

## تأثیر قوام‌دهنده‌های گوار و کربوکسی متیل سلولز بر خواص رئولوژیکی و فیزیکی ماست میوه‌ای قالبی

اکبر زمانی<sup>۱</sup>، هادی الماسی\*<sup>۲</sup>، بابک فنبرزاده<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳. دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲)

### چکیده

در این تحقیق تأثیر دو قوام‌دهنده کربوکسی متیل سلولز (CMC) و گوار بر خواص رئولوژیکی ماست میوه‌ای قالبی بررسی شد. با افزودن CMC و گوار در ماست میوه‌ای، به ترتیب تا غلظت ۰/۲ درصد و ۰/۰۶ درصد، مدول‌های ویسکوالاستیک ("G', G"), ویسکوزیته ظاهری، ویسکوزیته کمپلکس افزایش و فاکتور افت کاهش یافت و در بالاتر از این غلظت‌ها، عکس موارد ذکر شده رخ داد. همچنین با افزودن CMC و گوار در ماست میوه‌ای، آب‌اندازی کاهش و ظرفیت نگهداری آب افزایش یافت. با وجود تأثیر مثبت هر کدام از قوام‌دهنده‌ها بر خواص رئولوژیکی، افزودن مخلوط آن دو تأثیر منفی روی خواص ماست داشت. با افزودن غلظت‌های متفاوت CMC در غلظت‌های ثابت گوار (۰/۰۲ درصد و ۰/۰۴ درصد)، هیچ‌گونه اثر سینرژیستی در جهت بهبود ساختار و شبکه سه‌بعدی ماست مشاهده نشد و ویژگی‌های رئولوژیکی و ظرفیت نگهداری آب تضعیف شد و آب‌اندازی افزایش یافت.

**کلیدواژگان:** آب‌اندازی، ماست میوه‌ای قالبی، مدول‌های ویسکوالاستیک، ویسکوزیته کمپلکس، هیدروکلونیدها.

### مقدمه

در خواص ویسکوالاستیک ماست، و به تبع آن تغییر در آب‌اندازی و ویژگی‌های حسی ماست میوه‌ای وجود دارد. Mataragas *et al.* (2011) تغییرات میکروبیولوژیکی و فساد ماست میوه‌ای و همچنین ماندگاری آن را در طول سه ماه نگهداری در دمای یخچال بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن میوه، تأثیر منفی بر ماندگاری محصول دارد و احتمال فساد آن را افزایش می‌دهد. افزایش فعالیت آبی، کاهش اسیدیته، و افزایش قند محصول دلایل این امر ذکر شده‌اند. روش‌های گوناگونی مانند بالابردن میزان ماده خشک با استفاده از پودر شیر خشک، پودر آب پنیر، و کازئین و یا افزودن قوام‌دهنده‌ها (هیدروکلونیدها) به مقدار معین برای رفع این معایب وجود دارد (Nongonierma *et al.*, 2007).

هیدروکلونیدها (مانند گزانتان، گوار، و کربوکسی متیل سلولز (CMC)) به دلیل ویژگی‌های کاربردی مطلوبی که دارند، به‌طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. هیدروکلونیدها از طریق افزایش پایداری فیزیکی و بهبود بافت مواد غذایی و ویژگی‌های حسی و احساس دهانی، نقش مهمی در افزایش مقبولیت نهایی محصولات غذایی، همچون انواع ماست دارند (Lucy, 2002). این ترکیبات از طریق افزایش قوام، افزایش پایداری در مقابل دوفاز شدن و رسوب، جلوگیری از توده شدن ذرات کلونیدی، و جلوگیری از کریستالیزاسیون، در

ماست از پرمصرف‌ترین فراورده‌های تخمیری شیر، در تمام دنیا است و در کشورهای اطراف مدیترانه، اروپای مرکزی، و آسیا به‌ویژه در ایران مصرف بالایی دارد. محصولات متنوع ماست شامل ماست‌های ساده و میوه‌ای از نوع قالبی و هم‌زده، ماست‌های طعم‌دار، کم‌کالری (کم‌چرب)، و چکیده در کشورهای گوناگون دنیا به‌صورت گسترده تولید و استفاده می‌شوند (Shaker *et al.*, 2000). ماست میوه‌ای به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای بالا، ویژگی‌های درمانی و ایمنی‌بخشی، و خواص حسی و ارگانولپتیک مطبوع و دلپسند، از پرمصرف‌ترین فراورده‌های تخمیری شیر به‌شمار می‌رود (Sanchez-Segarra *et al.*, 2000). do Espírito Santo *et al.* (2012) پودر میوه آوکادو را به ماست قالبی اضافه و تأثیر آن را بر سینتیک تخمیر و ویژگی‌های بافتی ماست بررسی کردند. مشاهده شد که در این حالت، زمان تخمیر کوتاه‌تر شد ولی تعداد استارترهای باقیمانده در محصول نهایی کاهش یافت. افزودن پودر میوه، سفتی و قوام بافت ماست را نیز بیشتر کرد. با وجود تمام این ویژگی‌های مطلوب، به‌علت استفاده از میوه و فراورده‌های آن، احتمال تغییر

هیدروکلونیدها می‌تواند روی تمام این پارامترهای رئولوژیکی ماست میوه‌ای تأثیرگذار باشد.

