌های زانتان و لوکاست بین را پایداری و ثبات امولسیون طی هم زدن بررسی کردند (9). و همکاران در سال ۲۰۰۶ ویژگی‌های رئولوژیک و حسی سس‌های نوت فرنگی قوام یافته با ترکیب صمغ‌های زانتان و نشاسته را بررسی کردند (10). همچنین نویسنده‌گان کتاب هیدروکلوریدها در فرایند مواد غذایی در سال ۲۰۱۱ فرمولاسیون سس‌های محبوب در ایالات متحده آمریکا و کانادا شامل سس فرانسوی، ایتالیایی و مایونز را بررسی کردند که در فرمولاسیون همه‌ی آن‌ها از روغن استفاده شده بود (6). علاوه بر این، در فرمولاسیون نوعی سس ایتالیایی کم کالری (بدون روغن) از مخلوط دو صمغ پروپیلن گلیگول

نشاسته و هیدروکلورید، خواص گوناگون رئولوژیک و بافتی آن‌هاست که می‌تواند نشانگر کاربرد متفاوت آن‌ها در محصولات غذایی باشد. به همین دلیل، رفتار رئولوژیک آن‌ها توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. افزودن هیدروکلورید به نشاسته عمده‌ای افزایش قابل توجهی در ویسکوزیته‌ی نشاسته ایجاد می‌کند و تشکیل ژل آن را سرعت می‌بخشد. این افزایش با تحقیق *Alloncle* و همکاران در سال ۱۹۸۹ روی مخلوط گالاكتومان و نشاسته‌ی ذرت مومی نشان داده شد. علت آن افزایش غلظت هیدروکلورید در فاز پیوسته ذکر شد (2). اگرچه *Abdulgola* و همکاران در سال ۱۹۹۶ که از نشاسته ذرت مومی اتصال عرضی شده یا طبیعی استفاده کردند، افزایش مشاهده شده در ویسکوزیته فاز پیوسته را به این موضوع نسبت ندادند و فرایندهای Depletion flocculation (3).

Doublier و *Alloncle* ویسکوالاستیک دینامیک سیستم‌های نشاسته و هیدروکلورید به این نتیجه دست یافتند که مدول‌های ویسکوز و الاستیک بر خلاف ویسکوزیته، تغییر چشمگیری نمی‌کند (4). از طرفی *Eidam* و همکاران در سال ۱۹۹۵ گزارش کردند که، جایگزینی نسبی نشاسته با هیدروکلوریدها به مدول ویسکوز بالاتر و مدول الاستیک کمتر نسبت به دیسپریزون‌های خالص نشاسته منتج می‌شود (5).

با وجود اهمیت نشاسته و صمغ‌ها در مواد غذایی، مطالعات اندکی بر رفتار رئولوژیک و پایداری آن‌ها به ویژه در انواع سس انجام گرفته است. به طور معمول، ویسکوزیته و قوام سس‌ها باید به مدت یک سال یا بیشتر حفظ شود. به عبارت دیگر، تنها هیدروکلوریدهایی می‌توانند در سس‌ها مورد استفاده قرار گیرند که در مقابل اسیدیته و گرمای زمان طولانی پایدار باشند. از مقاومترین هیدروکلوریدها در برابر اسید می‌توان صمغ‌های زانتان، تراکاکانت، پروپیلن گلیکول آلزینات و میکروکریستالین سلولز را نام برد. این موضوع به ویژه برای سس‌های کم کالری مشکل بزرگی محسوب می‌شود؛ زیرا برای پایدارسازی این سس‌ها به دلیل دارا بودن مقدار آب بیشتر، به هیدروکلورید بیشتری نیاز است (6).

صمغ زانتان هتروپلی‌ساکاریدی است که دارای واحدهای پنتاساکارید تکرارشونده است. این پنتاساکارید شامل ۲ واحد مانوز، ۲ واحد گلوكز و ۱ واحد اسید گلوكورونیک است و امتیازات زیادی دارد مانند: حلایلت بالا در آب داغ یا سرد،

استاندارد ملی ایران به شماره 7936 (11) بودند. صمغ زانتان از شرکت Jungbunzlauer اتریش و نشاسته‌ی اتصال Tongaat hulett عرضی شده‌ی ذرت موئی از شرکت آفریقای جنوبی تهیه شد.

روش تهیه نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی : مواد اولیه لازم برای تولید نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی طبق فرمولاسیون FX-3200 AND مندرج در جدول ۱ با ترازوی دیجیتال ۱۰۰۰ rpm توزین شد. رب گوجه‌فرنگی، آب و شربت گلوکز با میکسر تک پره‌ی رومیزی آزمایشگاهی و با سرعت ۱۰۰۰ به مدت ۳۰ ثانیه هم زده شد. سپس مواد پودری اضافه شده و با همین سرعت و مدت، هم زدن ادامه یافت. سپس نمونه‌ها تا رسیدن به درجه‌ی برش ۳۰/۵ (که با رفرکرومتر مدل Bertuzzi ساخت ایتالیا اندازه‌گیری شد) در دمای ۹۰°C با Hot plate (مدل Magnestir ، ساخت ایران) حرارت داده شد. در نهایت، به صورت داغ در ظروف شیشه‌ای ۲۴۰ گرمی بسته‌بندی و در دمای مناسب C ۲۵-۲۰ نگهداری شدند.

روش تعیین میزان پایداری : مقدار ۴۰ گرم نمونه بر روی کاغذ صافی واتمن ۴۱ ساخت ایران وزن شد. با استفاده از مزور و قیف شیشه‌ای، سرم جدا شد. مقدار سرم جدا شده پس از گذشت ۳ روز اندازه‌گیری شد و درصد سینرسیس طبق فرمول ۱ محاسبه شد. این آزمون در دمای C ۲۰-۲۵ انجام شد.

فرمول (۱)

$$\frac{\text{وزن مزور} - \text{وزن سرم جدا شده و مزور}}{40} \times 100 = \text{درصد سینرسیس}$$

روش آزمون‌های رئولوژی: کلیه آزمون‌های رئولوژی توسط رئومتر (مدل ۳۰۱ - Anton Paar MCR ، ساخت اتریش) انجام شد. فاصله‌ی بین صفحه‌ها برای همه‌ی آزمون‌ها روی صفر میلی‌متر تنظیم شد. همه‌ی آزمون‌ها در دمای کنترل شده C ۲۵ و بعد از همگن کردن نمونه انجام شد. برای تنظیم دما سیستم Peltier plate با حساسیت C ۰/۰۱ مجهز به سیرکولاتور آب به کار رفت.

(الف) آزمون رفتار جریانی: این آزمون با ژئومتری cc ۲۷ یا استوانه‌ی متحدم‌المرکز با قطر ۶/۶۶۵ و طول ۰/۰۰۵ میلی‌متر انجام گرفت. در این آزمون ۲۲ میلی‌لیتر از هر نمونه تحت نرخ برش ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ S^{-۱} قرار گرفت.

(ب) آزمون تیکسوتروپی: این آزمون با استفاده از ژئومتری ۴ vane ۱۱۰۰۰ kg/ ۰/۰۰۱ تیغه‌ی ST14-4V-35 و در ۳ مرحله انجام شد. ۱۱ میلی‌لیتر از هر نمونه در مرحله‌ی اول، تحت افزایش نرخ

آذرینات و زانتان برای رفع بافت سنگین و ناخوشایند صمغ زانتان استفاده شد (۶).

