

# اثر متقابل نانوفیبر سلولز با صمغ گوار، لوبیای لوکاست و متیل سلولز بر ویژگیهای رئولوژیکی سس کچاپ

آناهیتا طریقی<sup>۱\*</sup>، مزدک علیمی<sup>۲</sup>، حسین یوسفی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی، آمل، ایران

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات آیت الله آملی، آمل، ایران

۳- استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۲)

## چکیده

در این پژوهش، ۱۳ تیمار شامل نسبت‌های مختلف نانو فیبر سلولز، صمغ گوار، لوبیای لوکاست و متیل سلولز، (۰/۱۲۵، ۰/۰، ۰/۳۷۵، ۰/۰۵)٪ به همراه یک نمونه شاهد تهیه شده است که میزان کل صمغ استفاده شده در سس کچاپ بصورت تکی و توأم برابر با ۰/۵٪ بوده است. آزمون رفتار جریان و آزمون نوسانی توسط دستگاه رئومتر (مدل MCR 501 شرکت PaarPhysica اتریش) برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های کچاپ، یک هفته پس از تولید در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انجام شد. نتایج به دست آمده از آزمون رفتار جریان توسط نرم افزار MINI TAB 16 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. نتایج آزمون بررسی رفتار جریان نمونه‌های کچاپ، یک رفتار غیر نیوتنی و سودوپلاستیک را در کلیه نمونه‌ها نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از برازش داده‌های این آزمون با مدل کرو نیز نشان می‌دهد که با افزودن نانوفیبر سلولز، گوار، لوبیای لوکاست و متیل سلولز، نمونه حاوی ۰/۱۲۵٪ نانوفیبر سلولز-۰/۳۷۵٪ گوار از لحاظ تمامی ویژگی‌های رئولوژیکی دارای برتری معناداری نسبت به نمونه شاهد تجاری بوده است ( $p < 0.05$ ). در آزمون رویش فرکانس تغییرات مدول الاستیک در سطحی بالاتری از مدول ویسکوز ( $G' > G''$ ) بوده که تقویت ویژگی‌های الاستیک در نمونه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

**کلید واژگان:** نانو فیبر سلولز، صمغ گوار، لوبیای لوکاست، متیل سلولز، سس کچاپ، ویژگی‌های رئولوژیکی

\* مسئول مکاتبات: Anahita.tarighi@yahoo.com

## ۱- مقدمه

کچاپ، چاشنی ناهمگنی بر پایه عصاره، کنسانتره، پوره یا رب گوجه‌فرنگی می‌باشد [۴-۱]. در تولید کچاپ علاوه بر کنسانتره یا رب گوجه‌فرنگی از نمک، سرکه، شکر، پیاز، ادویه‌جات یا گیاهان معطر و پایدارکننده یا قوام‌دهنده نیز استفاده می‌شود - [۶و۵]. مصرف‌کننده محصول غلیظ را ترجیح می‌دهند، از اینرو در حال حاضر غلظت سس گوجه‌فرنگی را با افزودن تغلیظ‌کننده‌هایی از قبیل پودر پالپ گوجه‌فرنگی [۷و۸]، نشاسته سیب‌زمینی یا ذرت ۲۰۰۹ [۹و۸]، نشاسته اصلاح شده [۸] و هیدروکلوئیدهای مختلف مانند کربوکسی متیل سلولز، صمغ‌های زانتان، آگار، کتیرا، دانه خرنوب افزایش می‌دهند [۳و۸]. تغییر در شیوه زندگی مدرن، افزایش آگاهی از ارتباط بین رژیم غذایی و سلامتی و نیز تکنولوژی‌های تولیدی جدید منجر به افزایش استفاده از وعده‌های غذایی آماده‌از جمله چاشنی‌های عملگرا و کم‌چرب با فیبر بالا شده است. بطور خاص، هیدروکلوئیدهای متعددی در غذا به عنوان قوام‌دهنده و بافت‌دهنده به کار برده شده‌اند و این امر سبب شده در سالهای اخیر میزان مصرف هیدروکلوئیدها به شدت افزایش یابد. این ترکیبات در غلظت‌های بسیار کم، گاهی کمتر از یک درصد بر ویژگی‌های بافتی و ارگانولپتیک محصولات اثرات زیادی دارند. انتخاب هیدروکلوئید، بستگی به عواملی از قبیل ویژگی‌ها، قیمت و نحوه توزیع آنها دارد. مخلوط هیدروکلوئیدها جهت توسعه محصولات با ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی جدید در راستای کاهش قیمت استفاده می‌شوند. هیدروکلوئیدها از منابع مختلفی به دست آمده و شامل هیدروکلوئیدهای گیاهی، جلبکی، حیوانی و میکروبی می‌باشند [۱۰].

سلولز در مقیاس نانو، نانوسلولز نامیده می‌شود که به دو شکل مهم، نانوکریستال سلولز و نانوفیبرسلولز (NFC) موجود است [۱۱]. فیبریل‌های اولیه با عرض ۷-۳ نانومتر به طور محکم گرد هم آمده و یک نانوفیبریل با ضخامت ۴۰-۳ نانومتر و طول بلندتر از ۵ میکرومتر را تشکیل می‌دهند [۱۲و۱۳]. مواد بر پایه نانوسلولز (نانوکریستال، نانوفیبر)، کربن خنثی، پایدار، قابل بازیافت و غیر سمی بوده و پتانسیل آن را دارند تا به عنوان نانو مواد سبز با خواص بسیار مفید، مورد استفاده قرار گیرند [۱۴]. آزمایشات خارج از بدن با سلول‌های انسانی و موش نیز، عدم سمی بودن و مسمومیت زنی ناشی از سوسپانسیون‌های نانوفیبرسلولز را نشان دادند [۱۵]. سوسپانسیون‌های نانوفیبرسلولز، رقیق شونده با برش

(سودوپلاستیک) بوده، کمی رفتار تیکسوتروپیک نیز نشان می‌دهند و ظاهراً متحمل افت ویسکوزیته در اثر گرما نمی‌شوند [۱۶]. پایداری زیاد سوسپانسیون نانوفیبرسلولز به طور عمده، به دلایلی از قبیل بالا بودن سطح ویژه نانوفیبرها، وجود نیروی الکتروستاتیکی ناشی از بارهای همنام گروه‌های هیدروکسیل و زیاد بودن جنبش براونی تصادفی نانوفیبرها در واحد حجم، مربوط می‌باشد [۱۷]. مطالعات بر روی رفتار رئولوژیکی سوسپانسیون ۲٪ نانوفیبرسلولز، در سرعت‌های برشی ۱۰، ۱۰۰۰ و  $5000 S^{-1}$  به ترتیب ویسکوزیته‌های ۱۷۴۰۰، ۲۶۴ و ۱۳۶ مگا پاسکال را نشان داده است. در واقع با افزایش سرعت برشی، کاهش زیادی در ویسکوزیته همه سوسپانسیون‌ها مشاهده شده که به معنای رقیق شدن با برش می‌باشد [۱۸]. فیبریل‌ها در غلظت پایین، ژل‌های آماده‌ای تشکیل می‌دهند که این ویژگی همه عملکردهای ممکن این ماده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده که مقادیر مدول ذخیره ژل‌های نانوفیبریل سلولز بالا بوده و نسبت به ژل‌های سلولز، حدود ۲ برابر بیشتر گزارش شده است. در واقع بالا بودن نسبت ابعاد نانوفیبریل‌ها منجر به افزایش استحکام شبکه ژلی می‌شود [۱۹و۲۰]. نانوفیبرسلولز با داشتن هر دو بخش کریستالی و آمورف، توانایی تشکیل ساختار شبکه مانند را داشته و بزرگ بودن ابعاد نانوفیبرها سبب استحکام این شبکه می‌شود [۱۱]. به طوری که مدول یانگ فیبرهای سلولزی در حدود ۲۱-۳۲ گیگا پاسکال بوده، در حالیکه این مدول برای نانوفیبریل‌های سلولز، ۱۴۰-۱۰۰ گیگا پاسکال گزارش شده است [۲۱و۲۲].

