

اثر متقابل نانوفیبرسلولز با صمغ گوار، لوبيای لوکاست و متیل سلوولز بر ویژگیهای رئولوژیکی سس کچاپ

آناهیتا طریقی^{۱*}، مزدک علیمی^۲، حسین یوسفی^۳

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 فیبرسلولز، صمغ گوار، لوبيای لوکاست و متیل سلوولز، (۱۲۵٪، ۰/۰۳۷۵٪، 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 ۰/۰٪ بوده است. آزمون رفتار جریان و آزمون نوسانی توسط دستگاه رئومتر (مدل MCR 501 شرکت PaarPhysica اتریش) برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف هیدروکلولئیدها 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 نیوتی 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 نانوفیبرسلولز، گوار، لوبيای لوکاست و متیل سلوولز، نمونه حاوی ۱۲۵٪ نانوفیبرسلولز-۰/۰۳۷۵٪ گوار از لحظه 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 فیبرسلولز، صمغ گوار، لوبيای لوکاست، متیل سلوولز، سس کچاپ، ویژگی‌های رئولوژیکی

* مسئول مکاتبات: Anahita.tarighi@yahoo.com

(سودوپلاستیک) بوده، کمی رفتار یکسوتروپیک نیز نشان می‌دهند و ظاهراً متحمل افت ویسکوزیته در اثر گرما نمی‌شوند [۱۶]. پایداری زیاد سوسپانسیون نانوفیرسلولز به طور عمده، به دلایلی از قبیل بالا بودن سطح ویژه نانوفیرها، وجود نیروی الکتروستاتیکی ناشی از بارهای همنام گروههای هیدروکسیل و زیاد بودن جنبش براونی تصادفی نانوفیرها در واحد حجم، مربوط می‌باشد [۱۷]، مطالعات بر روی رئولوژیکی سوسپانسیون ۲٪ نانوفیرسلولز، در سرعت‌های برشی ۱۰، ۱۰۰۰ و 5000 S^{-1} به ترتیب ویسکوزیتهای 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]. فیریل‌ها 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 نانوفیرسلولز بالا بوده و نسبت به ژلهای سلولز، حدود ۲ برابر بیشتر گزارش شده است. در واقع بالا بودن نسبت ابعاد نانوفیریل‌ها منجر به افزایش استحکام شبکه ژلی می‌شود [۱۹ و ۲۰]. نانوفیرسلولز با داشتن هر دو بخش کریستالی و آمورف، توانایی تشکیل ساختار شبکه مانند را داشته و بزرگ بودن ابعاد نانوفیرها سبب استحکام این شبکه می‌شود [۱۱]. به طوری که مدول یانگ فیرهای سلولزی در حدود ۲۱-۳۲ گیگا پاسکال بوده، در حالیکه این مدول برای نانوفیریل‌های سلولز، ۱۴۰-۱۰۰ گیگا پاسکال گزارش شده است [۲۱ و ۲۲].

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

۱ - مقدمه

کچاپ، چاشنی ناهمگنی بر پایه عصاره، کنسانتره، پوره یا رب گوجه فرنگی می‌باشد [۱-۴]. در تولید کچاپ علاوه بر کنسانتره یا رب گوجه فرنگی از نمک، سرکه، شکر، سیر، پیاز، ادویه‌جات یا گیاهان معطر و پایدارکننده یا قوام‌دهنده نیز استفاده می‌شود - [۵-۶]. مصرف کنندها محصول غلظت را ترجیح می‌دهند، از اینرو در حال حاضر غلظت سس گوجه فرنگی را با افزودن تغليظ کننده‌هایی از قبیل پودر پالپ گوجه فرنگی [۷-۸]، ناشاسته سبز زمینی یا ذرت ۲۰۰۹ [۹-۱۰]، ناشاسته اصلاح شده [۸] و هیدروکلولئیدهای مختلف مانند کربوکسی متیل سلولز، صمعه‌های زانثان، آگار، کتیرا، دانه خرنبوب افزایش می‌دهند [۱۱-۱۲]. 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، هیدروکلولئیدهای متعددی در غذا به عنوان قوام دهنده و بافت دهنده به کار برده شده‌اند و این امر سبب شده در سالهای اخیر میزان مصرف هیدروکلولئیدها به شدت افزایش یابد. این ترکیبات در غلظت‌های بسیار کم، گاها کمتر از یک درصد بر ویژگی‌های بافتی و ارگانولپتیک محصولات اثرات زیادی دارند. انتخاب هیدروکلولئید، بستگی به عواملی از قبیل رئولولوژیکی و بافتی جدید در راستای کاهش قیمت استفاده هیدروکلولئیدها جهت توسعه محصولات با ویژگی‌های می‌شوند. هیدروکلولئیدها از منابع مختلفی به دست آمده و شامل هیدروکلولئیدهای گیاهی، جلبکی، حیوانی و میکروبی می‌باشند [۱۰-۱۱].