از آنجا که هیچ گونه اطلاعات علمی در مورد کاربرد همزمان نشاسته‌ی اصلاح شده و صمغ زانتان در سس گوجه‌فرنگی (که یک سس بدون روغن محسوب می‌شود) به دست نیامد و مدت ماندگاری مواد غذایی بر ویژگی‌های رئولوژی و پایداری بررسی نشده است، سعی شد که اطلاعات رئولوژی سس‌های گوجه‌فرنگی تهیه شده با درصد‌های متفاوتی از صمغ زانتان و نشاسته و پایداری و حسی آن‌ها طی شش ماه مدت ماندگاری در اختیار تولیدکنندگان قرار داده شود. زیرا ویسکوزیته سس کچاپ گوجه‌فرنگی، عامل مهمی برای پذیرش مصرف کنندگان است. اطلاعات رئولوژی برای طراحی و بهینه‌سازی تجهیزات فرایند مانند پمپ‌ها، هموژنايزر، تبخیرکننده، مبدل‌های حرارتی و فیلترها ضروری است (۷).

ویسکوزیته سس گوجه‌فرنگی، عمدتاً از مواد پکتیکی گوجه‌فرنگی است. به این ترتیب که انواع گوجه با پکتین کم، قوام کمتری را به وجود می‌آورند. عواملی مانند تخریب آنزیم، واکنش پروتئین و پکتین، میزان پالپ، فرایند هموژناسیون و تغليظ هم قوام محصولات گوجه‌فرنگی را تغییر می‌دهند. قوام می‌تواند از طریق افزودن پلی‌ساقاریدهایی مانند نشاسته و صمغ حفظ شود (۷). به این منظور، نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی از فرمولاسیون ثابت و مواد اولیه ثابت و صمغ زانتان، در ۵٪ وزنی از (صفر، ۰/۰۲، ۰/۰۳ و ۰/۰۲۵) و در دو گروه با نشاسته اتصال عرضی شده ذرت موئی (۵٪ وزنی از) و بدون آن تهیه شدند. مقایسه در سه نوبت بلافارسله بعد از تولید، ۳ و ۶ ماه پس از تولید انجام گرفت.

• مواد و روش‌ها

مواد : مواد اولیه جهت تولید سس گوجه‌فرنگی از بازار داخلی ایران و شرکت مهرام تهیه شد شامل: رب گوجه‌فرنگی اسپیک با درجه‌ی برش ۳۶ تا ۳۸ به میزان kg ۱۰۰، شربت گلوکز به میزان kg ۲۵، سرکه ۸٪ به میزان kg ۹، نمک به میزان kg ۱/۵، شکر به میزان kg ۱۸، ادویه (شامل پودر پیاز، پودر سیر، پودر فلفل سیاه، پودر فلفل قرمز، پودر دارچین، پودر میخک) به میزان kg ۰/۳ و آب به میزان kg ۱۰۰. همه‌ی مواد از نظر کیفی مطابق تقریبی kg ۱۰۰.

• یافته‌ها

آزمون پایداری: آنالیز واریانس یک‌طرفه، اختلاف معنی‌داری را میان نمونه‌ها در هر 3 مرحله‌ی زمانی نشان داد ($P<0/01$). بیشترین میزان سینرسیس در نمونه‌ی شاهد بدون نشاسته دیده شد. استفاده از نشاسته در نمونه شاهد موجب کاهش معنی‌دار سینرسیس شد ($P<0/05$). درصد سینرسیس نمونه‌های حاوی صمغ و نمونه‌های حاوی صمغ و نشاسته اختلاف معنی‌داری داشتند ($P<0/05$). افزایش غلظت صمغ زانتان در هر دو گروه نمونه‌های با و بدون نشاسته موجب کاهش سینرسیس در هر سه مرحله‌ی اندازه‌گیری شد. در برخی موارد، درصد سینرسیس به مقدار جزئی در طول زمان افزایش یافت ($P<0/05$) (جدول 1).

آزمون رفتار جریانی: در آزمایش‌های رئولوژیک پایا مشخص شد که با افزایش نرخ برشی، ویسکوزیته ظاهری کلیه نمونه‌ها کاهش یافت. افزایش ویسکوزیته در اثر استفاده از نشاسته و افزایش غلظت صمغ زانتان، در کل محدوده نرخ برش مورد آزمون رخ داد (نمودار 1).

جدول 1. میانگین درصد سینرسیس نمونه‌های کچاپ با و بدون نشاسته با غلظت‌های مختلف صمغ زانتان بر حسب مراحل اندازه‌گیری با کاغذ صافی پس از 3 روز جداسازی

غلظت زانتان	غлظت نشاسته	مرحله‌ی 3	مرحله‌ی 2	مرحله‌ی 1	(درصد)
25/92	23/12 ^A	21/67 ^A	0	0/5	0/2
7/42 ^A	6/94 ^A	2/97 ^a	0	0/5	0/25
12/49 ^{Aa}	12/42 ^{Aa}	12/15 ^{Ab}	0	0/5	0/35
3/63 ^{Ab}	2/56 ^{Ab}	1/78 ^a	0	0/5	0/35
12/18 ^{Aa}	11/22 ^{Aa}	10/35 ^{Ab}	0	0/5	0/35
3/56 ^b	1/94 ^{Ab}	1/21 ^{Ab}	0	0/5	0/35
43/17 ^A	42/64 ^A	40/62 ^A	0	0/5	0/35
35/17 ^B	32/18 ^{AB}	29/32 ^A	0	0/5	0/35
شاهد					

میانگین هایی که در یک ردیف با حروف بزرگ یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون LSD در سطح با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. میانگین هایی که در یک ستون با حروف کوچک یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

مرحله‌ی 1: زمان تولید، مرحله‌ی 2: سه ماه بعد از تولید، مرحله‌ی 3: ماه بعد از تولید

انحراف معیار در همه‌ی موارد کمتر از 3 بود.

برش از 2^{-1} تا 50^{-1} به مدت 165 ثانیه، در مرحله دوم، تحت نرخ برش ثابت S^{-1} 50 به مدت 50 ثانیه و در مرحله سوم، تحت کاهش نرخ برش از 50 به 2^{-1} به مدت 165 ثانیه ارزیابی شد.

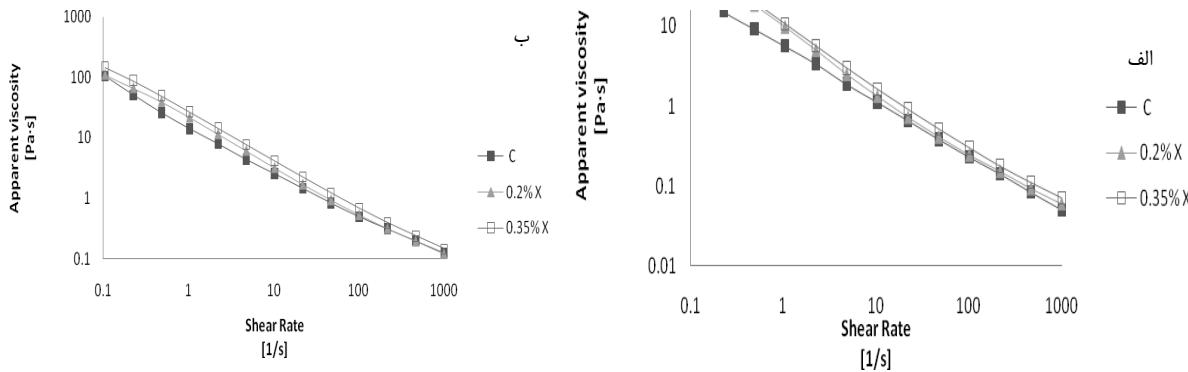
ج) آزمون نوسانی: این آزمون هم با ژئومتری 4 vane ST14-4V-35 انجام شد. ابتدا برای یافتن ناحیه‌ی ویسکوالاستیک خطی 11 میلی لیتر از هر نمونه تحت کرنش 0/01% تا 1000% در فرکانس ثابت 1 هرتز قرار گرفت. مقدار کرنش 0/1% به عنوان کرنشی انتخاب شد که ساختار ماده در آن تخریب نمی‌گردد. سپس نمونه‌ها تحت کرنش ثابت 0/1% از فرکانس 0/01 تا 20 هرتز بررسی شد. داده‌های حاصل از این آزمون با مدل قانون توان (فرمول 2) برازش داده شد و پارامترهای حاصل با نظریه‌ی بوهلین تفسیر شد.

$$\text{فرمول 2} \quad G = A \omega^b$$

(Pa) معرف مدول الاستیک و ω بیانگر فرکانس زاویه‌ای است. A و b پارامترهای مدل هستند که مطابق با تئوری بوهلین، مقدار $\log A$ نشان دهنده قدرت ساختار و بزرگی پیوندهای ایجاد شده بین واحدهای ساختاری در ماده است و مقدار معکوس b که با z نشان داده می‌شود، تعداد میانکنش این واحدها را در ماده بیان می‌کند (12).