پودر سفید یا قهوه‌ای رنگ گوار [۲۳] از آندوسپرم دانه گیاه گوار به دست می‌آید [۲۴]. صمغ گوار از جمله گالاکتومانان‌هایی است که ساختمان شیمیایی آنها بر اساس زنجیره اصلی ۱ و ۴- $\beta$ -D-مانان با شاخه‌های جانبی ۱ و ۶- $\alpha$ -D-گالاکتوز بوده و نسبت مانوز به گالاکتوز در زنجیره‌های پلیمر گوار در محلول، رفتاری شبیه به درگیری را نشان می‌دهند که منجر به افزایش ویسکوزیته محلول می‌گردد [۲۵]. این صمغ به عنوان قوام‌دهنده، نگهدارنده آب یا عامل پایدارکننده، کاربرد زیادی در صنایع غذایی دارد [۲۶]. در واقع قسمت‌های حاوی گالاکتوز موجب کاهش اینترکشن درون مولکولی زنجیره اصلی مانان شده و سبب حل شدن گوار در دماهای پایین نیز می‌شود [۲۷]. ویسکوزیته محلول صمغ گوار در حین برش بسیار کاهش یافته و به شدت رقیق شونده می‌باشد [۱۰]. صمغ گوار یک گالاکتومانان خنثی بوده [۲۶] و

زیادی با کربوکسی متیل سلولز یونی داشته و در اثر وابستگی به دما، رئولوژی پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهد. با انحلال متیل سلولز در آب، محلولی شفاف با جریان نرم تولید می‌شود که سودوپلاستیک و غیر تیکسوتروپیک می‌باشد. رفتار سودوپلاستیک متیل سلولز تابعی از وزن مولکولی آن است. به طوریکه متیل سلولزهای حاوی وزن مولکولی بالاتر، سودوپلاستیسیته بیشتری نشان می‌دهند. کاربرد اصلی این هیدروکلوئید، ایجاد اتصال و برگشت پذیری شکل، تشکیل فیلم، اجتناب از خروج بخار می‌باشد. ویژگی ژلی شدن حرارتی متیل سلولز می‌تواند سبب ایجاد اتصال اجزای محصولات گیاهی از قبیل کوفته سیب‌زمینی و حلقه‌های پیاز گردد. از آنجا که این ژل، از نوع حرارتی برگشت پذیر می‌باشد، در دمای بالاتر از دمای متداول خوردن، به حالت محلول در آمده و مصرف کننده هیچ تغییر حاصل از ژلی شدن در بافت مشاهده نمی‌نماید. از ویژگی ژلی شدن حرارتی متیل سلولز در فرمولاسیون سس‌ها و پرنکندها استفاده می‌شود. این مشتق حاصل از اصلاح شیمیایی سلولز، علاوه بر حفظ استحکام ساختار، سبب افزایش میزان نگهداری آب و کاهش سینرسیس در سس‌ها نیز می‌شود. متیل سلولز در مواد غذایی دیگر از قبیل سوپ‌ها، نان‌ها، کف‌ها، غذاهای سرخ کردنی و غذاهای با چربی کاهش یافته نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶].

آرد لوبیای لوکاست از آندوسپرم دانه گیاه آن به دست آمده و نوع تجاری آن شامل ۸۸٪ گالاتومانوگلیکان، ۶٪ پروتئین، ۴٪ پنتوگلیکان، ۱٪ سلولز و ۱٪ خاکستر می‌باشد [۲۴]. این صمغ به صورت پودر سفید یا قهوه‌ای رنگ می‌باشد [۲۳]. ساختار اصلی این گالاتومانان، زنجیره‌های خطی از واحدهای  $D$ -مانوپیرانوز با اتصالات گلوکوزیدی ( $4 \rightarrow 1$ )  $\alpha$  می‌باشد که واحدهای منفرد  $D$ -گالاتوپیرانوز با پیوندهای ( $6 \rightarrow 1$ )  $\alpha$ ، به کربن شماره ۶، هر چهار یا پنجمین واحد مانوپیرانوزیل زنجیره اصلی چسبیده‌اند [۳۰]. صمغ لوبیای لوکاست حلالیت کمی در آب سرد دارد اما با حرارت دیدن در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ دقیقه، به طور کامل هیدراته می‌شود که نهایتاً منجر به تشکیل محلول بسیار ویسکوز و سودوپلاستیک (رقیق شونده با برش) می‌گردد [۲۷]. ویسکوزیته این صمغ خنثی، تحت تاثیر pH محیط قرار نمی‌گیرد (۸-۴=pH). مولکول‌های صمغ لوبیای لوکاست، حجم هیدرودینامیکی بالایی داشته و از طریق ارتباط با مولکول‌های مجاور، سبب ایجاد خواص ویسکوز می‌شوند. برهمکنش‌های سینرژیستی

در غلظت‌های نسبتاً کم، تشکیل محلول‌های بسیار ویسکوزی می‌دهد که به میزان کمی تحت تاثیر pH، یون‌ها و فرایند حرارتی قرار می‌گیرد [۲۸]. محلول‌های صمغ گوار سودوپلاستیک بوده و بطور کلی وابستگی ویسکوزیته آن به سرعت برشی، مشابه محلول صمغ خرنوب می‌باشد. معمولاً صمغ گوار در غلظت‌های زیر ۱٪ استفاده می‌شود [۲۷]. همچنین ویسکوزیته بالای گوار، یک فاکتور محدود کننده در افزودن مقادیر ۱۰۰/۱ آن به مواد غذایی می‌باشد [۲۹]. محلول صمغ گوار در فرکانس‌های نوسانی و غلظت پایین، عمدتاً رفتار مایع مانند ویسکوز ( $G' < G''$ ) و فرکانس نوسانی و غلظت بالا، بیشتر رفتار جامد مانند ژل ( $G' > G''$ ) نشان می‌دهند [۲۷]. معمولاً گوار با نسبت ۱ گرم به ۱۰۰ گرم، در جهت تسهیل ژلی شدن، قوام یافتن، امولسیون شدن و سفت گردیدن مواد غذایی، به آنها اضافه می‌شوند. صمغ گوار می‌تواند به عنوان منبع فیبرهای رژیمی محلول نیز در محصولات غذایی استفاده شود. بررسی‌ها حاکی از آن است که مصرف روزانه ۲۰ گرم گوار به حفظ سلامتی انسان کمک می‌کند [۲۹]. معمولاً استفاده از صمغ گوار به همراه دیگر صمغ‌ها از جمله زانتان سبب افزایش ویسکوزیته مواد غذایی می‌گردد [۲۷].