سلولز در مقیاس نانو، نانوسلولز نامیده می‌شود که به دو شکل مهم، نانوکریستال سلوولز و نانوفیرسلولز (NFC) موجود است [۱۱]. فیریل‌های اولیه با عرض ۳-۷ نانومتر به طور محکم گرد هم آمده و یک نانوفیریل با ضخامت ۳-۴ نانومتر و طول بلندتر از ۵ میکرومتر را تشکیل می‌دهند [۱۲ و ۱۳]. مواد بر پایه نانوسلولز (نانوکریستال، نانوفیر)، کربن خشی، 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 ثانی ناشی از سوسپانسیون‌های نانوفیرسلولز را نشان دادند [۱۵] سوسپانسیون‌های نانوفیرسلولز، رفق شونده با برش

زیادی با کربوکسی متیل سلولز یونی داشته و در اثر واپستگی 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 تیکستروپیک می‌باشد. رفتار سودوپلاستیک متیل سلولز تابعی از وزن مولکولی آن است. به طوریکه متیل سلولزهای حاوی وزن مولکولی بالاتر، سودوپلاستیسیتی بیشتری نشان می‌دهند. کاربرد اصلی این هیدروکلوزید، 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 سبزه‌میوه و حلقوه‌های پیاز گردد. از آنجا که این ژل، از نوع حرارتی برگشت پذیر می‌باشد، در دمای بالاتر از دمای متدالو 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 پرکننده‌ها 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 سوب‌ها، نان‌ها، کف‌ها، کذاهای سرخ کردنی و غذاهای با چربی کاهش یافته نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۶].

آرد لوبیایی لوکاست از آندوسپیرم دانه گیاه آن به دست آمده و نوع تجاری آن شامل ۸۸٪ گالاكتومانوگلیکان، ۶٪ پروتئین، ۴٪ پتوگلیکان، ۱٪ سلولز و ۱٪ خاکستر می‌باشد [۲۴]. این صمع به صورت پودر سفید یا قهقهه‌ای رنگ می‌باشد [۲۳]. ساختار اصلی این گالاكتومانان، زنجیره‌های خطی از واحدهای -D-مانوپیرانوز با اتصالات گلوكوزیدی (۴→۱) α می‌باشد که واحدهای منفرد D- گالاكتوپیرانوز با پیوندهای (۶→۱) α به کربن شماره ۶، هر چهار یا پنجمین واحد مانوپیرانوزیل زنجیره اصلی چسییده‌اند [۳۰]. صمع لوبیایی 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 صمع خشی، تحت تاثیر pH محیط قرار نمی‌گیرد (pH=۴-۸). مولکولهای صمع لوبیایی لوکاست، حجم هیدرودینامیکی بالای داشته و از طریق ارتباط با مولکولهای مجاور، سبب ایجاد خواص ویسکوز می‌شوند. برهمکنش‌های سینرژیستی