روش انجام آزمون‌های حسی: آزمون‌های حسی با استفاده از مقیاس هدونیک 9 نقطه‌ای، با در نظر گرفتن شاخص پذیرش کلی بافت انجام گرفت. ارزیابان حسی، کارشناسان R&D شرکت صنایع غذایی مهرام بوده‌اند. این آزمون طبق استاندارد ملی ایران به شماره 3443 (13) انجام شد. روش‌های آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها: طرح آزمایش‌ها از نوع فاکتوریال 3 عاملی (3×3) با 1 عامل تکرار شونده در 3 مرحله‌ی زمانی و با 3 تکرار بود. از Repeated GLM (ANOVA) Measures جهت تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. برای تعیین معنی‌داری در هر مرحله‌ی زمانی در بین نمونه‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه و در صورت نیاز از پست هاک دانکن استفاده شد. جهت تعیین معنی‌داری آزمون‌های حسی از روش کروسکال واریس برای مقایسه نمونه‌ها و روش فریدمن برای مقایسه یک نمونه در مراحل مختلف زمانی استفاده شد. سطح معنی‌داری $\alpha = 0/05$ در نظر گرفته شد.

نرم افزار مورد استفاده SPSS¹⁷ بود.



نمودار ۱. نمودارهای رفتار جریانی نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی تهیه شده با صمغ زانتان در سه غلظت صفر، ۰/۲ و ۰/۳۵ درصد در بلافارسله بعد از تولید

الف) نمونه‌های بدون نشاسته، ب) نمونه‌های با نشاسته
X : صمغ زانتان، C : شاهد

اختلاف معنی‌داری نداشتند و نمونه‌های با نشاسته روند کلی کاهش ویسکوزیته را طی نگهداری نشان دادند. در نرخ برشی ۵۰۰ روند کلی کاهش ویسکوزیته مشاهده شد (جدول ۲).

آزمون تیکسوتروپی: آسالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی‌داری را میان ناحیه‌ی هیسترسیس نمونه‌ها در هر سه مرحله‌ی زمانی نشان داد ($P<0/01$). نمونه‌ی شاهد بدون نشاسته بلافارسله بعد از تولید رفتار رئوپتیک و با گذشت زمان رفتار تیکسوتروپ نشان دادند. با افزودن نشاسته‌ی اتصال عرضی شده ذرت مومی، رفتار رئوپتیک فوق العاده زیادی در نمونه‌ی شاهد پدید آمد. افزودن صمغ زانتان به هر دو نمونه‌ی شاهد به ایجاد ویژگی تیکسوتروپی منجر شد. افزودن نشاسته به نمونه‌های حاوی زانتان موجب کاهش خصوصیت تیکسوتروپی شد. افزایش در غلظت صمغ زانتان در نمونه‌های با و بدون نشاسته منجر به کاهش خصوصیت تیکسوتروپی شد. در دوره نگهداری، وابستگی به زمان در نمونه‌های بدون نشاسته افزایش یافت. در نمونه‌های با نشاسته تغییرات بی نظم در وابستگی به زمان در طی مراحل اندازه گیری مشاهده شد. نمونه با نشاسته حاوی ۰/۲ درصد زانتان در هر سه مرحله اندازه گیری بالاترین میزان وابستگی به زمان را نسبت به سایر نمونه‌های با نشاسته داشت (جدول ۳).

ویسکوزیته‌ی ظاهری همه‌ی نمونه‌ها در سه نرخ برشی ۰/۰۵، ۵۰ و ۵۰۰ تعیین شد. در هر سه نرخ برشی، آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی‌داری را میان نمونه‌ها در هر ۳ مرحله‌ی زمانی نشان داد ($P<0/01$). افزودن نشاسته به نمونه‌ی شاهد و نمونه‌های حاوی صمغ موجب افزایش معنی‌دار ویسکوزیته در هر سه نرخ برشی مذکور شد ($P<0/05$). افزایش غلظت صمغ در هر دو گروه نمونه‌های با و بدون نشاسته موجب افزایش معنی‌دار ویسکوزیته در هر سه نرخ برشی مذکور در مرحله‌ی اول شد ($P<0/01$). در نرخ‌های برشی ۰/۰۵ و ۵۰۰ افزودن صمغ زانتان در غلظت ۰/۲ % به نمونه‌های بدون نشاسته موجب افزایش ویسکوزیته شد. برای افزایش ویسکوزیته در نرخ برشی ۵۰ نسبت به نمونه‌ی شاهد بدون نشاسته به غلظت بیشتر از ۰/۳ % زانتان و برای افزایش ویسکوزیته در نرخ برشی ۵۰ نسبت به نمونه‌ی شاهد حاوی نشاسته به غلظت بیشتر از ۰/۰۲ % زانتان نیاز بود. در نمونه‌های شاهد، ماندگاری موجب تغییر معنی‌دار ویسکوزیته، در نرخ برشی ۰/۰۵ شد ($P<0/05$). افزایش ویسکوزیته در مرحله‌ی دوم و کاهش آن در مرحله سوم مشاهده شد. در نرخ برشی ۵۰۰ نمونه‌ی شاهد حاوی نشاسته کاهش معنی‌دار ویسکوزیته را طی مدت ماندگاری نشان داد. در سایر نمونه‌ها در نرخ برشی ۰/۰۵ روند کلی افزایش ویسکوزیته در مرحله‌ی دوم و کاهش آن در مرحله سوم مشاهده شد. در نرخ برشی ۵۰ نمونه‌های بدون نشاسته

جدول 2. میانگین ویسکوزیته ظاهری در 3 نرخ برشی 0/05، 50 و 500 در نمونه‌های کچاپ با و بدون نشاسته، با غلظت‌های متفاوت صمغ زانتان بر حسب مراحل اندازه‌گیری

	$\eta_{\text{y}}=500$			$\eta_{\text{y}}=50$			$\eta_{\text{y}}=0/05$			غلظت نشاسته	غلظت زانتان
	مرحله 3	مرحله 2	مرحله 1	مرحله 3	مرحله 2	مرحله 1	مرحله 3	مرحله 2	مرحله 1	(درصد)	(درصد)
0/091 ^{Aa}	0/096	0/092 ^A	0/42 ^{Aa}	0/43 ^{Aa}	0/41 ^{Aa}	116 ^a	128 ^a	101	0	0/2	
0/171	0/185	0/195	0/86	0/91 ^A	0/93 ^A	240	251	197	0/5		
0/091 ^{Aa}	0/092 ^A	0/098	0/42 ^{Aa}	0/42 ^{Aa}	0/44 ^{Aab}	114 ^{Aa}	115 ^A	111	0	0/25	
0/188	0/199 ^a	0/209	0/97	1/01 ^b	1/04	256	290	220 ^a	0/5		
0/107 ^A	0/107 ^A	0/112 ^a	0/49 ^{Ab}	0/49 ^{Ad}	0/51 ^{Ab}	123	127 ^a	119 ^b	0	0/3	
0/195	0/197 ^a	0/220	1/01 ^A	1/01 ^{Ab}	1/1 ^A	250 ^b	255	220 ^a	0/5		
0/102 ^A	0/101 ^A	0/111 ^a	0/49 ^{Ab}	0/48 ^{Ad}	0/52 ^{Ab}	131 ^A	130 ^A	120 ^b	0	0/35	
0/205	0/216	0/239	1/09	1/13	1/23	250 ^b	284	247	0/5		
0/082 ^A	0/081 ^A	0/082 ^A	0/39 ^A	0/38 ^A	0/38 ^{Aa}	78/4	81/4	66/1	0	شاهد	
0/182	0/190	0/197	0/82 ^A	0/84 ^A	0/83 ^A	139	236	212	0/5		