در این تحقیق، به منظور بهبود ویژگی‌های حسی و بافتی ماست میوه‌ای، از دو نوع هیدروکلونید گوار و CMC به صورت خالص و ترکیبی استفاده شده و اثر آنها بر خواص رئولوژیکی و فیزیکی ماست میوه‌ای قالبی بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

### مواد

شیر استفاده شده برای تولید ماست میوه‌ای، شیر گاو مربوط به فصول زمستان و بهار بود که از شرکت شیر پاستوریزه و فراورده‌های لبنی شهرستان خوی تهیه و استفاده شد. استارتر استفاده شده BY12 با نشان تجارتي لاکتینا<sup>۴</sup> ساخت کشور دانمارک بود که حاوی لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس و لاکتوکوکوس سالیواریوس زیرگونه ترموفیلوس است و به صورت انبوه<sup>۵</sup> با رقیق‌سازی سوسپانسیون استارتر مطابق دستورالعمل تهیه گردید و ۲ درصد از آن برای تهیه نمونه‌های ماست میوه‌ای استفاده شد. هیدروکلونیدهای استفاده شده، صمغ‌های گوار<sup>۶</sup> نوع ۶۳۸۲ (Alfred L. Wolff, Germany) و کربوکسی متیل سلولز<sup>۷</sup> (CMC) (Dai-Ichi Kogyo Seiyaku, Japan) از نوع خوراکی<sup>۸</sup> بودند.

### تهیه مارمالاد توت‌فرنگی

برای تهیه مارمالاد، ابتدا از بازار به مقدار کافی توت‌فرنگی سالم تهیه شد و پس از دم‌گیری و شستشو در خردکن کاملاً خرد شد و با درصد معینی از شکر مخلوط گردید و تا رسیدن به بریکس ۶۲ درصد حرارت داده شد و برای جلوگیری از تأثیر مارمالاد بر pH ماست، به مقدار کافی از عامل بافریتری سیترات سدیم استفاده شد (Chandan, 2006).

### تهیه ماست میوه‌ای قالبی

شیر پس از دریافت در تانک‌های مخصوص از جنس استیل ذخیره شد تا تمام شیرهای دریافتی همگن شود و به ماده خشک مورد نظر برسند. دستگاه سپراتور (خامه‌گیر) چربی شیر در مقدار ۲/۵ درصد تنظیم کرد و به هوموژنایزر در دمای ۵۰ تا ۶۰°C منتقل شد و در فشار ۲۰۰ الی ۲۵۰ کیلو پاسکال

افزایش کیفیت فیزیکی و حسی مواد غذایی ایفای نقش می‌کنند. مطالعات زیادی بر تأثیر هیدروکلونیدها روی خواص رئولوژیکی و فیزیکوشیمیایی ماست معمولی و ماست کم‌چرب صورت گرفته است (Torres, et al., 2011; Ramaswamy & Basak, 1992; Barrantes et al., 1994; Afonso & Joao, 1999; Fiszman et al., 1999). با وجود این، اطلاعات بسیار کمی در زمینه تأثیر این ترکیبات روی ویژگی‌های متفاوت ماست میوه‌ای گزارش شده است (Decourcelle et al., 2012). افزودن انواع هیدروکلونیدها به ترکیب ماست میوه‌ای می‌تواند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی و حتی میکروبی این محصول را تحت تأثیر قرار دهد (Decourcelle et al., 2012).

صمغ گوار از آندوسپرم دانه گیاه گوار به دست آمده است و از واحدهای D-β- مانوپیرانوزیل که با پیوندهای (۴-۱) به یکدیگر متصل شده‌اند، تشکیل گردیده است. این واحدها به صورت یک در میان به یک واحد D- گالاکتوپیرانوزیل با پیوند (۶-۱-α) متصل شده‌اند. این صمغ به سهولت آب جذب می‌کند و محلول غلیظی به وجود می‌آورد که خصوصیات تیکستروپی دارد. از مشتقات مهم سلولز، کربوکسی متیل سلولز یا CMC است که از طریق واکنش سلولز با هیدروکسید سدیم و اسیدکلرواستیک تولید می‌شود. درجهٔ استخلاف آن در مقیاس تجارتي ۱/۴-۰/۴ درصد وزنی است که در موارد ویژه می‌تواند بالاتر هم باشد. محلول آن غیر یونی است و خاصیت سود و پلاستیک دارد. از این صمغ نیز به عنوان قوام‌دهنده در محصولات غذایی گوناگون استفاده می‌شود (Saha & Bhattacharya, 2010).

ماست میوه‌ای قالبی از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی، خواص و رفتاری مشابه خواص ژل را دارد و ماده‌ای ویسکوالاستیک با تنش تسلیم نسبتاً اندک به حساب می‌آید. رفتار الاستیک ماست قالبی که برای توصیف آن از اصطلاحات قوام<sup>۱</sup>، سفتی<sup>۲</sup> یا سختی<sup>۳</sup> استفاده می‌شود، به پیوندهای پروتئین-پروتئین و پروتئین-کربوهیدرات وابسته است و برای اندازه‌گیری آن بیشتر از آزمون‌های نوسانی با تعیین مدول ذخیره (G') استفاده می‌شود. از دیگر پارامترهای رئولوژیکی، مدول افت (G'') است که بیانگر پیوندهای ضعیف‌تر است و از هم‌شکسته شدن زنجیرهای شبکهٔ سه‌بعدی کارئینی در سرعت‌های برشی بالا حاصل می‌شود و از آن برای توصیف رفتار ویسکوز در ماست میوه‌ای قالبی استفاده می‌شود (Torres et al., 2011). افزودن