در غلاظت‌های نسبتاً کم، تشکیل محلول‌های بسیار ویسکوزی می‌دهد که به میزان کمی تحت تاثیر pH، یون‌ها و فرایند حرارتی قرار می‌گیرد [۲۸]. محلول‌های صمع گوار سودوپلاستیک بوده و بطور کلی واپستگی ویسکوزیته آن به سرعت برشی، مشابه محلول صمع خربنوب می‌باشد. عموماً صمع گوار در غلاظت‌های زیر ۱٪ استفاده می‌شود [۲۷]. همچنین ویسکوزیته بالای گوار، یک فاکتور محدود کننده در افزودن مقادیر ۱۰۰٪ آن به مواد غذایی می‌باشد [۲۹]. محلول صمع گوار در فرکانس‌های نوسانی و غلاظت پایین، عمدتاً رفتار مایع مانند ویسکوز ("G'>G") و فرکانس نوسانی و غلاظت بالا، بیشتر رفتار جامد مانند ژل ("G'<G") نشان می‌دهند [۲۷]. عموماً گوار با نسبت ۱ گرم به ۱۰۰ گرم، در جهت تسهیل ژل شدن، قوام یافتن، امولسیون شدن و سفت گردیدن مواد غذایی، به آنها اضافه می‌شوند. صمع 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]. عموماً استفاده از صمع گوار به همراه دیگر صمع‌ها از جمله زانتان سبب افزایش ویسکوزیته مواد غذایی می‌گردد [۲۷].

متیل سلولز یکی از اولین جایگزین‌های صمع 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 پلی‌ساقاریدی 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 هموژن 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 دهنده‌گی)، پایدار کننده‌گی، ایجاد فعالیت سطحی (امولسیون کننده‌گی)، دارا بودن نقطه تسلیم (سوسپانسیون کننده‌گی)، دارا بودن کننده‌گی)، ایجاد فعالیت سطحی (امولسیون کننده‌گی)، دارا بودن 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 تهییه و آماده سازی سس کچاپ ابتدا ژل نانوفیرسلولز، 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 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 منتقال یافته و مدت ۶ دقیقه همگن شدند. مخلوط همگن، به مدت ۷ دقیقه به منظور پاستوریزاسیون در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد و در پایان کار سس کچاپ تهییه شده به صورت داغ با دمای حداقل ۸۵ درجه سانتی گراد در ظروف شیشه‌ای پر و دریندی شدند. نمونه‌های تهییه شده توسط آب سرد تا دمای ۳۷ درجه سانتی گراد خنک شدند (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۸). بریکس نمونه‌های کچاپ حداقل ۳۰ و قابل قبول بوده است. در جدول ۱ کد گذاری نمونه‌های کچاپ و میزان صمغ مصرفی در هر نمونه آورده شده است.

این صمغ با پلی‌ساکاریدهای دیگر از قبیل سلوزلز، به ویژه کاپا کاراگینان و صمغ زانتنان، منجر به تشکیل ژل می‌گردد [۲۲]. این ژل‌ها الاستیک، بسیار منسجم و نسبتاً عاری از سینرسیس می‌باشند [۳۱]. صمغ لوبيای لوکاست از لحاظ پاسخ به اعمال برش، دارای تنفس تسیلیم 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 لوبيای لوکاست به عنوان ژل کننده حرارتی برگشت ناپذیر طبقه‌بندی شده که در اثر ارتباط نواحی کم گالاكتوز پس از انجاماد، تشکیل ژل می‌دهد. بافت ژل‌های این صمغ، نرم و انعطاف پذیر می‌باشد [۱۰]. صمغ‌های لوبيای لوکاست و گوار به عنوان قوام دهنده، پایدار کننده، نگهدارنده رطوبت، افزایش دهنده عطر و طعم، کاربرد زیادی در محصولات لبنی، نانوایی، ژله‌ای و نوشیدنی‌ها دارد [۳۱].