میانگین هایی که در یک ردیف با حروف بزرگ یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون LSD در سطح با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. میانگین هایی که در یک ستون با حروف کوچک یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. مرحله‌ی 1: زمان تولید، مرحله‌ی 2: 3 ماه بعد از تولید، مرحله‌ی 3: 6 ماه بعد از تولید انتراف معیار کلیه نمونه‌ها در نرخ برشی 0/05 کمتر از 0/03 و در نرخ برشی 50 کمتر از 0/003 بود.

جدول 3. میانگین میزان حلقه‌ی هیسترسیس نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی با و بدون نشاسته، با غلظت‌های متفاوت زانتان بر حسب مراحل اندازه‌گیری

	مرحله 3	مرحله 2	مرحله 1	غلظت نشاسته (درصد)	غلظت زانتان (درصد)
1369/4	1242/53	847/23	0	0/2	
771/36	828/32	703/74	0/5		
1294/34	915/35	759/65	0	0/25	
545/28	298/13	471/87 ^a	0/5		
1021/62	879/76	726/17	0	0/3	
684/22	515/84	604/29	0/5		
962/24	870/68	686/44	0	0/35	
296/84	322/8	482/89 ^a	0/5		
25/66	36/9	-50/27	0	شاهد	
-712/93	-714/51	-814/95	0/5		

میانگین هایی در هر ردیف بر اساس آزمون LSD در سطح $p<0/05$ در هر مرحله از آزمون با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. میانگین هایی که در یک ستون با حروف کوچک یکسان مشخص شده‌اند بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. علامت منفی نشان دهنده رئوپتیک بودن محصول است. واحد میزان حلقه هیسترسیس Pa/s است.

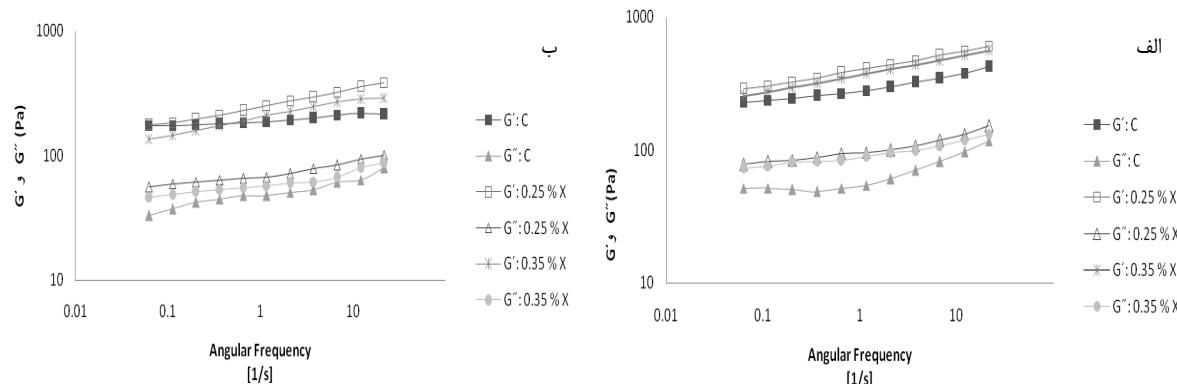
مرحله‌ی 1: زمان تولید، مرحله‌ی 2: 3 ماه بعد از تولید، مرحله‌ی 3: 6 ماه بعد از تولید انتراف معیار کلیه نمونه‌ها کمتر از 10 بود.

دو مدول، پس از 3 و 6 ماه نگهداری نسبت به انواع تازه نمونه‌های حاوی زانتان مشاهده شد. ضریب همبستگی مدل قانون توان برای همه‌ی نمونه‌ها از 0/96 تا 0/99 به دست آمد. آنالیز واریانس یک طرفه اختلاف معنی‌داری را برای هر دو شاخص Log A و z در میان مراحل مختلف اندازه‌گیری نشان داد ($P<0/01$). با افزایش غلظت صمغ زانتان تا 0/25

آزمون روبشن فرکانس: در همه‌ی محدوده‌های فرکانس مورد آزمون برای کلیه‌ی نمونه‌ها مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بالاتر بود. هر دو مدول الاستیک و ویسکوز، به فرکانس واپسیه بودند و با افزایش فرکانس، مقادیر آن‌ها افزایش یافت. در محدوده‌ی فرکانس مورد مطالعه هیچ برخوردي میان دو مدول دیده نشد (نمودار 2). افزایش در هر

نشاسته در مرحله‌ی دوم و در نمونه‌ی با نشاسته حاوی ۰/۲ درصد زانتان در مرحله‌ی سوم مشاهده شد (جدول ۴). آزمون حسی: افزودن نشاسته به نمونه‌های حاوی صمغ زانتان در غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۲۵ درصد موجب افزایش پذیرش کلی بافت از نظر مصرف‌کنندگان شد ($P<0/05$). در صورت استفاده از نشاسته، با افزایش بیشتر غلظت صمغ از میزان پذیرش مصرف‌کنندگان کاسته شد ($P<0/05$). در مراحل بعدی اندازه‌گیری نیز همین روند تکرار شد (جدول ۵).

درصد در نمونه‌های با و بدون نشاسته Log A افزایش یافت. با افزایش بیشتر غلظت صمغ، این پارامتر کاهش یافت. پارامتر Z نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد زانتان نسبت به نمونه‌های شاهد و نمونه حاوی ۰/۲ درصد زانتان کمتر بود. نمونه‌ی حاوی ۰/۲ درصد زانتان در صورت وجود نشاسته در مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری و نمونه‌های حاوی ۰/۲۵ درصد زانتان در صورت وجود نشاسته در مرحله سوم درصد زانتان را داشتند. بیشترین Z در نمونه‌ی شاهد با بیشترین Log A را داشتند.



نمودار ۲. نمودارهای نوسانی نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی تهیه شده با صمغ زانتان در سه غلظت صفر، ۰/۲ و ۰/۳۵ درصد بلافارسله بعد از تولید

الف) نمونه‌های بدون نشاسته (ب) نمونه‌های با نشاسته
G: مدل الاستیک، G': مدل ویسکوز، X: صمغ زانتان، C: شاهد

جدول ۴. میانگین پارامترهای حاصل از برازش مدل قانون توان بر داده‌های آزمون روش فرکانس نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی با و بدون نشاسته، با غلظت‌های متفاوت صمغ زانتان بر حسب مراحل اندازه‌گیری