متیل سلولز یکی از اولین جایگزین‌های صمغ گیاهی در مواد غذایی بوده که نخستین بار در دهه ۱۹۲۰ و در کشور آلمان تولید شد. متیل سلولز خانواده‌ای از اترهای سلولزی است که جان‌شینی متیل در آن صورت گرفته [۱۶]. متیل سلولز پلی‌ساکاریدی است که به صورت پودر سفید رنگ مشاهده می‌شود. این ماده در آب محلول بوده اما در روغن‌های گیاهی دارای محدودیت حل شدن می‌باشد. متیل سلولز در آب سرد قابلیت انحلال داشته اما در آب گرم این توانایی را ندارد. از اینرو می‌توان به منظور تهیه دیسپرسیون هموزن متیل سلولز، از دماهای بالا استفاده کرد. در واقع، متیل سلولز باید در آب گرم پخش شده و به منظور هیدراته شدن، سرد گردد. همزدن با سرعت برشی بالا سبب ایجاد دیسپرسیون خواهد شد اما طولانی شدن زمان اعمال برش موجب کاهش ویسکوزیته می‌گردد. متیل سلولزها دارای ۴ ویژگی مهم از قبیل تشکیل محلول‌های آبی با ویسکوزیته متفاوت (قوام دهندگی، پایدار کنندگی)، ایجاد فعالیت سطحی (امولسیون کنندگی)، دارا بودن نقطه تسلیم (سوسپانسیون کنندگی) و تشکیل ژل در دماهای بالا می‌باشند. این ژل‌ها در اثر سرما ذوب شده اما برای غذاهای حاوی ترکیبات حساس به حرارت، عوامل پایدار کننده‌ای به شمار می‌آیند [۲۳]. رفتار محلول متیل سلولز غیر یونی، تفاوت

## ۲- مواد و روش‌ها

برای تهیه و آماده سازی سس کچاپ ابتدا ژل نانوفیبرسلولز، سرکه و آب مربوط به هر فرمولاسیون، با همزن دستی به خوبی مخلوط شدند. سپس همه مواد پودری شامل: شکر، نمک، ادویه‌ها به همراه متغیرهای مستقل پودری شکل (صمغ گوار) با توجه به فرمولاسیون (۰ تا ۰/۵٪) به تدریج به مخلوط فوق اضافه شدند. آنگاه رب گوجه‌فرنگی به ظرف میکسر اضافه گردید و عملیات پیش مخلوط سازی تا رسیدن به مخلوطی یکنواخت ادامه یافت. سپس مخلوط به دست آمده، به میکسر هموژنایزر آزمایشگاهی انتقال یافته و مدت ۶ دقیقه همگن شدند. مخلوط همگن، به مدت ۷ دقیقه به منظور پاستوریزاسیون در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و در پایان کار سس کچاپ تهیه شده به صورت داغ با دمای حداقل ۸۵ درجه سانتی‌گراد در ظروف شیشه‌ای پر و دربندی شدند. نمونه‌های تهیه شده توسط آب سرد تا دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد خنک شدند (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۸). بریکس نمونه های کچاپ حداقل ۳۰ و قابل قبول بوده است. در جدول ۱ کد نمونه‌های کچاپ و میزان صمغ مصرفی در هر نمونه آورده شده است.

این صمغ با پلی‌ساکاریدهای دیگر از قبیل سلولز، به ویژه کاپا کاراگینان و صمغ زانتان، منجر به تشکیل ژل می‌گردد [۲۳]. این ژل‌ها الاستیک، بسیار منسجم و نسبتاً عاری از سینرسیس می‌باشند [۳۱]. صمغ لوبیای لوکاست از لحاظ پاسخ به اعمال برش، دارای تنش تسلیم صفر بوده و خیلی زود سیال می‌شود. ویسکوزیته بالای محلول این صمغ می‌تواند سبب ایجاد ظاهر ژل مانند در آن شود اما در حقیقت این محلول، سودوپلاستیک بوده، در اثر حرارت طولانی مدت در دماهای بالا و سرعت‌های برشی زیاد (ایجاد شکست ساختاری) دچار کاهش سریع ویسکوزیته می‌گردد. دو عامل مذکور با شکست زنجیره‌های پلیمری و کاهش میانگین وزن مولکولی سبب تخریب و تغییر شکل ساختاری این صمغ شده و باید به هنگام استفاده در برخی محصولات غذایی مورد توجه قرار گیرد [۲۷]. صمغ لوبیای لوکاست به عنوان ژل کننده حرارتی برگشت ناپذیر طبقه‌بندی شده که در اثر ارتباط نواحی کم گالاتوز پس از انجماد، تشکیل ژل می‌دهد. بافت ژل‌های این صمغ، نرم و انعطاف پذیر می‌باشد [۱۰]. صمغ‌های لوبیای لوکاست و گوار به عنوان قوام دهنده، پایدار کننده، نگهدارنده رطوبت، افزایش دهنده عطر و طعم، کاربرد زیادی در محصولات لبنی، نانویی، ژله‌ای و نوشیدنی‌ها دارد [۳۱].

جدول ۱ کدگذاری نمونه‌های کچاپ دارای مقادیر مختلف نانوفیبرسلولز، گوار، لوبیای لوکاست، متیل سلولز

کد مربوطه	نانوفیبرسلولز٪	گوار٪	لوبیای لوکاست٪	متیل سلولز٪
NFC100	۰/۵	۰	۰	۰
NFC75/GG25	۰/۳۷۵	۰/۱۲۵	۰	۰
NFC50/GG50	۰/۲۵	۰/۲۵	۰	۰
NFC25/GG75	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۰	۰
GG100	۰	۰/۵	۰	۰
NFC75/LB25	۰/۳۷۵	۰	۰/۱۲۵	۰
NFC50/LB50	۰/۲۵	۰	۰/۲۵	۰
NFC25/LB75	۰/۱۲۵	۰	۰/۳۷۵	۰
LB100	۰	۰	۰/۵	۰
NFC75/MC25	۰/۳۷۵	۰	۰	۰/۱۲۵
NFC50/MC50	۰/۲۵	۰	۰	۰/۲۵
NFC25/MC75	۰/۱۲۵	۰	۰	۰/۳۷۵
MC100	۰	۰	۰	۰/۵

### ۳- آزمون‌های رئولوژیکی

افت ( $G''$ ) و ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) به عنوان تابعی از فرکانس، به دست آمدند

#### ۳-۳- نتایج بررسی آزمون رفتار جریان

روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری و تنش برشی با افزایش سرعت برشی در نمونه‌های کچاپ در اشکال ۱ و ۲ ارائه گردیده است. طبق منحنی جریان، همه نمونه‌های کچاپ رفتار رقیق شونده با برش یا سودوپلاستیسیته از خود نشان دادند. این نتایج مطابق با یافته‌های کوچکی و همکاران (۲۰۰۹)، ساهین و ازدمیر (۲۰۰۴) بوده است [۳۲ و ۳]. کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) اعلام نمودند که در نمونه‌های کچاپ حاوی ۰/۵٪، ۱/۰٪ و ۱/۵٪ از صمغ زانتان با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته و افزودن هر چه بیشتر این صمغ سبب افزایش ویسکوزیته و پایداری فیزیکی سس کچاپ می‌گردد [۳۲]. ساهین و ازدمیر (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که افزودن صمغ‌های کتیرا و زانتان به میزان ۱٪ و ۰/۵٪ سبب کاهش ویسکوزیته ظاهری ناشی از افزایش سرعت برشی می‌شود. این رفتار جریان می‌تواند ناشی از تخریب ساختار شبکه‌ای به ذرات کوچکتر باشد که منجر به کاهش ویسکوزیته سوسپانسیون می‌گردد [۳۳]. در واقع زمانیکه سرعت برشی افزایش می‌یابد، نیروهای هیدرودینامیک موجب می‌شوند تا ذرات متراکم در شبکه ژلی فاز سرم، شکل خود را از دست داده و حتی شکسته شوند که این پدیده سبب کاهش ویسکوزیته می‌گردد [۳۵ و ۳۴].