4. Lactina  
5. Bulk  
6. Guar  
7. Carboxymethyl cellulose  
8. Food Grade

1. Consistency  
2. Firmness  
3. Hardness

میزان رفتار جریان و مقدار انرژی به‌هدررفته در واحد حجم، در هر سیکل کامل موج کرنش را نمایش می‌دهد. هر دوی این توابع وابسته به فرکانس هستند و با روابط ۱ تا ۵ محاسبه می‌شوند:

$$G' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \cos(\delta) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$G'' = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \sin(\delta) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$\frac{\sigma_0}{\gamma_0}$  نسبت دامنه نوسان (نسبت حداکثر تنش به حداکثر کرنش در موج سینوسی) و  $\delta$  زاویه تأخیر فاز است. نسبت  $G''$  به  $G'$  تانژانت افت نامیده می‌شود:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (\text{رابطه ۳})$$

ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) نسبت مدول کمپلکس ( $G^* = \frac{\sigma_0}{\gamma_0}$ )

به فرکانس است و معیاری از سفتی کلی جسم است:

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (\text{رابطه ۴})$$

#### اندازه‌گیری آب‌اندازی<sup>۲</sup>

برای اندازه‌گیری آب‌اندازی، ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه‌های ماست در لوله<sup>۱</sup> ۱۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد و در  $100 \times x$  برای ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. فاز مایع<sup>۳</sup> جدا شد و سپس وزن شد. اختلاف به‌دست‌آمده به‌عنوان مقدار یا حجم آب‌اندازی محصول محاسبه شد (Kumar & Mishra, 2004):

$$\text{Syn} = \frac{V_1}{V_2} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$V_1$  حجم آب جدا شده و  $V_2$  حجم اولیه نمونه برحسب میلی‌لیتر است.

#### اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب<sup>۴</sup>

برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه در لوله<sup>۱</sup> ۱۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد و در  $200 \times x$  برای ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. فاز مایع جدا شد و باقیمانده مجدداً وزن گردید. اختلاف به‌دست‌آمده به‌عنوان مقدار یا حجم ظرفیت نگهداری آب محصول، بیان می‌شود (Everett & McLeod, 2005):

$$\text{WHC} = \frac{W_1}{W_2} \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

هموژنیزه و در تانک‌های فراوری، در دمای  $85^\circ\text{C}$  به مدت ۳۰ دقیقه پاستوریزه شد و سپس تا دمای تلقیح  $42^\circ\text{C}$  خنک گردید.

به‌منظور تهیه ماست میوه‌ای قالبی آزمایشی، هیدروکلوئیدهای مورد نظر (CMC و گوار) در غلظت‌های متفاوت به شیر فرایندشده و در حین خنک‌کردن تا  $42^\circ\text{C}$  اضافه شد و با همزن مغناطیسی، خوب همگن گردید و فرصت کافی برای هیدراته‌شدن کامل آنها داده شد. قبل از اضافه‌کردن آغازگر انبوه به مقدار ۲ درصد، مارمالاد تهیه شد با بریکس ۶۲ درصد به میزان ۱۰ درصد وزنی به شیر در دمای  $42 \pm 2^\circ\text{C}$  اضافه گردید. سپس استارتر اضافه و به مدت ۲/۵ تا ۴ ساعت تا رسیدن به  $\text{pH}=4/2$  در داخل انکوباتور گرمخانه‌گذاری شد. پس از رسیدن به  $\text{pH}$  مورد نظر، نمونه‌ها در انکوباتور یخچال‌دار در دمای  $4^\circ\text{C}$  تا انجام آزمون‌های لازم نگهداری شدند (Chandan, 2006).

#### اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی

برای تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌ها، از رئومتر UDS 200 ساخت شرکت Anton paar-physica کشور اتریش استفاده شد. سطح نوسانی سیلندر به قطر ۲۵ میلی‌متر بود. فنجان<sup>۱</sup> بین این صفحه و سطح ثابت متفاوت است اما برای ژل نرم همانند ماست، یک فنجان با قطر ۲۷ میلی‌متر مناسب است. در این آزمایش، محدوده‌های فرکانس و نوسان موج‌های سینوسی که با حرکت پلیت برای محصول مورد نظر تشخیص داده می‌شود، به‌دست می‌آید. بنابراین ابتدا محدوده ویسکوالاستیک خطی تعیین شد و سپس آزمون‌های رئولوژیکی در آن محدوده انجام گرفت.

مدول ذخیره در ناحیه خطی ثابت باقی می‌ماند و بالاتر از کرنش برشی بحرانی، کاهش می‌یابد. این محدوده خطی در کرنش کمتر از ۰/۱ درصد قرار دارد. بنابراین تمامی آزمون‌هایی که در آنها فرکانس متغیر است در ناحیه خطی انجام شد و از فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ Hz استفاده گردید (Tamime & Robinson, 1999; Wong 1999).