Z			Log A			غلظت نشاسته (درصد)	غلظت زانتان (درصد)
مرحله‌ی 3	مرحله‌ی 2	مرحله‌ی 1	مرحله‌ی 3	مرحله‌ی 2	مرحله‌ی 1		
7/95 ^{Aa}	8 ^{Aa}	10/98	2/46	2/48	2/34	0	0/2
10/65 ^b	8/47 ^{Ab}	8/26 ^A	2/55	2/63	2/58 ^a	0/5	
10/43 ^c	9/71	7/19 ^a	2/37 ^a	2/35	2/39	0	0/25
8/21 ^A	10/1	7/81 ^A	2/62 ^{Ab}	2/54	2/6 ^A	0/5	
9/08	8/62 ^b	6/71	2/37 ^a	2/41	2/32	0	0/3
7/95 ^{Aa}	8/13 ^{Aa}	7/57 ^c	2/62 ^b	2/61 ^b	2/58 ^a	0/5	
7/15 ^A	9	7/25 ^{Aab}	2/41	2/4 ^a	2/3	0	0/35
7/88 ^{Aa}	7/75 ^A	7/41 ^{bc}	2/59	2/61 ^b	2/56	0/5	
9/62	9/43	23/82	2/4	2/44	2/28	0	
10/54 ^{cb}	14/08	9/8	2/43	2/4 ^a	2/46	0/5	شاهد

میانگین هایی که در یک ردیف با حروف بزرگ یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون LSD در سطح با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. میانگین هایی که در یک ستون با حروف کوچک یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.
مرحله‌ی ۱: زمان تولید، مرحله‌ی 2: سه ماه بعد از تولید، مرحله‌ی 3: ۶ ماه بعد از تولید
انحراف معیار برای کلیه نمونه‌ها در Log A کمتر از ۰/۰۲ و در Z کمتر از ۰/۱ بود.

جدول 5. میانگین و انحراف معیار داده‌های حاصل از آزمون حسی نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی با و بدون نشاسته، با غلظت‌های متفاوت صمغ زانتان بر حسب مراحل اندازه‌گیری

مرحله‌ی 3	مرحله‌ی 2	مرحله‌ی 1	غلظت نشاسته (درصد)	غلظت زانتان (درصد)
2/25 ^a ± 0/96	3/5 ^a ± 1/73	4/5 ^a ± 1/73	0	0/2
7 ^{bc} ± 1/15	7/25 ^b ± 0/95	7/5 ^b ± 0/58	0/5	
2/25 ^a ± 0/96	3/75 ^a ± 1/5	4/75 ^a ± 1/5	0	
7/5 ^b ± 0/58	7/75 ^b ± 0/5	8/25 ^b ± 0/5	0/5	0/25
4/75 ^{cd} ± 1/5	4/5 ^a ± 1/73	5/25 ^a ± 0/96	0	
5/75 ^{ce} ± 0/5	4/25 ^a ± 0/96	5/5 ^a ± 1/29	0/5	0/3
5 ^{cd} ± 1/41	4/75 ^a ± 1/5	5/25 ^a ± 0/96	0	
4 ^d ± 1/41	4/25 ^a ± 0/96	4/75 ^a ± 0/5	0/5	0/35
1/25 ^a ± 0/5	1/25 ± 0/5	1/5 ± 0/58	0	
5/25 ^{cd} ± 0/96	5 ^a ± 0/82	4/25 ^a ± 0/96	0/5	شاهد

میانگین‌های هر ردیف، در هر پارامتر بر اساس آزمون فریدمن با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. میانگین‌هایی که در یک ستون در هر مرحله با حروف کوچک یکسان مشخص شده‌اند، بر اساس آزمون کرووسکال والیس در سطح با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. مرحله‌ی 1: زمان تولید، مرحله‌ی 2: 3 ماه بعد از تولید، مرحله‌ی 3: 6 ماه بعد از تولید

• بحث

در نتیجه‌ی رتروگراده شدن نشاسته به تأخیر می‌افتد و از سینرسیس جلوگیری می‌شود (15). هم‌چنان، این تأثیر می‌تواند در نتیجه‌ی پیوند میان ملکول‌های نشت شده از ژل نشاسته و صمغ‌ها باشد که خود را در افزایش ویسکوزیته نشان می‌دهد (16). این نتایج با مطالعات Bawa Sidhu و Singh در سال 1997 و Sahin و Ozdemir در سال 2007 و Gujral و همکاران در سال 2002 همسو است که در نمونه‌های بدون نشاسته کار کردند (17-19). همکاران در سال 1994 و Lee و همکاران در سال 2002، Weber و همکاران در سال 2008، Muadcklay و همکاران در سال 2008 و Shi و همکاران در سال 2002 به نتایج مشابهی در نمونه‌های با نشاسته رسیدند (20، 21، 14-16). در هر سه مرحله‌ی اندازه‌گیری صمغ زانتان تأثیر مهمی در کاهش سینرسیس نموده‌ای با نشاسته داشته است. صمغ زانتان پایداری عالی به سینرسیس حتی در طول نگهداری داشت که می‌تواند به ساختار بی‌نظیر آن نسبت داده شود. این ساختار بی‌نظیر، موجب سختی و پایداری عالی صمغ در مقابل اسید و گرمایی شود و بنابراین می‌تواند از رتروگراده شدن نشاسته و خروج آب از آن جلوگیری کند (22). افزایش جدایی

با افزایش غلظت صمغ در هر دو گروه نمونه‌های با و بدون نشاسته، کاهش سینرسیس رخ داد که به ظرفیت نگهداری آب بالای صمغ نسبت داده می‌شود (7). در این تحقیق، روش اختلاط هیدروکلوریک‌ها به منظور بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی، پایداری و کاهش در هزینه‌ها به جای افزایش غلظت صمغ انتخاب شد. حضور نشاسته‌ی اتصال عرضی شده‌ی ذرت مومی به عنوان یک هیدروکلوریک کارآمد در نمونه‌ی شاهد مهم است. با توجه به وجود اختلاف میان درصد سینرسیس نمونه‌های با و بدون نشاسته در هر سه مرحله‌ی اندازه‌گیری می‌توان نتیجه‌گرفت که زانتان اثر سینرسیستی با نشاسته دارد و هنگامی که از هر دو هم‌سان استفاده شود، میزان سینرسیس تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان با استفاده از نشاسته میزان صمغ را کم کرد. رتروگراده شدن آمیلوز به معنی افزایش تعداد پیوند میان زنجیره‌های نشاسته، خروج آب از ساختار ژل را در پی دارد. از این موضوع می‌توان نتیجه‌گرفت که مقدار آب آزاد شده در نتیجه‌ی سینرسیس، نشانگر مقدار تمایل نشاسته به رتروگراده شدن است (14). استفاده از صمغ در ژل‌های نشاسته موجب پیوند میان صمغ و ملکول‌های آب می‌شود.

برخی دیگر پیشنهاد کردند که این عدم پیوستگی در نتیجه‌ی یک نرخ برش بحرانی است که در آن شکست ناگهانی سلول‌ها رخ می‌دهد (30). در آزمون رفتار جریانی، داده‌های ویسکوزیته‌ی نمونه‌های مختلف در سه نرخ برشی ۰/۰۵، ۵۰ و ۵۰۰ (1/s)، مقایسه شد. زیرا داده‌های ویسکوزیته در نرخ برشی پایین ابزار مناسبی برای مطالعه‌ی پایداری سیستم‌های کلوئیدی در حالت ساکن است. بالا بودن ویسکوزیته‌ی ظاهری فاز پیوسته، دو فاز شدن را به تأخیر می‌اندازد. مقادیر ویسکوزیته‌ی ظاهری در نرخ‌های برشی میانی برای مطالعه‌ی ارزیابی حسی و احساس دهانی استفاده می‌شود. داده‌های ویسکوزیته در نرخ‌های برشی بالا برای طراحی فرایندهایی که در آن‌ها نرخ برش بالا ایجاد می‌شود، نظری محاسبه‌ی توان همزن، پمپ، نازل‌ها و فرایندهایی که شرایط آن‌ها تابع جریان سیال در لوله است (مانند استریلیزاسیون و پاستوریزاسیون) استفاده می‌شود (31). در نمونه‌های بدون نشاسته به دلیل ویژگی ظرفیت نگهداری آب بالای صمغ و جذب آب توسط آن ویسکوزیته افزایش یافت. نتیجه‌ی ترکیب نشاسته و صمغ نیز افزایش ویسکوزیته‌ی محصول بود. به طوری که میزان این ویسکوزیته بیشتر از نمونه‌ی شاهد با نشاسته بود. این موضوع با فرض دو فازی بودن سیستم و قرار گرفتن صمغ در فاز پیوسته می‌تواند به این دلیل باشد که با متورم شدن گرانول در اثر حرارت، فاز قابل دسترس برای صمغ کاهش یافته و غلظت صمغ در داخل فاز پیوسته زیاد شده و ویسکوزیته‌ی فاز پیوسته و متعاقباً ویسکوزیته‌ی کلی سیستم افزایش می‌یابد (2).