آزمون رفتار جریان و آزمون نوسانی توسط دستگاه رئومتر (مدل MCR 501 شرکت PaarPhysica اتریش) برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف هیدروکلوئیدها بر ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های برتر، یک هفته پس از تولید در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در این آزمون از ۲ صفحه موازی زیر استفاده گردید، قطر صفحه دستگاه ۲۵ میلی‌متر و فاصله ایجاد شده بین دو صفحه ۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

#### ۳-۱- آزمون بررسی رفتار جریان

در این آزمون از محدوده نرخ برشی ۱/۰۰۱-۱۰۰ ۱/s استفاده شد و به منظور بررسی ویژگی‌های جریان‌ی نمونه‌های سس کچاپ از مدل ریاضی کرو استفاده و پارامترهای مربوط به آن تعیین گردید.

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \left(1 + (\lambda\dot{\gamma})^2\right)^{\frac{n-1}{2}}$$

$\eta$  = ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)

$\eta_0$  = ویسکوزیته برشی در سرعت برشی صفر (Pa.s)

$\eta_{\infty}$  = ویسکوزیته برشی در سرعت برشی بی‌نهایت (Pa.s)

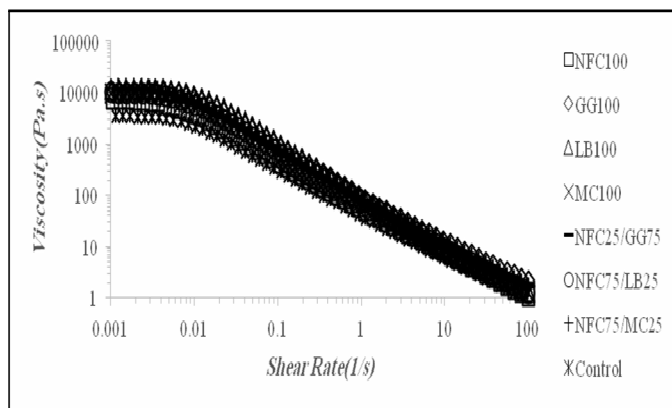
$\lambda$  = زمان رهاسازی (s)

$n$  = شاخص رفتار جریان

$\dot{\gamma}$  = سرعت برشی (1/s)

#### ۳-۲- آزمون نوسانی

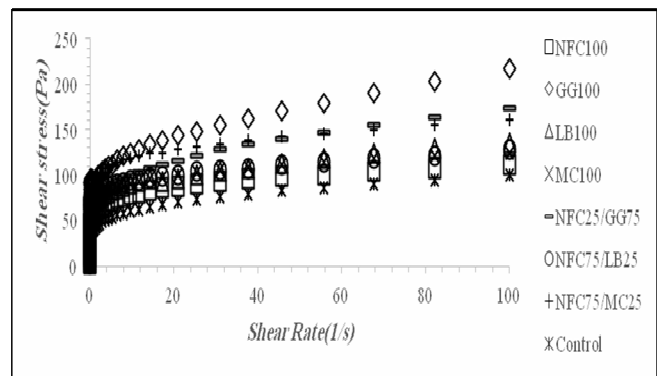
در این پژوهش آزمون‌های نوسانی روبش کرنش و روبش فرکانس یک هفته پس از تولید بر روی نمونه‌های برگزیده انجام گرفت. آزمون روبش کرنش، در کرنش متغیر ۱۰۰-۰/۰۱ و فرکانس ثابت ۱ HZ، به منظور تعیین کرنش در ناحیه ویسکوالاستیک خطی (PLVE) انجام شد (حداکثر کرنشی که ماده می‌تواند تحمل کند اما تغییرات غیر قابل برگشت در ساختار آن به وجود نیاید). پس از تعیین حداکثر میزان کرنش در ناحیه ویسکوالاستیک خطی، آزمون روبش فرکانس در زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام گرفت. این آزمون در مقدار کرنش ثابت ۰/۰۲٪ و فرکانس متغیر ۱۰۰-۰/۰۱ HZ صورت پذیرفت. از این آزمون فاکتورهای مدول ذخیره ( $G'$ )، مدول



شکل ۱ روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی برای نمونه

های سس کچاپ

نتایج به دست آمده از این آزمون با مدل رئولوژیکی کرو تطبیق داده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده‌ی ضریب تخمین یا  $R^2$  برای نمونه‌های کچاپ ۰/۹۷۵ - ۰/۹۹۶ بوده که حاکی از انطباق و مناسب بودن مدل کرو برای نمونه‌های کچاپ این پژوهش می‌باشد.



شکل ۲ روند تغییرات تنش برشی نسبت به سرعت برشی برای نمونه‌های سس کچاپ

جدول ۲ ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های کچاپ منطبق با مدل کرو

نام نمونه	$\eta_0$	$\eta$	$\lambda$	$n$	$R^2$
CONTROL	$3252/3 \pm 1/4^h$	$0/332 \pm 0/001^{fg}$	$136/45 \pm 1/41^e$	$0/441 \pm 0/001^f$	۰/۹۸۶
NFC100	$6994/2 \pm 1/4^g$	$0/336 \pm 0/001^f$	$167/50 \pm 1/41^c$	$0/463 \pm 0/001^{de}$	۰/۹۸۷
NFC25/GG75	$11718/0 \pm 1/4^b$	$0/870 \pm 0/001^b$	$162/93 \pm 1/41^c$	$0/485 \pm 0/001^b$	۰/۹۹۶
GG100	$9381/3 \pm 1/4^e$	$1/192 \pm 0/001^a$	$101/01 \pm 1/41^f$	$0/490 \pm 0/001^b$	۰/۹۷۵
NFC75/LB25	$9630/4 \pm 1/4^d$	$0/330 \pm 0/001^g$	$150/53 \pm 1/41^d$	$0/477 \pm 0/001^c$	۰/۹۸۹
LB100	$10516/0 \pm 1/4^c$	$0/762 \pm 0/001^c$	$85/277 \pm 1/41^g$	$0/533 \pm 0/001^a$	۰/۹۷۷
NFC75/MC25	$12860/0 \pm 1/4^a$	$0/342 \pm 0/001^e$	$209/14 \pm 1/41^a$	$0/461 \pm 0/001^e$	۰/۹۹۶
MC100	$9357/1 \pm 1/4^f$	$0/396 \pm 0/001^d$	$183/00 \pm 1/41^b$	$0/468 \pm 0/001^d$	۰/۹۸۵

نتایج به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوقانی مشابه، اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند ( $p > 0/05$ )

صفر بوده و این نتیجه با شکل (۱) مطابقت داشته است. دو نمونه NFC25/GG75 و NFC75/MC25 نیز به ترتیب بیشترین مقدار فاکتور  $\eta_0$  را نشان دادند. همانطور که مشاهده می‌شود ویژگی  $\eta_0$  در لویبای لوکاست و متیل سلولز نسبت به نانوفیبرسلولز قویتر بوده و در نمونه‌های حاوی برهمکنش (NFC75/MC25 و NFC75/LB25) نیز غالب می‌باشد. همچنین از لحاظ فاکتور  $\eta$  (ویسکوزیته در نقطه بینهایت)، تمامی نمونه‌ها با یکدیگر و با نمونه شاهد تجاری اختلاف معنی داری داشته ( $p < 0/05$ ) و تنها نمونه NFC75/LB25 با نمونه شاهد تجاری دارای اختلاف معنی داری نبوده است