طبق داده‌های آزمون رئولوژیکی، مدول ذخیره، مدول افت، ویسکوزیته کمپلکس، و تانژانت افت محاسبه شد. مدول ذخیره یا مدول برشی ( $G'$ )، میزان رفتار الاستیک، و مقدار انرژی بازیابی‌شده در واحد حجم در هر سیکل کامل موج کرنش را نشان می‌دهد. مدول افت برشی یا مدول ویسکوز ( $G''$ )

2. Syneresis  
3. Supernatant  
4. Water holding capacity

1. Cup

$W_1$  وزن رسوب باقیمانده پس از حذف آب جدا شده و  $W_2$  وزن اولیه برحسب گرم است.

### طرح آماری

در این مطالعه از طرح کاملاً تصادفی در ۱۷ تیمار و سه تکرار استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ( $p < 0.05$ ) صورت پذیرفت.

### نتایج و بحث

#### آب‌اندازی

شکل ۱ تأثیر غلظت گوار و CMC را بر آب‌اندازی ماست میوه‌ای نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱A، با افزودن گوار به ماست میوه‌ای قالبی، تا غلظت ۰/۰۴ درصد، آب‌اندازی کاهش می‌یابد ولی پس از آن دوباره افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش CMC در ماست میوه‌ای قالبی، مطابق شکل ۱B، تا غلظت ۰/۲ درصد، آب‌اندازی کاهش می‌یابد. ولی با استفاده از دو هیدروکلوئید در غلظت‌های متفاوت، نتایج متفاوتی به دست آمد. در غلظت ۰/۰۲ درصد گوار با غلظت‌های متفاوت CMC، هرچه غلظت CMC زیادتر می‌شود آب‌اندازی تغییر چندانی نمی‌کند. همچنین در غلظت ۰/۰۶ درصد CMC، آب‌اندازی اندکی افزایش می‌یابد که این اختلاف نیز، معنادار ( $p < 0.05$ ) نیست.

با توجه به یافته‌های *Syrbe et al* (1998)، با اضافه شدن هیدروکلوئید غیرجذبی در دیسپرسیون کلوئیدی، حالت پایدار به وجود می‌آید ولی با افزایش زیاد غلظت گوار (هیدروکلوئید غیرجذبی) در ماست میوه‌ای قالبی، احتمالاً حالت پایدار به حالت انبوهش ناشی از تهی شدن نزدیک می‌شود<sup>۱</sup> و به تدریج آب‌اندازی زیادتر شده و باعث می‌شود اثر گوار روی آب‌اندازی معنادار گردد. این پدیده با یافته‌های *Everett & McLeod* (2005) در ماست هم‌زده مطابقت دارد. طبق یافته‌های *Syrbe et al* (1998)، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدهای جذبی، مکانیسم انبوهش با اتصالات بین مولکول‌های هیدروکلوئید، به تثبیت استریک<sup>۲</sup> می‌انجامد در نتیجه موجب کاهش آب‌اندازی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در ماست میوه‌ای می‌شود که اثر CMC در کاهش معنادار ( $p < 0.05$ ) آب‌اندازی در مقایسه با نمونه شاهد مربوط به این مکانیسم است. با افزایش غلظت گوار به ۰/۰۴ درصد در غلظت‌های متفاوت CMC در ماست میوه‌ای قالبی، آب‌اندازی رو به افزایش گذاشته است تا جایی که در

غلظت ۰/۰۶ درصد CMC آب‌اندازی به شدت افزایش می‌یابد. چنانکه در بالا اشاره شد، مکانیسم تثبیت با افزایش غلظت هیدروکلوئید غیرجذبی و جذبی به سوی انبوهش ناشی از تهی شدن حرکت می‌کند که موجب افزایش آب‌اندازی می‌شود. چنانچه حتی در غلظت‌های کم CMC در غلظت گوار ۰/۰۶ درصد نیز هیچ‌گونه اصلاح سیستمی انجام نپذیرد در ماست میوه‌ای آب‌اندازی مشاهده می‌گردد. چراکه غلظت زیاد گوار در تعامل با CMC موجب انبوهش ناشی از تهی شدن می‌شود که نهایتاً موجب آب‌اندازی می‌گردد. طبق یافته‌های *McLeod & Everett* (2005)، چنانچه غلظت هیدروکلوئیدها افزایش یابد، ساختار توده مسیلی فشرده‌تر می‌شود و به افزایش آب‌اندازی و کاهش ظرفیت نگهداری آب می‌انجامد. این پدیده به انبوهش ناشی از تهی شدن معروف است یعنی در مواقعی که مقدار هیدروکلوئید جذبی یا غیرجذبی در قسمتی از سیستم زیاد باشد، در آن قسمت فشار اسمزی بالاتر می‌رود و باعث خروج مایع از بین ذرات و نزدیک‌تر شدن آنها به همدیگر و انبوهش بین ذرات و سرانجام سبب ناپایداری سیستم می‌شود. همچنین *Unal et al* (2003)، با بررسی تأثیر گالاکتومانان‌ها مانند صمغ دانه خرنوب<sup>۳</sup> در ماست قالبی، به این نتیجه رسیدند که بالاتر رفتن غلظت این صمغ به دلیل کاهش خلل و فرج<sup>۴</sup> و تضعیف شبکه ژلی، به آبکی شدن محصول نهایی می‌انجامد و در پایان آب‌اندازی افزایش پیدا می‌کند.

#### ظرفیت نگهداری آب

چنانکه در شکل A ۲، مشاهده می‌شود با افزایش غلظت گوار مقدار آب بافتی جدا شده کاهش می‌یابد و در واقع ظرفیت نگهداری آب رفته‌رفته افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت CMC، میزان آب خارج شده کاهش می‌یابد تا اینکه در غلظت ۰/۲ درصد تقریباً تغییر چندانی در ظرفیت نگهداری آب مشاهده نمی‌شود (شکل B ۲).