کاهش ویسکوزیته طی مدت ماندگاری می‌تواند در اثر عوامل مختلفی مانند جدا شدن نشاسته و صمغ یا هیدرولیز هیدروکلوئیدها و پکتین باشد. در برخی موارد، افزایش دوباره‌ی ویسکوزیته طی مدت ماندگاری رخ داد که می‌تواند به علت پیوند دوباره میان نشاسته و صمغ باشد.

در آزمون تیکسوتروپ نیز مشخص شد که نمونه شاهد بدون نشاسته بلا فاصله بعد از تولید، رفتار رئوپکتیک و با گذشت زمان، رفتار تیکسوتروپ نشان می‌دهد. سس گوجه فرنگی، سیالی مستقل از زمان و رقیق‌شونده با برش در بلا فاصله بعد از تولید است که گذشت زمان اغلب ساختار شبه ژلی ضعیفی به آن می‌دهد و موجب می‌شود که محصول رفتار

سرم برخی نمونه‌ها در طول نگهداری می‌تواند به دلیل ناهمگون بودن آن‌ها یا هیدرولیز جزئی هیدروکلوئیدها یا دیگر ترکیبات مانند پکتین باشد (17). این مسئله در موافقت با مطالعات *Sahin* و همکاران در سال ۲۰۰۷ و *Stoforos* و همکاران در سال ۱۹۹۰ و *Gujral* و همکاران در سال ۲۰۰۲ است (18، 19).

در آزمون رفتار جریانی مشخص شد که با افزایش نرخ برشی، ویسکوزیته‌ی ظاهری همه‌ی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. این موضوع سودوپلاستیک بودن جریان و رفتار رقیق‌شونده با برش را نشان می‌دهد (24). این نتایج با بررسی *Bottiglieri* در سال ۱۹۹۱ و *Rani* و همکاران در سال ۱۹۸۷ مطابقت دارد (25).

افزایش ویسکوزیته‌ی ظاهری در غلظت بالاتر صمغ و در حضور نشاسته می‌تواند به دلیل تشکیل شبکه و ساختار قوی‌تر در حضور صمغ و نشاسته باشد. در محلول‌های حاوی صمغ در نرخ برشی پایین، میزان Entanglement با میزان Disentanglement مارپیچ‌ها برابر است. در حقیقت، وقتی نرخ برش به اندازه‌ی کافی پایین است، سیستم در وضعیت تعادلی کاملاً در هم فرورفته باقی می‌ماند و ویسکوزیته‌ی محلول با ویسکوزیته در نرخ برش صفر برابر می‌شود. به این معنی که رفتار سیال نیوتونی است، اما در هیچ کدام از نمونه‌ها و نمودارهای ذکر شده در نرخ برشی پایین، رفتار نیوتونی مشاهده نشد. با افزایش نرخ برشی، میزان دفرمه شدن Entanglement‌ها از میزان تشکیل آن بیشتر می‌شود و به این ترتیب، رفتار رقیق‌شونده با برش آغاز می‌شود و ویسکوزیته با افزایش نرخ برشی هم‌چنان کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از باز شدن پیوندها و جهت‌یافتنی واحدهای ساختاری باشد (27). رفتار غیرنیوتونی نمونه‌های شاهد نیز می‌تواند به حضور پکتین محلول نسبت داده شود (28).

طی بررسی رفتار جریان از نرخ برشی ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ عدم پیوستگی در برخی از نمودارها مشاهده شد که می‌تواند به پدیده‌ی لغزش نسبت داده شود (29). در سایر مطالعات مربوط به دیسپرسیون‌های غذایی و سوسپاسیون‌های گوجه نیز به این مسئله اشاره شده است. *Ouden* و همکاران در سال ۲۰۰۶ فرض کردند، در نزدیکی سطوح استوانه، غلظت ذرات در نتیجه‌ی جدایی آن‌ها از سرم کمتر است و به موجب آن پدیده‌ی لغزش رخ می‌دهد (29).

می‌دهد و به ویژگی تسریع کنندگی زانتان در تشکیل ساختار جدید تحت شرایط نیروی برشی نسبت داده می‌شود (32). ماندگاری موجب افزایش خصوصیت تیکسوتروپی نمونه‌های بدون نشاسته حاوی صمغ زانتان شده که از ویژگی‌های ساختار سس گوجه‌فرنگی طی زمان است. وابستگی به زمان در نمونه‌های با نشاسته حاوی ۰/۲ درصد زانتان، در مراحل دوم و سوم نسبت به مرحله‌ی اول افزایش پیدا کرد. در غلظت‌های بالاتر زانتان تغییرات بی‌نظم در وابستگی به زمان طی مراحل اندازه‌گیری مشاهده شد. اما این خصوصیت در هر سه مرحله نسبت به نمونه ۰/۲ درصد زانتان کمتر بود. بنابراین، به جای استفاده از غلظت‌های بالای زانتان می‌توان برای ایجاد خصوصیت تیکسوتروپی و وابستگی به زمان مناسب از نشاسته و غلظت‌های کمتری از صمغ زانتان استفاده کرد.

Wang و همکاران در سال ۲۰۰۸ و Achayuthakan در سال ۲۰۰۹ آنتی تیکسوتروپی را در دیسپرسیون‌های مخلوط نشاسته‌ی ذرت مومی با صمغ زانتان گزارش کردند (33، 32). این اختلاف می‌تواند به دلیل استفاده از غلظت‌های بالاتر صمغ و نشاسته در مطالعه آن‌ها نسبت به پژوهش حاضر باشد.

در سراسر محدوده‌ی فرکانس مورد آزمون، مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بالاتر بود. این موضوع ماهیت جامد ویسکوالاستیک نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر هر دو مدول الاستیک و ویسکوز با افزایش فرکانس افزایش یافت. این رفتار از لحاظ رئولوژیکی به عنوان ژل ضعیف شناخته می‌شود. ماده‌ای که در مقیاس زمانی طولانی مستقل از فرکانس عمل کند، شبه جامد یا ژل کامل نام دارد. در مقابل وابستگی قوی به فرکانس Entanglement های بین ملکولی در ساختار ماده را نشان می‌دهد که موجب می‌شود ماده در فرکانس بالا مانند جامد و در فرکانس‌های پایین مانند مایع رفتار کند (34). وجود ژل‌های نرم در مطالعات Mandala و Rocas و همکاران در سال ۲۰۰۹ گزارش شده است (35).