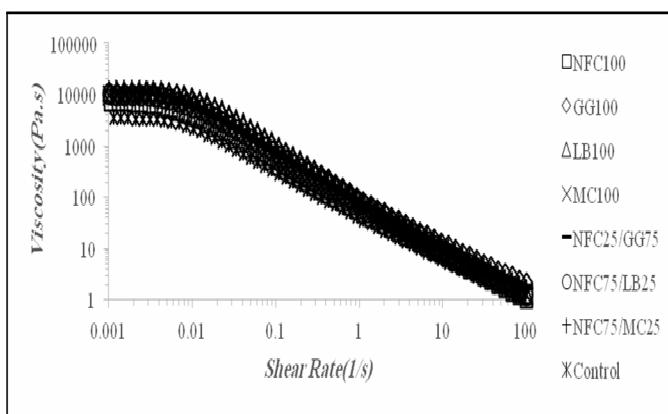
جدول ۱ کد گذاری نمونه‌های کچاپ دارای مقادیر مختلف نانوفیرسلولز، گوار، لوبيای لوکاست، متیل سلوزلز

کد مربوطه	نانوفیرسلولز٪	گوار٪	لومبای لوکاست٪	متیل سلوزلز٪
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	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
NFC50/LB50	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
NFC25/LB75	۰/۱۲۵	۰/۳۷۵	۰/۳۷۵	۰/۲۵
LB100	۰	۰/۵	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
NFC75/MC25	۰/۳۷۵	۰	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
NFC50/MC50	۰/۲۵	۰	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵
NFC25/MC75	۰/۱۲۵	۰	۰/۳۷۵	۰/۳۷۵
MC100	۰	۰	۰/۱۲۵	۰/۵

افت (G'') و ویسکوزیته کمپلکس ($^{*}G$) 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 سودوبلاستیسیته 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٪۰/۰۷۵ و٪۰/۱ 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 کثیر و زانتان به میزان٪۰/۰۵ 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 [۳۴ و ۳۵].



شکل ۱ روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به سرعت برشی برای نمونه‌های سس کچاپ

۳- آزمون‌های رئولوژیکی

آزمون رفتار جریان و آزمون نوسانی توسط دستگاه رئومتر (مدل MCR 501 شرکت PaarPhysica اتریش) برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف هیدرولوئیدها بر ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های برتر، یک هفته پس از تولید در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد 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 ۰/۰۰۱-۱۰۰ استفاده شد و به منظور بررسی ویژگی‌های جریانی نمونه‌های سس کچاپ از مدل ریاضی کرو استفاده و پارامترهای مربوط به آن تعیین گردید.

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

η = ویسکوزیته ظاهری (Pa.s)

η_0 = ویسکوزیته برشی در سرعت برشی صفر (Pa.s)

η_∞ = ویسکوزیته برشی در سرعت برشی بین‌نهایت (Pa.s)

λ = زمان رهاسازی (s)

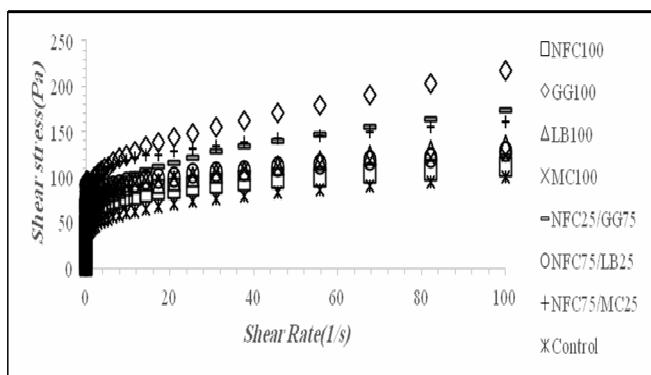
n = شاخص رفتار جریان

γ = سرعت برشی (1/s)

۳-۲- آزمون نوسانی

در این پژوهش آزمون‌های نوسانی روش کرنش و روش فرکانس یک هفته پس از تولید بر روی نمونه‌های برگردان انجام گرفت. آزمون روش کرنش، در کرنش متغیر ۱۰۰٪/۰ و فرکانس ثابت HZ ۱، به منظور تعیین کرنش در ناحیه ویسکوالاستیک خطی (VLE) 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 روش فرکانس در زیر منطقه ویسکوالاستیک خطی انجام گرفت. این آزمون در مقدار کرنش ثابت ۰٪/۰ و فرکانس متغیر HZ ۰/۰۱-۱۰۰ صورت پذیرفت. از این آزمون فاکتورهای مدول ذخیره (G' ، مدول