با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمون رفتار جریان، فاکتورهای مربوط به مدل رئولوژیکی کرو از قبیل  $\eta_0$  (ویسکوزیته برشی در نقطه صفر)،  $\eta$  (ویسکوزیته برشی در نقطه بینهایت)،  $\lambda$  (ثابت زمان استراحت) و  $n$  (شاخص رفتار جریان) تعیین شدند. بررسی آماری احتمال واریانس با خطای کمتر از ۵٪ نشان می‌دهد که از لحاظ فاکتور  $\eta_0$  (ویسکوزیته در نقطه برشی صفر)، تمامی نمونه‌ها با یکدیگر و با نمونه شاهد تجاری اختلاف معنی داری داشته و دارای مقادیر بالاتری نسبت به نمونه شاهد تجاری بوده‌اند ( $p < 0/05$ ). در واقع نمونه شاهد تجاری دارای کمترین میزان ویسکوزیته در نقطه برشی

صمغ‌های لوبیای لوکاست و گوار سبب افزایش خواص رقیق شونده با برش نمونه‌های کچاپ گردیده، درحالیکه کربوکسی متیل سلولز اثر کمی بر این رفتار داشته است [۳] اما در این تحقیق، افزودن صمغ‌های لوبیای لوکاست و گوار سبب کاهش خواص رقیق شونده با برش نمونه‌های کچاپ گردیده است.

اثر هیدروکلوئیدها روی ویژگی‌های سودوپلاستیک کچاپ بیشتر توسط بایودا و همکاران (۲۰۰۸)، ساهین و ازدمیر (۲۰۰۴)، گوجرال و همکاران (۲۰۰۲)، بونگلیری و همکاران (۱۹۹۱) و رانی و بینز (۱۹۸۷) گزارش شده بود [۳۸ و ۳۳ و ۳۱]. مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) نیز با بررسی اثر غلظت‌ها و دما بر رفتار رئولوژیکی برخی هیدروکلوئیدها اعلام نمودند، بطور کلی افزایش غلظت هیدروکلوئید با افزایش سودوپلاستیسیته نمونه‌ها همراه می‌باشد [۳۹]. در واقع تفاوت رفتار رئولوژیکی میان نمونه‌های کچاپ می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان مواد جامد کل، ترکیبات پکتیکی و شکل و اندازه ذرات باشد [۶]. همه نمونه‌ها از نظر فاکتور  $n$  دارای تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد تجاری بوده ( $p < 0.05$ ) و نمونه LB100 دارای بیشترین  $n$  و کمترین رفتار رقیق شونده با برش می‌باشد. درحالیکه نمونه شاهد تجاری با داشتن کمترین مقدار  $n$ ، شدیدترین رفتار سودوپلاستیک را بروز داده است. به نظر می‌رسد که ویژگی سودوپلاستیسیته در نانوفیبرسلولز شدیدتر از صمغ‌های گوار و لوبیای لوکاست اما مشابه متیل سلولز باشد. بطور کلی از مقایسه سه فاکتور  $\eta_0$ ،  $n$  و  $\eta$  در دو نمونه NFC100 (مقادیر بیشتر) و GG100 (مقادیر کمتر) درمی‌یابیم که گوار توانسته از لحاظ فاکتورهای مذکور بر ویژگی‌های نانوفیبرسلولز غالب شده و سبب ایجاد میزان متوسطی از این ویژگی‌ها در نمونه NFC25/GG75 گردیده اما از نظر فاکتور  $\eta$ ، ویژگی نانوفیبرسلولز بر گوار غالب بوده و مانع از کاهش مقدار  $\eta$  در نمونه NFC25/GG75 شده است. همانطور که در نمودارهای این بخش مشخص است، نمونه شاهد تجاری از لحاظ روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری و تنش برشی با افزایش سرعت برشی، نسبت به سایر نمونه‌ها اندکی رفتار متفاوت نشان داده و

ضمن این دو نمونه مذکور، کمترین مقدار ویسکوزیته در نقطه بینهایت را نیز نشان داده‌اند. درحالیکه دو نمونه GG100 و NFC25/GG75 به ترتیب از بیشترین میزان  $\eta$  برخوردار بودند. با توجه به اینکه هر دو نمونه دارای بیشترین میزان  $\eta$ ، حاوی صمغ گوار بوده‌اند، به نظر می‌رسد گوار که جزء هیدروکلوئیدهای ایجاد کننده ویسکوزیته بالا طبقه‌بندی می‌شود [۳۶] و در مقایسه با هیدروکلوئیدهای نانوفیبرسلولز، لوبیای لوکاست و متیل سلولز توانایی ایجاد ویسکوزیته بیشتری داشته است. در واقع عملکرد صمغ گوار به صورت تشکیل شبکه ژلی سه بعدی و افزایش ویسکوزیته فاز آبی می‌باشد [۳۷]. از سوی دیگر با توجه به دو فاکتور  $\eta_0$  و  $\eta$  به نظر می‌رسد که نمونه NFC25/GG75 دچار کمترین میزان افت ویسکوزیته ناشی از اعمال برش شده باشد. این پدیده می‌تواند ناشی از ایجاد بهترین برهمکنش میان نانوفیبرسلولز و گوار در مقادیر ۰/۱۲۵٪ و ۰/۳۷۵٪ بوده است. طبق نتایج جدول (۲) ویژگی  $\eta$  نیز در لوبیای لوکاست و متیل سلولز نسبت به نانوفیبرسلولز قویتر بوده اما در نمونه‌های حاوی برهمکنش (NFC75/LB25 و NFC75/MC25) صمغ لوبیای لوکاست بر نانوفیبرسلولز غالب نبوده، درحالیکه ویژگی مذکور متیل سلولز غالب بوده است. از نظر فاکتور (ثابت زمان)، همه نمونه‌ها با یکدیگر و با نمونه شاهد تجاری دارای اختلاف معنی‌داری بوده‌اند ( $p < 0.05$ ) و تنها دو نمونه NFC100 و NFC25/GG75 دارای تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نبوده‌اند ( $p > 0.05$ ). مقادیر  $\eta$  نیز در همه نمونه‌ها بیشتر از صفر بوده که نشان دهنده رفتار غیرنیوتنی نمونه‌های کچاپ می‌باشد. با توجه به اینکه هر چه مقدار  $\eta$  فاصله بیشتری از صفر بیابد، رفتار غیرنیوتنی در نمونه تشدید می‌شود، نمونه‌های NFC75/MC25 و LB100 به ترتیب دارای شدیدترین و ضعیفترین رفتار غیرنیوتنی بوده‌اند. فاکتور  $n$  یا شاخص رفتار جریان بیانگر چگونگی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها می‌باشد و برای همه نمونه‌ها کوچکتر از ۱ بوده که نشان دهنده رفتار سودوپلاستیک یا رقیق شونده با برش آنها می‌باشد. کمترین میزان  $n$  بیشترین انحراف را از رفتار نیوتنی دارد. اگرچه  $n$  بستگی زیادی به غلظت و دمای محلول‌های پلیمری ندارد اما بطور معنی‌داری تحت تاثیر دو عامل اصلی، نوع و غلظت هیدروکلوئید قرار می‌گیرد. مطالعات پیشتر نشان داد که افزودن