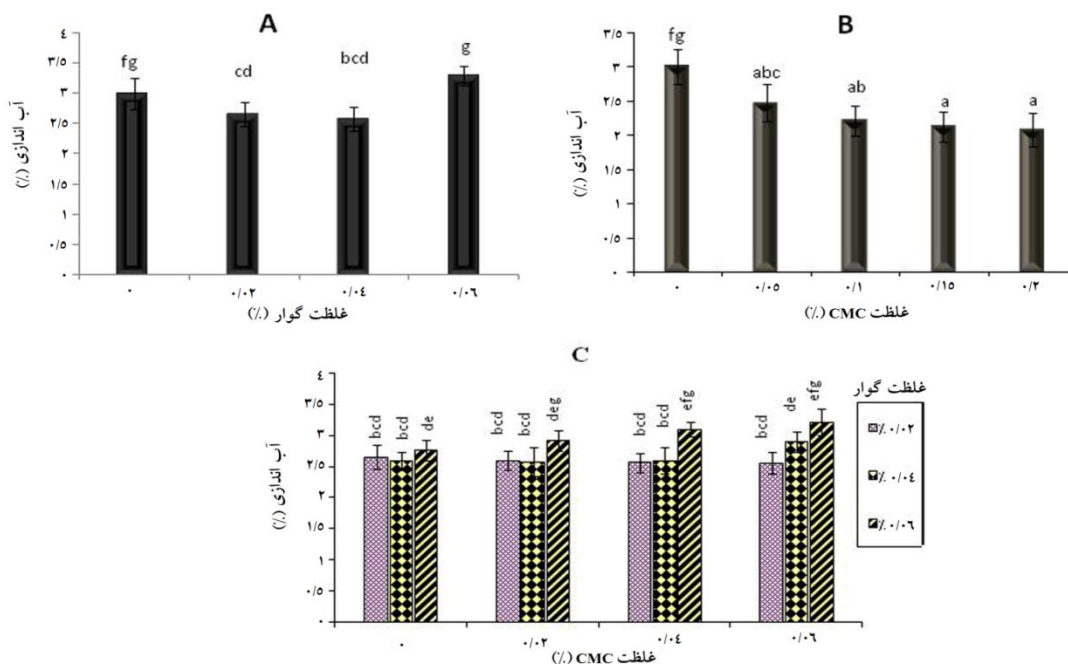
افزایش ظرفیت نگهداری آب با افزایش غلظت گوار و CMC با نتایج *Unal et al* (2003) مطابقت دارد. آنها مشاهده کردند که با افزایش بیشتر غلظت گالاکتومانان‌ها، به دلیل تقویت ژل و افزایش خلل و فرج در ماست، ظرفیت نگهداری آب و ویسکوزیته افزایش می‌یابد. برابر یافته‌های *Syrbe et al* (1998)، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدهای جذبی مکانیسم انبوهش با اتصالات بین قطره‌ها به تثبیت استریک می‌انجامد که در نتیجه موجب کاهش آب‌اندازی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در

3. Locust bean gum  
4. Porosity

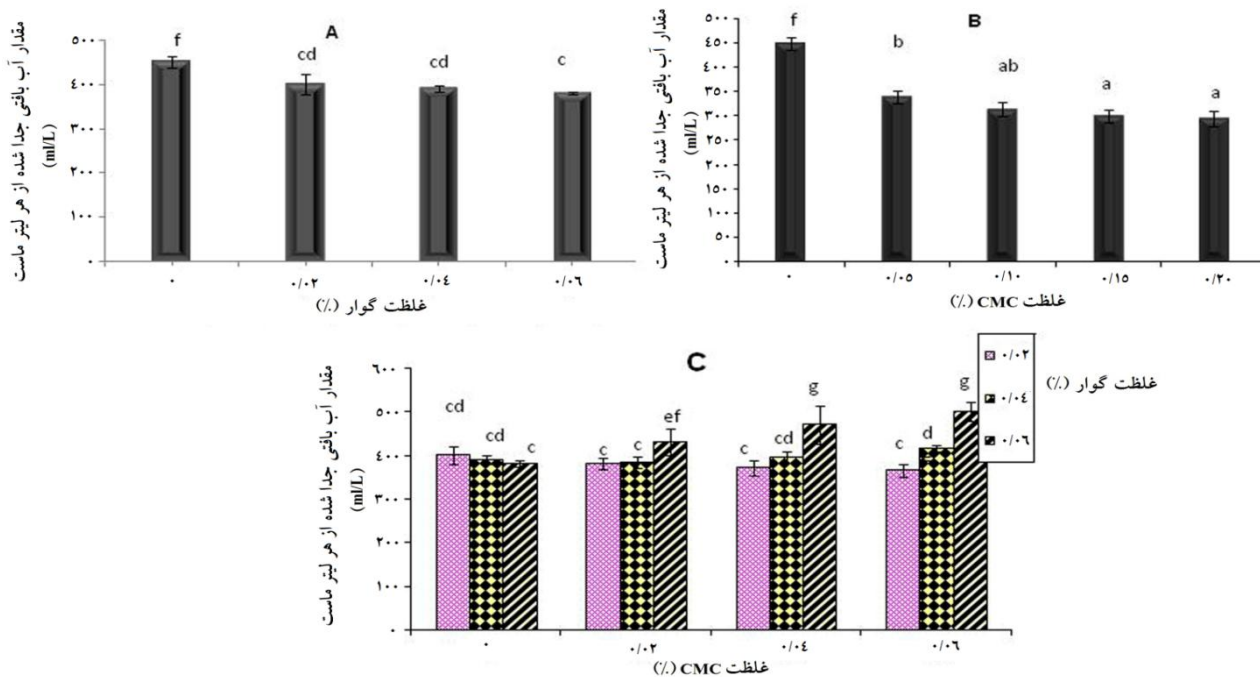
1. Depletion flocculation  
2. Steric stabilization