نتایج به دست آمده از این آزمون با مدل رئولوژیکی کرو تطبیق داده شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. محدوده 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

R^2	n	λ	η	η_0	نام نمونه
۰/۹۸۶	۰/۴۴۱±۰/۰۰۱ ^f	۱۳۶/۴۵±۱/۴۱ ^e	۰/۳۳۲±۰/۰۰۱ ^{fg}	۳۲۵۲/۳±۱/۴ ^h	CONTROL
۰/۹۸۷	۰/۴۶۳±۰/۰۰۱ ^{de}	۱۶۸/۵۰±۱/۴۱ ^c	۰/۳۳۶±۰/۰۰۱ ^f	۶۹۹۴/۲±۱/۴ ^g	NFC100
۰/۹۹۶	۰/۴۸۵±۰/۰۰۱ ^b	۱۶۲/۹۳±۱/۴۱ ^c	۰/۸۷۰±۰/۰۰۱ ^b	۱۱۷۱۸/۰±۱/۴ ^b	NFC25/GG75
۰/۹۷۵	۰/۴۹۰±۰/۰۰۱ ^b	۱۰۱/۰۱±۱/۴۱ ^f	۱/۱۹۲±۰/۰۰۱ ^a	۹۳۸۱/۳±۱/۴ ^e	GG100
۰/۹۸۹	۰/۴۷۷±۰/۰۰۱ ^c	۱۵۰/۵۳±۱/۴۱ ^d	۰/۳۳۰±۰/۰۰۱ ^g	۹۶۳۰/۴±۱/۴ ^d	NFC75/LB25
۰/۹۷۷	۰/۵۳۳±۰/۰۰۱ ^a	۸۵/۲۷۷±۱/۴۱ ^g	۰/۷۶۲±۰/۰۰۱ ^c	۱۰۵۱۶/۰±۱/۴ ^c	LB100
۰/۹۹۶	۰/۴۶۱±۰/۰۰۱ ^e	۲۰۹/۱۴±۱/۴۱ ^a	۰/۳۴۲±۰/۰۰۱ ^e	۱۲۸۶۰/۰±۱/۴ ^a	NFC75/MC25
۰/۹۸۵	۰/۴۶۸±۰/۰۰۱ ^d	۱۸۳/۰۰±۱/۴۱ ^b	۰/۳۹۶±۰/۰۰۱ ^d	۹۳۵۷/۱±۱/۴ ^f	MC100

نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده و مقادیر با حرف فوکانی 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 η_0 را نشان دادند. همانطور که مشاهده می‌شود ویژگی η_0 در لوپیای لوکاست و متیل سلولز نسبت به نانوفیرسلولز قویتر بوده و در نمونه‌های حاوی برهmekش (NFC75/MC25 و NFC75/LB25) نیز غالب می‌باشد. همچنین از لحاظ فاکتور η (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 η_0 (ویسکوزیته برشی در نقطه صفر)، η (ویسکوزیته برشی در نقطه بینهایت)، λ (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 η_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 لوبيای لوکاست و گوار سبب افزایش خواص رقیق شوندگی با برش نمونه‌های کچاپ گردیده، در حالیکه کربوکسی متیل سلوولز اثر کمی بر این رفتار داشته است [۳] اما در این تحقیق، افزودن صمغ‌های لوبيای لوکاست و گوار سبب کاهش خواص رقیق شوندگی با برش نمونه‌های کچاپ گردیده است.