افزودن صمغ و نشاسته به نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی، موجب افزایش هر دو مدول و کاهش میزان فاکتور میرایی (نسبت مدول ویسکوز به الاستیک) شد. افزایش در مقدار مدول‌ها به معنی افزایش خصوصیت ویسکوالاستیسیته است. افزایش مدول دینامیک در نمونه‌های حاوی نشاسته یک

تیکسوتروپ از خود نشان دهد. به همین علت است که هم زدن سس گوجه فرنگی یا تکان دادن بطری حاوی سس گوجه فرنگی، قابلیت ریزش آن را بیشتر می‌کند (24). تیکسوتروپی جزئی آب گوجه را می‌توان به شکست پیوندهای غیرکوالانسی در پکتین نسبت داد (28). این مشاهده در موافق با مطالعات De Kee و همکاران در سال ۱۹۸۳ و متفاوت با Vodovatz و همکاران در سال ۲۰۰۵ است (30، 28). دلیل تفاوت‌های مشاهده شده می‌تواند اختلاف در اندازه‌ی ذرات در داخل نمونه، دماهای متفاوت مورد استفاده در هنگام فرایند محصول، گونه متفاوت گوجه فرنگی و استفاده از موادی مانند شربت گلکوز در داخل سس گوجه‌فرنگی باشد (28).

با افزودن نشاسته اتصال عرضی شده ذرت مومی، رفتار رئوپکتیک فوق العاده زیادی در نمونه‌ی شاهد پدید آمد. زیرا نشاسته حاوی مقدار زیادی آمیلوپکتین است. آمیلوپکتین نقش مهمی در رفتار غلیظ شونده با برش و تشکیل ساختار جدید القا شده توسط نیروی برشی دارد. رفتار آنتی تیکسوتروپی این نمونه به تشکیل گرانول‌های خوش‌ای نسبت داده می‌شود. همان طور که در روش آزمون ذکر شد، این آزمون در سه مرحله انجام می‌شود. با تحت تأثیر قرار گرفتن نمونه تحت نیروی برشی، گرانول‌های نشاسته در حالت منظم قرار می‌گیرند، در مرحله‌ی دوم آزمون، گرانول‌های خوش‌ای تشکیل می‌شوند که به افزایش ویسکوزیته ظاهری در مرحله‌ی سوم منجر می‌شود (32). با استفاده از انواع مختلف آزمون سنجش وابستگی به زمان، Tecant و همکاران در سال ۱۹۹۹ و Achayuthakan و همکاران در سال ۲۰۰۸ رفتار آنتی تیکسوتروپی را به ترتیب در دیسپرسیون‌های نشاسته اتصال عرضی شده ذرت مومی و نشاسته‌ی طبیعی ذرت مومی تأیید کردند (32، 1).

افزودن صمغ زانتان به هر دو نمونه‌ی شاهد به ایجاد خصوصیت تیکسوتروپی منجر می‌شود. این خصوصیت تیکسوتروپی، ویژگی ماکرولکول‌هایی مثل زانتان است. محلول‌های صمغ زانتان به مقدار زیادی سودوپلاستیک هستند. افزایش غلظت این صمغ در هر دو گروه نمونه‌های با و بدون نشاسته، با وجود حفظ خصوصیت تیکسوتروپی، تشکیل ساختار القا شده توسط نیروی برشی را تقویت می‌کند و شکستن شبکه تحت تأثیر نیروی برشی را کاهش می‌دهد. این اتفاق در نتیجه‌ی ساختار میله‌ای سخت و غیرمعمول زانتان رخ

در بررسی نتایج آزمون حسی مشخص شد که مصرف کنندگان استفاده از غلظت بالای صمغ زانتان را در نمونه‌های با نشاسته، مناسب ندانستند. همان طور که در آزمون‌های رئولوژیک مشخص شد، غلظت بالای زانتان در نمونه‌های با نشاسته، باعث ویسکوزیته بالاتری زانتان نسبت به غلظت‌های کمتر آن می‌شود. بنابراین، استفاده از غلظت‌های بالای زانتان مشتری پسند نیست.

نتیجه گیری: این پژوهش اثر سینرژیستی زانتان با نشاسته را در نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی تأیید کرد. زیرا هنگامی که از هر دو به طور همزمان استفاده شد، میزان سینرسیس تا حد قابل توجهی کاهش و ویسکوزیته افزایش یافت. همچنانی همه‌ی نمونه‌ها رفتار سودوپلاستیک در محدوده‌ی نرخ برشی مورد آزمون داشتند. در آزمون نوسانی نیز رفتار جامد ویسکوالاستیک و ژل ضعیف در همه‌ی نمونه‌ها تأیید شد. قدرت پیوند بالا در نمونه‌های با نشاسته حاوی غلظت کم زانتان به خصوص غلظت ۰/۲۵ درصد زانتان طی ماندگاری مشاهده شد. در آزمون تیکسوتروپی نیز مشخص شد که برای ایجاد خصوصیت تیکسوتروپی وابستگی به زمان مناسب می‌توان از نشاسته و غلظت‌های کمتر زانتان استفاده کرد. ارزیابان حسی نیز استفاده از غلظت کم زانتان را در نمونه‌های با نشاسته مطلوب دانستند. بنابراین، افزودن نشاسته به نمونه‌های سس گوجه‌فرنگی، استفاده از غلظت‌های کمتر صمغ زانتان را ضمن حفظ خصوصیت پایداری، رئولوژیک و حسی میسر می‌کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولان محترم /انتستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور و مدیریت و کارشناسان محترم شرکت صنایع غذایی مهرام برای همکاری و قرار دادن امکانات لازم جهت انجام پژوهش حاضر قدردانی به عمل می‌آید.

هم‌افزایی (سینرژیسم) است که خود را در افزایش ویسکوزیته یا مدول‌ها نشان می‌دهد. میزان این هم‌افزایی به نوع نشاسته مورد استفاده، هیدروکلوریک و همچنان غلظت آن‌ها در مخلوط وابسته است. هم‌افزایی مشاهده شده از داده‌های ویسکوالاستیک می‌تواند به نتیجه‌ی اثرات مقابله بین آمیلوپکتین نشاسته و صمغ مربوط باشد (۱). این نتایج با یافته‌های *Arocas* و همکاران در سال ۲۰۰۹ و *Tecante* و همکاران در سال ۱۹۹۹ و *Alloncle* و همکاران در سال ۱۹۸۹ مطابقت دارد (۱، ۳۴).

افزایش شاخص‌های نوسانی پس از ۳ و ۶ ماه نگهداری نسبت به نمونه‌های تازه‌ی حاوی زانتان مشاهده شد که با مطالعات *Arocas* و همکاران در سال ۲۰۰۹ مطابقت دارد (۳۴).

همان طور که گفته شد پارامترهای حاصل از مدل قانون Log A و کاهش z در اثر استفاده از صمغ و نشاسته نشان می‌دهد که قدرت ساختار مشاهده شده به علت افزایش قدرت پیوندهاست، نه افزایش تعداد پیوندها. کمترین قدرت پیوند و بیشترین تعداد پیوند در نمونه‌ی شاهد بدون نشاسته قابل مشاهده است. این موضوع کمتر بودن قدرت ساختار این نمونه نسبت به نمونه‌های حاوی صمغ یا نشاسته یا هر دو را تأیید می‌کند. طی ماندگاری نیز تعداد و قدرت پیوند کاهش یافت. تعداد پیوندها در شاهد حاوی نشاسته در مرحله‌ی دوم افزایش یافت که نشان دهنده‌ی رتروگراده شدن نشاسته و افزایش پیوندهای آمیلوپکتین - آمیلوپکتین است. از آنجا که نمونه با نشاسته حاوی ۰/۲۵ درصد زانتان از سایر نمونه‌های حاوی صمغ زانتان Log A بیشتر و z کمتر دارد، می‌توان قدرت ساختار مشاهده شده در این نمونه را به قدرت پیوند بالای آن نسبت داد.