مخلوط این دو قوام‌دهنده به ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های کم، تغییر محسوسی در ظرفیت نگهداری آب نداشت ولی با افزایش غلظت‌های این دو قوام‌دهنده، ظرفیت نگهداری آب کاهش یافت که مطابق نظریات *Syrbe et al* (1998) و *Everett & McLeod* (2005) در ماست هم‌زده است.

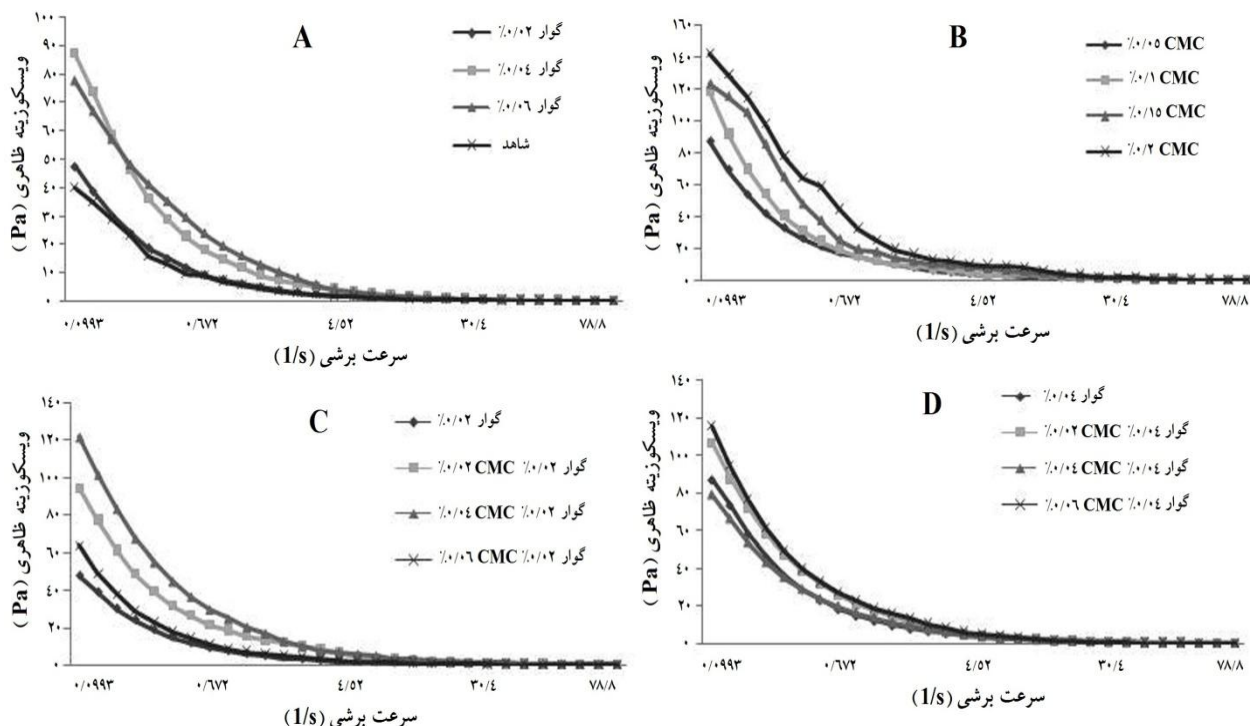
ماست میوه‌ای می‌شود. ولی احتمال انبوهش ناشی از تهی شدن با افزایش غلظت CMC به بیش از ۰/۲ درصد، طبق نظریات *Syrbe et al* (1998) وجود دارد. همان‌طور که در شکل ۲C نیز مشاهده می‌شود، ترکیب این دو هیدروکلوئید بر ظرفیت نگهداری آب اثر منفی دارد و با افزایش غلظت هردو، ظرفیت اتصال با مولکول‌های آب و نگهداری آن کاهش می‌یابد. افزودن



شکل ۱. آب‌اندازی ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های متفاوتی از گوار (A)، CMC (B)، و ترکیبی از گوار و CMC (C). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید و در دمای محیط (۲۳°C) انجام گرفته است.



شکل ۲. مقدار آب بافتی جدا شده از ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های متفاوتی از گوار (A)، CMC (B)، و ترکیبی از غلظت‌های متفاوت گوار و CMC (C). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید و در دمای محیط (۲۳°C) انجام گرفته است.



شکل ۳. ویسکوزیته ظاهری ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های متفاوتی از گوار (A)، CMC (B)، و ترکیب گوار و CMC در غلظت‌های متفاوت (C) و (D). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید در سرعت برشی ۰/۰۱ تا ۱۰۰ ۱/s و دمای محیط (۲۳°C).