اثر هیدروکلولئیدها روی ویژگی‌های سودوپلاستیک کچاپ پیشتر توسط بایودا و همکاران (۲۰۰۸)، ساهین و ازدمیر (۲۰۰۴)، گوجرا و همکاران (۲۰۰۲)، بوتلگلیری و همکاران (۱۹۹۱) و رانی و بینز (۱۹۸۷) گزارش شده بود [۱۰ و ۳۳ و ۳۸]. مارکوت و همکاران (۲۰۰۱) نیز با بررسی اثر غلاظتها و دما بر رفتار رئولوژیکی برخی هیدروکلولئیدها اعلام نمودند، بطور کلی افزایش غلظت هیدروکلولئید با افزایش سودوپلاستیستی نمونه‌ها همراه می‌باشد [۳۹]. در واقع تفاوت رفتار رئولوژیکی میان نمونه‌های کچاپ می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان مواد جامد کل، ترکیبات پکنیکی 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 شوندگی با برش می‌باشد. در حالیکه نمونه شاهد تجاری با داشتن کمترین مقدار n ، شدیدترین رفتار سودوپلاستیک را بروز داده است. به نظر می‌رسد که ویژگی سودوپلاستیستی در نانوفیرسلولز شدیدتر از صمغ‌های گوار و لوبيای لوکاست اما مشابه متیل سلوولز باشد. بطور کلی از مقایسه سه فاکتور n ، n در دو نمونه NFC100 (مقادیر بیشتر) و GG100 (مقادیر کمتر) درمی‌یابیم که گوار توانسته از لحاظ فاکتورهای مذکور بر ویژگی‌های نانوفیرسلولز غالب شده و سبب ایجاد میزان متوسطی از این ویژگی‌ها در نمونه NFC25/GG75 گردیده اما از نظر فاکتور n ، ویژگی نانوفیرسلولز بر گوار غالب بوده و مانع از کاهش مقدار n 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 داد و

(p). ضمناً این دو نمونه مذکور، کمترین مقدار ویسکوزیته در نقطه بینهایت را نیز نشان داده‌اند. در حالیکه دو نمونه GG100 و NFC25/GG75 به ترتیب از بیشترین میزان n برخوردار بودند. با توجه به اینکه هر دو نمونه دارای بیشترین میزان n حاوی صمغ گوار بوده‌اند، به نظر می‌رسد گوار که جزء هیدروکلولئیدهای ایجاد کننده ویسکوزیته بالا طبقه‌بندی می‌شود [۳۶] و در مقایسه با هیدروکلولئیدهای نانوفیرسلولز، لوبيای لوکاست و متیل سلوولز 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 n و n ، به نظر می‌رسد که نمونه NFC25/GG75 چهار کمترین میزان افت ویسکوزیته ناشی از اعمال برش شده باشد. این پدیده می‌تواند ناشی از ایجاد بهترین برهمنکش میان نانوفیرسلولز و گوار در مقادیر 0.125 ٪ و 0.375 ٪ بوده است. طبق نتایج جدول (۲) ویژگی n نیز در لوبيای لوکاست و متیل سلوولز نسبت به نانوفیرسلولز قویتر بوده اما در نمونه‌های حاوی برهمنکش (NFC75/LB25) و NFC75/MC25 (NFC75/MC25) صمغ لوبيای لوکاست بر نانوفیرسلولز غالباً نبوده، درحالیکه ویژگی مذکور متیل سلوولز 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). مقادیر n نیز در همه‌ی نمونه‌ها بیشتر از صفر بوده که نشان دهنده‌ی رفتار غیرنیوتی نمونه‌های کچاپ می‌باشد. با توجه به اینکه هر چه مقدار n فاصله بیشتری از صفر بیابد، رفتار غیرنیوتی در نمونه تشديد می‌شود، نمونه‌های NFC75/MC25 و LB100 به ترتیب دارای شدیدترین و ضعیفترین رفتار غیرنیوتی 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 n یا رقیق شوندگی با برش آنها می‌باشد. کمترین میزان n بیشترین انحراف را از رفتار نیوتی دارد. اگرچه n بستگی زیادی به غلظت و دما محلول‌های پلیمری ندارد اما بطور معنی‌داری تحت تاثیر دو عامل اصلی، نوع و غلظت هیدروکلولئید قرار می‌گیرد. مطالعات پیشتر نشان داد که افزودن