تغییرات مذکور در سطوح پایین‌تری نسبت به سایرین مشهود می‌باشد که بیانگر بروز ویژگی‌های جریانی ضعیفتر در مقایسه با نانوفیبرسلولز، گوار، لویبای لوکاست، متیل سلولز و یا کاربرد توأم آنها با نانوفیبرسلولز می‌باشد. در واقع افزودن هیدروکلئیدها سبب افزایش معناداری در ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های کچاپ گردیده که ناشی از افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش سیالیت کچاپ‌ها بوده است [۳]. گوجرال و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش نمودند این پدیده می‌تواند ناشی از باند شدن آب توسط مولکول‌های هیدروکلئید باشد که منجر به افزایش مقاومت نمونه در مقابل سیالیت گردیده است [۲]. همچنین نکته مهم این است که در تمامی نمونه‌ها، ویسکوزیته برشی حاصل از افزایش سرعت برشی کمتر از ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) حاصل از آزمون روبش فرکانس می‌باشد. زیرا آزمون روبش فرکانس در منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام گردیده که موجب به حداقل رساندن تخریب ساختار سه بعدی نمونه‌ها شده است [۲]. نکته قابل توجه این است که بر اساس گزارشات اروئن و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر بیشتر بودن ویسکوزیته برشی نانوفیبرسلولز- لویبای لوکاست نسبت به نانوفیبرسلولز- گوار و نانوفیبرسلولز- متیل سلولز، در این پژوهش روند تغییرات ویسکوزیته برشی با سرعت برشی، در این سه نمونه با یکدیگر به طور ظاهری تفاوت شاخصی نشان نمی‌دهد [۴].

### ۳-۴- نتایج آزمون نوسانی و ویژگی‌های

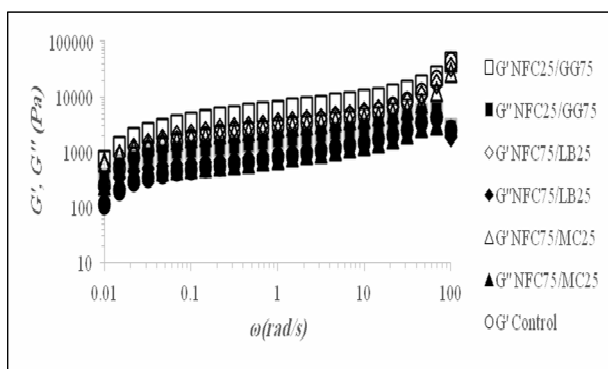
#### ویسکوالاستیک نمونه‌های سس کچاپ

طی آزمون روبش کرنش، روند تغییرات مدول الاستیک یا ذخیره ( $G'$ ) و مدول ویسکوز یا افت ( $G''$ ) نسبت به کرنش ( $100-0/0$ ) در فرکانس ثابت ۱ HZ بررسی شد و میزان کرنش در منطقه ویسکوالاستیک خطی  $0/2$  بدست آمد. با توجه به اشکال (۳-۴) و (۴-۴) که نمایانگر نتیجه آزمون روبش فرکانس نمونه‌ها می‌باشد، در تمامی نمونه‌ها روند تغییرات مدول الاستیک ( $G'$ ) بالاتر از مدول ویسکوز ( $G''$ ) بوده که بیانگر رفتار غالب جامد الاستیک در نمونه‌ها می‌باشد.

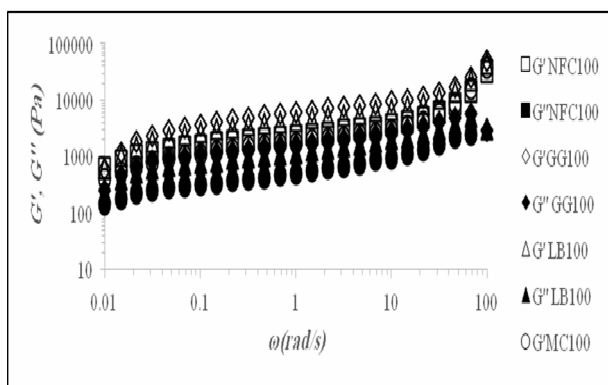
همچنین با توجه به اینکه در محدوده فرکانس مورد آزمون ( $100-0/1$  هرتز)، هر دو مدول وابستگی زیادی به تغییر فرکانس زاویه‌ای نشان دادند بنابراین می‌توان تمامی آنها را به عنوان ژل ضعیف طبقه‌بندی نمود. علاوه بر این، هیچ تلاقی بین نمودار مدول الاستیک و مدول ویسکوز در محدوده  $0/1-100$  تا  $100$  راد بر ثانیه مشاهده نشده، بدین معنا که در این محدوده فرکانس زاویه‌ای هیچ ناپایداری در نمونه‌ها وجود نداشته است. نتایج این پژوهش مطابق با نتایج شاروبا و همکاران (۲۰۰۵)، باید و همکاران (۲۰۰۸) و مرت (۲۰۱۲) می‌باشد [۹ و ۶]. شاروبا و همکاران (۲۰۰۵) رفتار ویسکوالاستیک ۸ نوع سس کچاپ تجاری را در محدوده فرکانس زاویه‌ای  $0/1-100$  هرتز بررسی کردند و دریافتند که در تمام محدوده فرکانس زاویه‌ای استفاده شده، مدول ذخیره کچاپ بالاتر از مدول افت آن بوده و با افزایش فرکانس زاویه‌ای مدول ذخیره و افت افزایش یافته که بیانگر رفتار الاستیک ایده‌آل شبه ژل کچاپ می‌باشد [۲۷]، باید و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر خواص رئولوژیکی و ساختاری رب گوجه بر روی خواص ویسکوالاستیک سس کچاپ در محدوده فرکانس  $0/1-100$  هرتز بررسی کردند و دریافتند که در تمام محدوده فرکانس استفاده شده، مدول ذخیره کچاپ بیشتر از مدول افت آن بوده و همچنین مدول ذخیره و افت وابسته به فرکانس می‌باشند. آنها بیان کردند که کچاپ رفتار ویسکوالاستیک ما بین ژل حقیقی و سوسپانسیون تغلیظ شده از خود نشان می‌دهد [۴۱] و مرت (۲۰۱۲) با بررسی تاثیر فشار در محدوده بین  $200$  تا  $2000$  بار فرایند هموژنیزاسیون و ریز سیال سازی بر روی خواص ویسکوالاستیک سس کچاپ در محدوده  $0/05-66$  هرتز دریافت که همه نمونه‌های کچاپ مدول ذخیره بالاتری از مدول افت داشته و سس کچاپ از خود رفتار ژل مانند نشان می‌دهد که ناشی از وابستگی مدول ذخیره و افت به فرکانس می‌باشد [۹]. در واقع رفتار شبه جامد در این فرآورده سودوپلاستیک نتیجه یک برهمکنش پیچیده در میان پالپ، پکتین محلول، اسیدهای آلی، مواد جامد محلول و غلظت حجمی زیاد ذرات می‌باشد [۶]. طبق پیشنهادات خوریه و همکاران (۲۰۰۶)، کایرنز و همکاران (۱۹۸۷) زانتان دارای



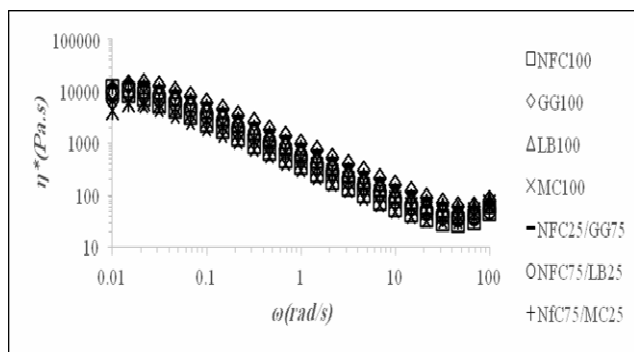
مولکولی آن است [۱۶]، در این تحقیق، این انتظار برآورده نشده است. البته قابل ذکر است که در همان پژوهش، آزمون تخمین میزان برهمکنش و جذب پلی ساکاریدهای مختلف بر روی نانوفیبرسلولز نشان داد که میزان جذب صمغ‌های لوبیایی لوکاست و گوار بیشتر از متیل سلولز بوده است [۴۰]. این گزارشات با نتایج پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد.