### خواص رئولوژیکی

#### رئومتري پايا (ویسکوزیته ظاهری)

با افزایش فرکانس دستگاه رئومتر نوسانی، سرعت برشی افزایش می‌یابد و به کاهش ویسکوزیته ظاهری ماست میوه‌ای قالبی می‌انجامد. مطابق شکل ۳، این رفتار در غلظت‌های متفاوت گوار و CMC و ترکیبی از این دو هیدروکلوئید مشاهده می‌شود. ماست همانند ماده تیکسوتروپیک نسبی عمل می‌کند. در سیالات تیکسوتروپیک، هم با افزایش سرعت برشی و هم با گذشت زمان، ویسکوزیته ظاهری کاهش می‌یابد و بعد از قطع تنش، بازیابی نسبی صورت می‌گیرد. رفتار مشابه غلظت‌های مخلوط و مجزای هیدروکلوئیدها در ماست میوه‌ای قالبی، بیانگر رفتار غیرنیوتنی و سود و پلاستیک ماست میوه‌ای قالبی است. این نظر مطابق با یافته‌های Marcotte *et al* (2001) است که افزایش غلظت هیدروکلوئیدها را با افزایش ویسکوزیته ظاهری مرتبط می‌دانند. Gomez-Diaz & Navaza (2004)، اثر سینرژیستی هیدروکلوئیدها را در تغییر رفتار مخلوط‌ها، به پیوندهای شیمیایی قوی بین آنها مرتبط ندانستند، بلکه به برهم‌کنش‌هایی ضعیف از نوع هیدروفوبیک و الکترواستاتیک نسبت دادند.

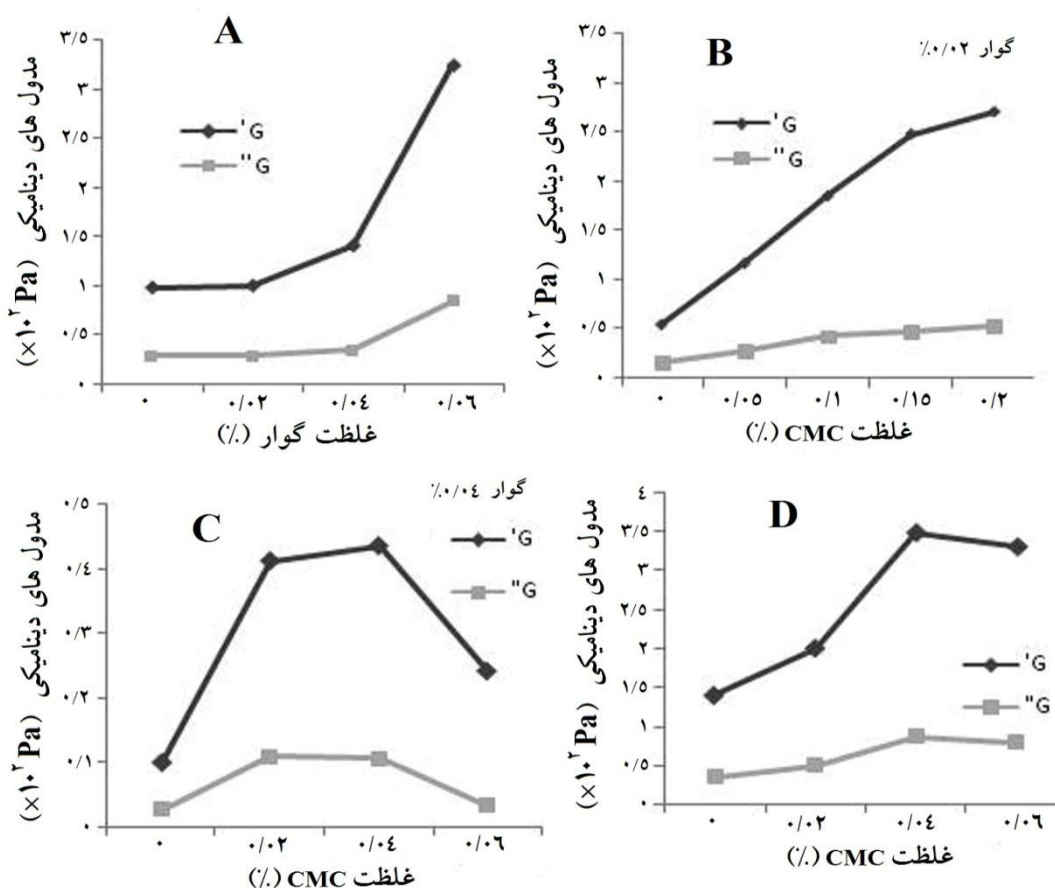
#### رئومتري نوسانی (پارامترهای ویسکوالاستیک)