همچنین با توجه به اینکه در محدوده فرکانس مورد آزمون (۱۰۰-۰/۰ 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 ۰/۰۱ تا ۱۰۰ 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 [۶۹-۷۰]. شاروبا و همکاران (۲۰۰۵) رفتار ویسکوالاستیک ۸ نوع سس کچاپ تجاری را در محدوده فرکانس زاویه‌ای ۱۰۰-۰/۰۱ 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 ۱۰۰-۰/۰۱ 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 می‌باشد. آنها بیان کردند که کچاپ رفتار ویسکوالاستیک ما بین ژل حقیقی و سوسپانسیون تغییر شده از خود نشان می‌دهد [۴۱] و مرت (۲۰۱۲) با بررسی تاثیر فشار در محدوده بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ بار فرایند هموژنیزاسیون و ریز سیال سازی بر روی خواص ویسکوالاستیک سس کچاپ در محدوده ۶۶-۰/۰۵ 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 فراورده 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

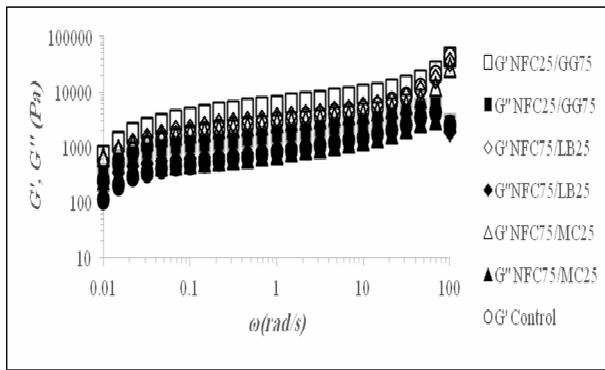
تغییرات مذکور در سطوح پایین‌تری نسبت به سایرین مشهود می‌باشد که بیانگر بروز ویژگی‌های جربانی ضعیفتر در مقایسه با نانوفیرسلولز، گوار، لوبيای لوکاست، متیل سلولز و یا کاربرد تؤمن آنها با نانوفیرسلولز می‌باشد. در واقع افزودن هیدروکلرئیدها سبب افزایش معناداری در ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های کچاپ گردیده که ناشی از افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش سیالیت کچاپ‌ها بوده است [۳۲]. گوجران و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش نمودند این پدیده می‌تواند ناشی از باند شدن آب توسط مولکول‌های هیدروکلرئید 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 (G^*) حاصل از آزمون روش فرکانس می‌باشد. زیرا آزمون روش 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 ارونن و همکاران (۲۰۱۰) مبنی بر بیشتر بودن ویسکوزیته برشی نانوفیرسلولز- لوبيای لوکاست نسبت به نانوفیرسلولز- گوار و نانوفیرسلولز- 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 [۴۰].

۳-۴- نتایج آزمون نوسانی و ویژگی‌های

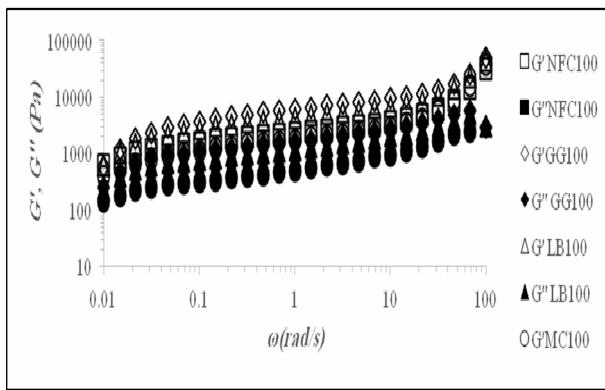
ویسکوالاستیک نمونه‌های سس کچاپ

طی آزمون روش کرنش، روند تغییرات مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا افت (G'') نسبت به کرنش (۱۰۰-۰/۰۱٪) در فرکانس ثابت HZ ۱ 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 روش 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.