شکل ۳ روند تغییرات مدول ذخیره نسبت به امگا برای نمونه‌های سس کچاپ



شکل ۴ روند تغییرات مدول افت نسبت به امگا برای نمونه‌های سس کچاپ



شکل ۵ روند تغییرات ویسکوزیته کمپلکس نسبت به امگا برای نمونه‌های سس کچاپ

ساختار سلولز مانند حاوی نواحی نامنظم و زنجیره‌های هلیکسی (منظم) می‌باشد که برای ایجاد باندهای بین مولکولی با گالاکتومانان، نیازمند تخریب بوده و ساختار نامنظم زانتان، برقرار کننده اصلی برهمکنش با گالاکتومانان می‌باشد [۴۳و۴۲]. از اینرو با توجه به وجود نواحی آمورف در نانوفیبرسلولز می‌توان پیشنهاد کرد که همانند زانتان- گوار، اتصالات بین مولکولی خوبی نیز میان این نواحی و گوار ایجاد شده است. روند تغییرات ویسکوزیته کمپلکس نسبت به فرکانس نیز در شکل (۳) ارائه گردیده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش فرکانس، ویسکوزیته کمپلکس کاهش یافته و رفتار سودوپلاستیک یا رقیق شونده با برش نمونه‌ها کاملاً مشهود می‌باشد. به نظر می‌رسد که نمونه حاوی ۰/۵٪ متیل سلولز و دو نمونه حاوی ۰/۱۲۵٪ نانوفیبرسلولز- ۰/۳۷۵٪ گوار، ۰/۵٪ گوار به ترتیب از پایین‌ترین و بالاترین مدول الاستیک و ویسکوز نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بوده‌اند. با توجه به نمودارهای مذکور، نمونه‌های کچاپ دارای روند یکنواختی در مدول‌های  $G'$  و  $G''$  بودند که طبق پژوهش اروتن و همکاران (۲۰۱۰) نیز انتظار ما این بوده که این نمونه‌های حاوی نانوفیبرسلولز و پلیمرهای خنثی دارای خواص ویسکوالاستیک مشابهی باشند. آنها طی مطالعات خود گزارش نمودند نانوفیبریل‌های سلولز با موادی از قبیل پلی ساکاریدها که نزدیکی ساختاری با سلولز دارند، برهمکنش مناسبی می‌دهند [۴۰]. بار الکتریکی و ساختار زنجیره اصلی پلی ساکاریدها، نقش مهمی در میزان این برهمکنش‌ها دارند. بطوریکه پلی ساکارید خنثی گزیلوگلوکان بیشترین میزان جذب بر روی نانوفیبرسلولز را داشته، به دنبال آن پلیمر آنیونی

کربوکسی متیل سلولز با زنجیره اصلی مشابه با سلولز قرار داشته است. بنابراین انتظار ما این بوده که پلیمر خنثی متیل سلولز که دارای زنجیره اصلی سلولزی می‌باشد دارای بیشترین برهمکنش با نانوفیبرسلولز باشد اما از آنجا که سس کچاپ برخلاف سس مایونز متحمل تغییرات دمایی از جمله پاستوریزاسیون گردیده [۴۴] و متیل سلولز نیز در دماهای مختلف، رفتار رئولوژیکی متفاوتی از خود بروز می‌دهد و همچنین رفتار سودوپلاستیک متیل سلولز تابعی از وزن

type products. *Journal of Food Engineering*, 109: 579–587

- [10] Williams PA, Phillips GO. 2000. Introduction to food hydrocolloids. In: GO Philips, PA Williams (eds), *Hand Book of Hydrocolloids*. Abington: Woodhead Publishing.
- [11] Lavoine N, Desloges I, Dufresne A, Bras J. 2012. Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 90: 735–764.
- [12] Yousefi H, Faezipour M, Hedjazi S, Mazhari Mousavi M, Azusa Y, Heidari AH. 2013. Comparative study of paper and nanopaper properties prepared from bacterial cellulose nanofibers and fibers/ground cellulose nanofibers of canola straw. *Journal of Industrial Crops and Products*, 43: 732–737.
- [13] Habibi Y, Lucia LA, Rojas OJ. 2010. Cellulose nanocrystals: Chemistry, selfassembly and applications. *Chemical Reviews*, 110(6): 3479–3500.
- [14] Dufresne A. 2013. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Journal of Materials Today*, 16(6): 220–227.
- [15] Pitkanen M, Honkalampi U, Von Wright A, Sneck A, Hentze HP, Sievnen J. 2010. Nanofibrillar cellulose—Assessment of cytotoxic and genotoxic properties in vitro. Nanofibrillar cellulose—In vitro study of cytotoxic and genotoxic properties. *Proceeding of TAPPI nanotechnology conference for the forest product industry Espoo, Finland, Sep 27–28*, pp: 5–6.
- [16] Coffey DG, Bell DA, Henderson A. 2006. Cellulose and Cellulose Derivatives. In: AM Stephen, GO Philips, PA Williams (eds), *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2th edn, CRC Press, Florida, 146–179.
- [17] Hadilam MM, Afra E, Ghasemian A, Yousefi H. 2013. Preparation and properties of ground cellulose nanofibers. *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 20 (2): 139–149
- [18] Herrick FW, Casebier RL, Hamilton JK, Sandberg KR. 1983. Microfibrillated cellulose: Morphology and accessibility. *Journal of Applied Polymer Science*, 37: 797–803.
- [19] Ono H, Shimaya Y, Sato K, Hongo T. 2004. H spin-spin relaxation time of water and rheological properties of cellulose

## ۴- نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصله از آزمون‌ها، افزودن نانوفیبرسلولز به همراه صمغ گوار سبب بهبود ویژگی رئولوژیکی کچاپ می‌شود. از لحاظ تمامی ویژگی‌های رئولوژیکی برتری معناداری ( $p < 0/05$ ) نسبت به نمونه شاهد تجاری داشته است. با توجه به نتایج حاصله، نمونه NFC25/GG75 (حاوی ۰/۱۲۵٪ نانوفیبرسلولز- ۰/۳۷۵٪ گوار) به عنوان نمونه کچاپ برگزیده، با ویژگی رئولوژیکی برتر در این پژوهش معرفی می‌شود.