• References

1. Tecante A, Doublier JL. Steady flow and viscoelastic behavior of crosslinked waxy corn starch-k-carrageenan pastes and gels. *Carbohydr Polym* 1999; 40 (3):221-31.
2. Alloncle M, Lefebvre J, Llamas G, Doublier J.L. A rheological characterization of cereal starch-galactomannan mixtures. *Cereal Chem* 1989; 66: 90-93
3. Abdulmola N.A, Hember M.W.N, Richardson R.K, Morris E.R. Effect of xanthan on the small deformation rheology of crosslinked and uncrosslinked waxy maize starch. *Carbohydr Polym* 1996;31: 65-78
4. Alloncle M, Doublier JL. Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels. *Food Hydrocoll* 1991; 5: 455-67
5. Eidam D, Kulicke W.M, Kuhn K, Stute R. Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloids. *Starch-starke* 1995; 47: 378-84.
6. King A. H. Hydrocolloids in salad dressings. In: Laaman TR , editor. *Hydrocolloids in food processing*. Chicago: IFT Press; 2011.19-34
7. Sahin H, Ozdemir F. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocoll* 2004; 18 (6):1015-22.
8. Whistler RL, BeMiller J. Polysaccharides. carbohydrate chemistry for food scientists: St Paul: eagan Press; 1997.
9. Dolz M, Hernández MJ, Delegido J, Alfaro MC, Muñoz J. Influence of xanthan gum and locust bean gum upon flow and thixotropic behaviour of food emulsions containing modified starch. *J Food Eng* 2007;81 (1):179-86.
10. Sikora M, Kowalski S, Tomaszik P, Sady M. Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch-xanthan gum combinations. *J Food Eng* 2007;79 (4):1144-51.
11. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. *Ketchup – Code of practice for production*. ISIRI no: 7936. Karaj: ISIRI; 2004 [In Persian].
12. Peressini D, Sensidoni A, De-Cindio B. Rheological characterization of traditional and light mayonnaises. *J Food Eng* 1998; 35: 409-17.
13. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. *Ketchup – Sensory Analyzes-Methodology Evaluation of Food Products by Method Using Scale*. ISIRI no: 3443. Karaj: ISIRI; 1987 [In Persian].
14. Muadklay J, Charoenrein S. Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze-thaw stability of tapioca starch gels. *Food Hydrocoll* 2008; 22 (7):1268-72.
15. Lee M, Baek M, Cha D, Park H, Lim S. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. *Food Hydrocoll* 2002; 16 (4):345-52.
16. Shi X, BeMiller JN. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydr Polym* 2002; 50 (1):7-18.
17. Sidhu JS, Bawa A, Singh N. Studies on the effect of hydrocolloids on the consistency of tomato ketchup. *J food sci tech* 1997; 34 (5):423-4.
18. Şahin H, Özdemir F. Effect of some hydrocolloids on the serum separation of different formulated ketchups. *J Food Eng* 2007; 81 (2):437-46.
19. Gujral HS, Sharma A, Singh N. Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. *Int J Food Pro* 2002; 5 (1):179-91.
20. Ferrero C, Martino M, Zaritzky N. Corn starch-xanthan gum interaction and its effect on the stability during storage of frozen gelatinized suspension. *Starch-starke* 1994; 46 (8):300-8.
21. Weber FH, Queiroz FPC, Chang YK. Freeze-thaw stability of normal, waxy and high amylose corn starch gels with added guar and xanthan gums. *Ciência Tecnol de Alime* 2008; 28 (2):413-7.
22. Alexander R. Hydrocolloid gums: Part I: Natural products. *Cereal foods world* 1999; 44 (9):684-6.
23. Stoforos NG, Reid DS. A test for evaluation of the serum separation potential of tomato ketchup. *J food sci* 1990; 55 (6):1626-9.
24. Steffe J. *Rheological methods in food process engineering*. 2 ed. Michigan: Freeman; 1992.
25. Bottiglieri P, SIO F, Fasanaro G, Mojoli G, Impembo M, Castaldo D. Rheological characterization of ketchup. *J food quality* 1991;14 (6):497-512.
26. Rani U, Bains GS. Flow behaviour of tomato ketchups. *J Texture Stud* 1987;18: 125-35.
27. Williams PA, Phillips GO. *Introduction of food hydrocolloids*. In: Williams PA, Phillips GO, editors. *Hand book of food hydrocolloids*. Cambridge:CRC Press; 2000.
28. Tiziani S, Vodovotz Y. Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. *Food Hydrocoll* 2005; 19 (1):45-52.

29. Ouden FWC, Vliet T. Effect of concentration on the rheology and serum separation of tomato suspensions. *J Texture Stud* 2002; 33 (2):91-104.-
30. De Kee D, Turcotte G. Flow properties of time-dependent foodstuffs. *J Rheo* 1983; 27:581.
31. Alemzadeh T, Mohammadifar MA, Azizi MH, Ghanati K. Effect of two different species of Iranian gum tragacanth on the rheological properties of mayonnaise sauce (65 % fat). [dissertation]. Tehran: The International & Virtual Branch of Shahid Beheshti University of Medical Sciences & Health Services; 2009 [In Persian].
32. Achayuthakan P, Suphantharika M. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum. *Carbohydr Polym* 2008; 71 (1):9-17.
33. Wang B, Wang LJ, Li D, Özkan N, Li S-J, Mao ZH. Rheological properties of waxy maize starch and xanthan gum mixtures in the presence of sucrose. *Carbohydr Polym* 2009; 77 (3):472-81.
34. Arocás A, Sanz T, Fiszman SM. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. *Food Hydrocoll* 2009; 23 (3):901-7.
35. Mandala IG, Savvas TP, Kostaropoulos AE. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *J Food Eng* 2004; 64 (3):335-42.

Effects of combined modified starch and xanthan gum on the stability and rheological and sensory characteristics of tomato sauce

Omidbakhsh E¹, Nayebzade K*², Mohammadifar MA³, Amiri Z⁴

1- M.Sc Student in Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences Tehran, Iran

2-*Corresponding Author: Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
Email: knayebz@sbmu.ac.ir

3- Associate Prof, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

4- Associate Prof, Dept. of Basic Science, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received 13 Feb, 2013

Accepted 11 May, 2013

Background and Objective: Stability and rheological characteristics of tomato sauce are an important tool for designing and optimization of processing equipment, as well as a major property as regards consumer acceptance. Usually blends of starch and gum are used to control and improve the texture, improve moisture retention, control water mobility, and improve eating quality of food products. The aim of this study was to investigate the effects of combined starch and xanthan gum on stability and sensory and rheological properties of tomato sauce during storage.

Materials and Methods: Cross-linked waxy corn starch (0 and 0.5% w/w) and xanthan gum (0, 0.2, 0.25, 0.3 and 0.35% w/w) were used. The following tests were performed immediately after production and during storage (3 and 6 month after production): syneresis by filter paper, and the steady flow, thixotropic and viscoelastic properties by rheometric methods. In addition, the overall texture acceptability (by sensory evaluation) was assessed using the 9-point hedonic scale.

Results: One-way ANOVA showed that there were significant differences among all the samples at each of the three measurements ($P<0.01$). In all the stages the presence of starch and increased concentrations of the gum resulted in a reduction in syneresis and an increase in viscosity ($P<0.05$). All of the samples exhibited a pseudoplastic behavior. The addition of starch led to a decrease in thixotropic properties in samples containing gum ($P<0.05$). Samples containing 0.2% xanthan gum showed the highest thixotropy among those with starch ($P<0.05$). The viscoelastic solid nature of the samples was confirmed through the oscillatory test. The samples with starch containing 0.25% xanthan had the highest bonding strength ($P<0.05$). Finally, based on sensory evaluation, samples with starch containing 0.20% and 0.25% xanthan gum were the most acceptable as regards texture.

Conclusion: The addition of starch to tomato sauce can facilitate using xanthan gum at two concentrations (0.2 % and 0.25%), while maintaining desirable stability and the rheological and sensory properties of the sauce. On the other hand, increasing concentrations of gum will result in an inappropriate texture.

Keywords: Starch, Xanthan, Rheology, Syneresis, Tomato sauce