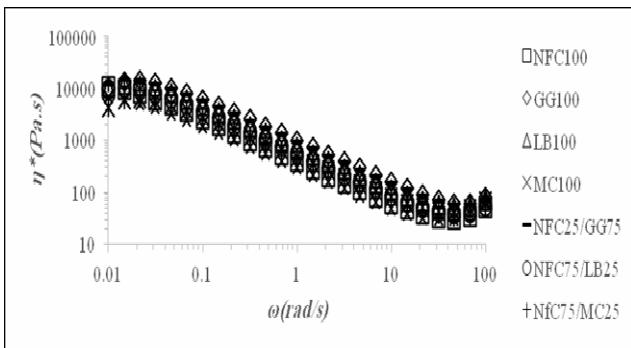
مولکولی آن است [۱۶]، در این تحقیق، این انتظار برآورده نشده است. البته قابل ذکر است که در همان پژوهش، آزمون تخمین میزان برهmekش و جذب پلی‌ساقاریدهای مختلف بر روی نانوفیرسلولز نشان داد که میزان جذب صمغ‌های لوپیای لوکاست و گوار بیشتر از متیل سلولز بوده است [۴۰]. این گزارشات با نتایج پژوهش حاضر کاملاً مطابقت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

ساخтар سلولز مانند حاوی نواحی نامنظم و زنجیرهای هلیکسی (منظم) می‌باشد که برای ایجاد باندهای بین مولکولی با گالاکتومانان، نیازمند تخریب بوده و ساختار نامنظم زانتان، برقرار کننده اصلی برهmekش با گالاکتومانان می‌باشد [۴۲ و ۴۳]. از اینرو با توجه به وجود نواحی آمورف در نانوفیرسلولز 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 شوندگی با برش نمونه‌ها کاملاً مشهود می‌باشد. به نظر می‌رسد که نمونه حاوی ۵٪ متیل سلولز و دو نمونه حاوی ۰/۱۲۵٪ نانوفیرسلولز- ۰/۰۵٪ 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 ارونن و همکاران (۲۰۱۰) نیز انتظار ما این بوده که این نمونه‌های حاوی نانوفیرسلولز و پلیمرهای ختنی دارای خواص ویسکوالاستیک مشابهی باشند. آنها طی مطالعات خود گزارش نمودند نانوفیریل‌های سلولز با موادی از قبیل پلی‌ساقاریدها که نزدیکی ساختاری با سلولز دارند، برهmekش پلی‌ساقاریدهای این می‌دانند [۴۰]. بار الکتریکی و ساختار زنجیره اصلی پلی‌ساقاریدها، نقش مهمی در میزان این برهmekش‌ها دارند. بطوريکه پلی‌ساقارید ختنی گزيلوگلوکان بيشترین میزان جذب بر روی نانوفیرسلولز را داشته، به دنبال آن پلیمر آئيونی کربوکسی متیل سلولز با زنجیره اصلی مشابه با سلولز قرار داشته است. بنابراین انتظار ما این بوده که پلیمر ختنی متیل سلولز که دارای زنجیره اصلی سلولزی می‌باشد دارای بيشترین برهmekش با نانوفیرسلولز باشد اما از انجا 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- نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج حاصله از آزمون‌ها ، افزودن نانوفیرسلولز به همراه صمغ گوار سبب بهبود ویژگی‌های 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 $125/120\%$ نانوفیرسلولز - $375/300\%$ گوار) به عنوان نمونه کچاپ برگریده، با ویژگی‌های 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, Suphantharika M, Pinjai S, Jamnong P. 2006. β -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, Hagglom 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] Khouryeh 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

Inetraction between nanofiber cellulose with guar gum, lucost bean gum and methyl Cellulose on rheological properties ketchup

Tarighi, A. ^{1*}, Alimi, M. ², Yousefi ,H. ³

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