## ۵- منابع

- [1] Rani U, Bains GS. 1987. Flow behaviour of tomato ketchups. *Journal of Texture Studies*, 18: 125–135.
- [2] Gujral HS, Sharma A, Singh N. 2002. Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on consistency of tomato ketchup. *International Journal of food properties*, 5: 179–191.
- [3] Sahin H, Ozdemir F. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids*, 18: 1015–1022.
- [4] Yilmazer G, Carrillo AR, Kokini JL. 1991. Effect of propylene glycolalginate and xanthan gum on stability of o/w emulsions. *Journal of Food Science*, 56(2): 513–517.
- [5] Porretta S. 1991. Analytical profiling of ketchup. *Journal of science food agriculture*, 57: 293–301.
- [6] Sharoba AM, Senge B, El-Mansy HA, Bahlol HE, Blochwitz R. 2005. Chemical, sensory and rheological properties of some commercial German and Egyptian tomato ketchups. *Journal of European Food Research and Technology*, 220: 142–151.
- [7] Farahnaky A, Abbasi A, Jamalian J, Mesbahi G. 2008. The use of tomato pulp powder as thickening agent in the formulation of tomato ketchup. *Journal of texture studies*, 39: 169–182.
- [8] Panovska Z, Stern P, Vachova A, Lukesova D, Pokorny J. 2009. Textural and flavour characteristics of commercial tomato ketchups. *Czech Journal of Food Sciences*, 27 (3): 165–170
- [9] Mert B. 2012. Using high pressure microfluidization to improve physical properties and lycopene content of ketchup

- function of different hydrocolloids and temperature. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 596–602
- [33] Bayod E, Tornberg E. 2011. Microstructure of highly concentrated tomato suspensions on homogenisation and subsequent shearing. *Food Research International*, 44: 755–764.
- [34] Worrasinchai S, Supphantharika M, Pinjai S, Jammong P. 2006.  $\beta$ -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise. *Journal of Food Hydrocolloids*, 20: 68–78.
- [35] McClements DJ. 1999. *Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques*. 1th edn, Florida: CRC Press: 378 p.
- [36] Rajah KK. 2002. *Fats in Food Technology*. Sheffield: Sheffield Academic Press, 392 p.
- [37] McClements DJ. 2005. *Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques*. 2th edn, Florida: CRC Press, 609 p.
- [38] Bottiglieri P, Desio F, Fasanaro G, Mojoli G, Impembo M, Castaldo D. 1991. Rheological characterization of ketchup. *Journal of food quality*, 14, 597–512.
- [39] Marcotte M, Taherian Hoshahili AR, Ramaswamy HS. 2001. Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34: 695–703
- [40] Eronen P, Junka K, Haggblom M, Laine J, Osterberg M. 2010. Polysaccharide interactions with nanocellulose as a platform for biomimetic modifications. *Proceeding of TAPPI nanotechnology conference for the forest product industry Espoo, Finland, Sep 27–28, pp: 1-2.*
- [41] Bayod E, Willers E, Tonberg E. 2008. Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. *LWT*, 41: 1289–1300.
- [42] Khouryieh HA, Herald TJ, Aramouni F, Alavi S. 2006. Influence of mixing temperature on xanthan conformation and interaction of xanthan–guar gum in dilute aqueous solutions. *Food Research International*, 39(9): 964–973.
- [43] Cairns P, Miles M J, Morris VJ, Brownsey GJ. 1987. X-ray fiber diffraction studies of synergistic, binary polysaccharide gels. *Journal of Carbohydrate Research*, 160: 411–423.
- [44] Usefi M, Mizani M, Rasoli S, Alimi M, Grami A. 2011. The Effect of Different Concentration of Yellow Mustard on the Particle Size and Syneresis in Ketchup. *Food Technology & Nutrition*, 7(2):48 -56
- nanofiber dispersion, transparent cellulose hydrogel (TCG). *Polymer Journal*, 36(9): 684–694.
- [20] Tatsumi D, Ishioka S, Matsumoto T. 2002. Effect of fiber concentration and axial ratio on the rheological properties of cellulose fiber suspensions. *Journal of the Society of Rheology (Japan)*, 30 (1): 27–32.
- [21] Hsieh YC, Yano H, Nogi M, Eichhorn SJ. 2008. An estimation of the young's modulus of bacterial cellulose filaments. *Journal of Cellulose*, 15: 507–513.
- [22] Sturcova A, Davies GR, Eichhorn SJ. 2005. The elastic modulus and stress-transfer properties of tunicate cellulose whiskers. *Journal of Biomacromolecules*, 6: 1055–1061.
- [23] Smith J, Hong-Shum L. 2011. *Food Additives Data Book*. Iowa: Blackwell Publishing, 978 p.
- [24] Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. 2009. *Food Chemistry*. 4th edn, Berlin: Springer-Verlag, 1114 p.
- [25] Rayment P, Ross-Murphy SB, Ellis PR. 1995. Rheological properties of guar galactomannan and rice starch mixtures-I, Steady shear measurements. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 28: 121–130.
- [26] Long Z, Zhao Q, Liu T, Kuang W, Xu J, Zhao M. 2012. Role and properties of guar gum in sodium caseinate solution and sodium caseinate stabilized emulsion. *Food Research International*, 49, 545–552.
- [27] Clegg SM. 1996. *The Use of Hydrocolloid Gums as Fat Mimetics*. In: S Roller, SA Jones (eds), *Handbook of fat replacers*. CRC Press, Florida.
- [28] Wang J, Jin Z, Yuan X. 2007. Preparation of resistant starch from starch–guar gum extrudates and their properties. *Food Chemistry*, 101: 20–25.
- [29] Roberts KT. 2011. The physiological and rheological effects of foods supplemented with guar gum. *Food Research International* 44: 1109–1114.
- [30] de Man J M, 1382. *Principles of Food Chemistry*. translate Ghanbarzadeh B, Tehran: aeizh Publishing, 327 p
- [31] Gidley MJ, Reid G. 2006. Galactomannans and Other Cell Wall Storage Polysaccharides in Seeds. In: AM Stephen, GO Philips, PA Williams (eds), *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2th edn, CRC Press, Florida, 181–215.
- [32] Koocheki A, Ghandi A, Razavi MA, Mortazavi A, Vasiljevic T. 2009. The rheological properties of ketchup as a

## Inetration between nanofiber cellulose with guar gum, locust bean gum and methyl Cellulose on rheological properties ketchup

Tarighi, A. <sup>1\*</sup>, Alimi, M. <sup>2</sup>, Yousefi ,H. <sup>3</sup>

1. M.SC of Food Science & Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad university, Amol , Iran

2. Asistant Prof, Dep of Food Science & Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad university, Amol,kIran

3.Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(Received: 94/6/17 Accepted: 94/9/12)

In this research, 13 treatments including different ratios of nano-fiber cellulose, guar gum, Locust Bean and methyl cellulose (0,%0/125, %0/375,%0/5) whit a control sample were prepared that the total amount of gum used in ketchup combined and individually it has been 0 -%0/5 respectively. flow behavior Test and oscillatory test by rheometer (model MCR 501 company PaarPhysica Austria) to study the effect of different concentrations of hydrocolloids on the rheological properties of samples of ketchup, a week after production was done at 25 ° C. The results achived from the flow behavior test has been statistical analyzed by MINI TAB 16. The results of flow behavior test of ketchup samples, show a non-newtonian and pseudoplastic behavior in the all samples. The obtained results of data fitting with Carreau model show addition of nano-fiber cellulose, guar gum, Locust bean gum and methyl cellulose,the sampel contain %0/125 nano-fiber cellulose-%0/375 guar has been significant increase in all of rheological parameters treatment in comparison with commercial control sample ( $p < 0.05$ ). In frequency sweep test for selected samples containing NFC, guar gum, Locust bean gum and methyl cellulose, the trend of changes in elastic modulus was higher than viscose modulus ( $G' > G''$ ) that has revealed the predominating of the elastic features in the mentioned samples that is similar to the trend of commercial control sample.

**Keywords :** Nano-fiber cellulose, Guar gum, Locust Bean gum, Methyl cellulose, Ketchup, Rheological properties.

---

\*Corresponding Author E-Mail Address: Anahita.tarighi@yahoo.com