**مدول‌های ویسکوالاستیک:** اثر هیدروکلوئید گوار در حضور درصدهای متفاوتی از CMC بر مدول‌های ویسکوالاستیک ماست میوه‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در تمامی نمونه‌ها مقادیر مدول ذخیره به‌طور شایان توجهی بیشتر از مدول افت است که نشان‌دهنده خاصیت الاستیک بالاتر ماست میوه‌ای در مقایسه با خاصیت ویسکوز آن است. چنانچه در شکل A ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت گوار، مدول‌های ویسکوالاستیک افزایش می‌یابند و با افزایش غلظت گوار تا ۰/۰۶ درصد این روند ادامه پیدا می‌کند. با افزایش غلظت گوار، که به‌عنوان هیدروکلوئیدی خنثی یا غیرجذب‌پذیر طبقه‌بندی می‌شود، برهم‌کنش‌های غیرالکترواستاتیک بین گوار و توده‌های کازئینی اتفاق می‌افتد و این امر باعث افزایش خصوصیات الاستیکی ماست می‌شود. با افزایش غلظت CMC تا ۰/۱۵ درصد در ماست میوه‌ای قالبی، مطابق شکل B ۴ مدول الاستیک افزایش می‌یابد. احتمالاً این هیدروکلوئید با برقراری اتصال با بارهای مثبت سطح میسل‌های کازئین، به تقویت شبکه کازئینی می‌پردازد و باعث افزایش مدول الاستیک می‌شود (Syrbe *et al.*, 1998).

با افزایش غلظت CMC در غلظت ثابت ۰/۰۲ درصد و ۰/۰۴ درصد گوار، با توجه به شکل‌های C۴ و D، مدول‌های

شبکه‌سه‌بعدی ژلی می‌انجامد. ولی با بیشتر شدن درصد CMC، مدول‌های ویسکوآلاستیک کاهش می‌یابد، که دلیل این پدیده ممکن است ناشی از افزایش بیش از حد هیدروکلوئید در داخل ماست میوه‌ای باشد که باعث تضعیف ساختار شبکه‌ژلی در ماست می‌شود.

ویسکوآلاستیک تا غلظت ۰/۰۴ درصد افزایش می‌یابد که این موضوع را می‌توان به دلیل دو مکانیسم مجزای هیدروکلوئیدهای جذبی (با جذب شدن روی میسل‌های کازئینی و استحکام میسل) و غیرجذبی یا خنثی (جذب آب و افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته) نسبت داد که سرانجام به عدم خروج سرم شیر و حفظ



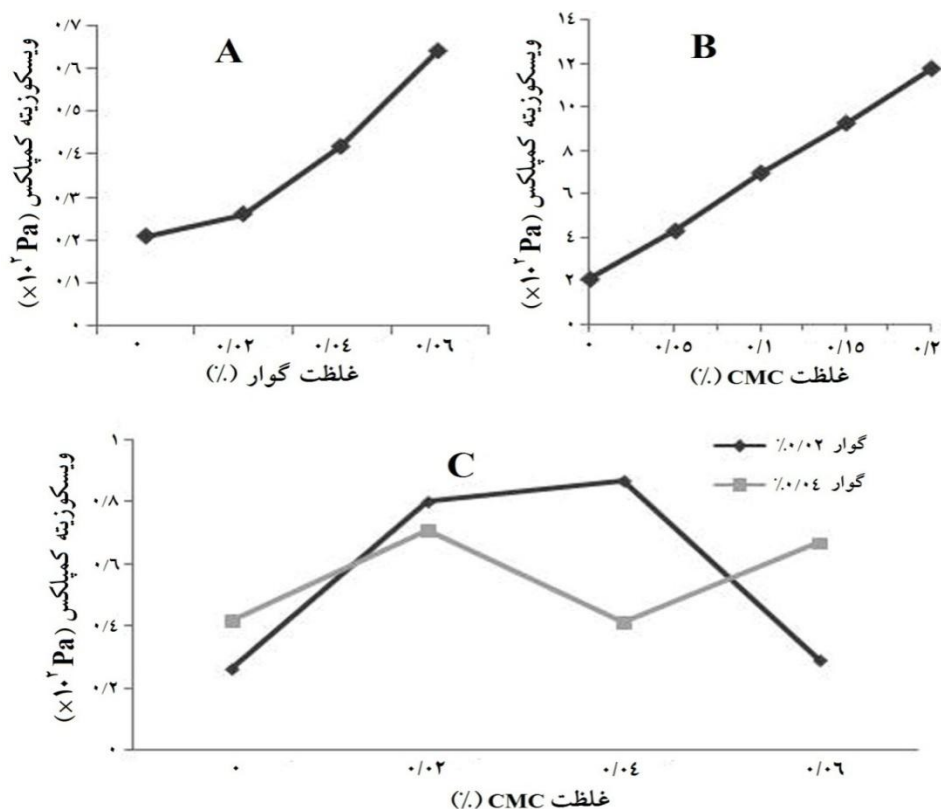
شکل ۴. مدول‌های ویسکوآلاستیک ( $G'$ ,  $G''$ ) ماست میوه‌ای قالبی؛ اثر گوار (A)، غلظت‌های متفاوت CMC در حضور ۰/۰۲ درصد گوار (B)، غلظت‌های متفاوت CMC در حضور ۰/۰۴ درصد گوار (C)، و اثر CMC (D). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید در کرنش ۰/۰۰۳ و فرکانس ۱ هرتز و دمای محیط (۲۳°C).

که معیار سفتی کل است، با افزایش غلظت هیدروکلوئیدهای گوار و CMC در ماست میوه‌ای قالبی در حالت مخلوط آن دو کاهش یافت که مطابق یافته‌های *Syrbe et al* (1998) بر اثر تأثیر تداخلی دو هیدروکلوئید و مزاحمت متقابل آنها در ایجاد شبکه‌منسجم ژلی است. ولی با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها به‌صورت مجزا، سیستم تثبیت می‌شود و ویسکوزیته کمپلکس افزایش می‌یابد.

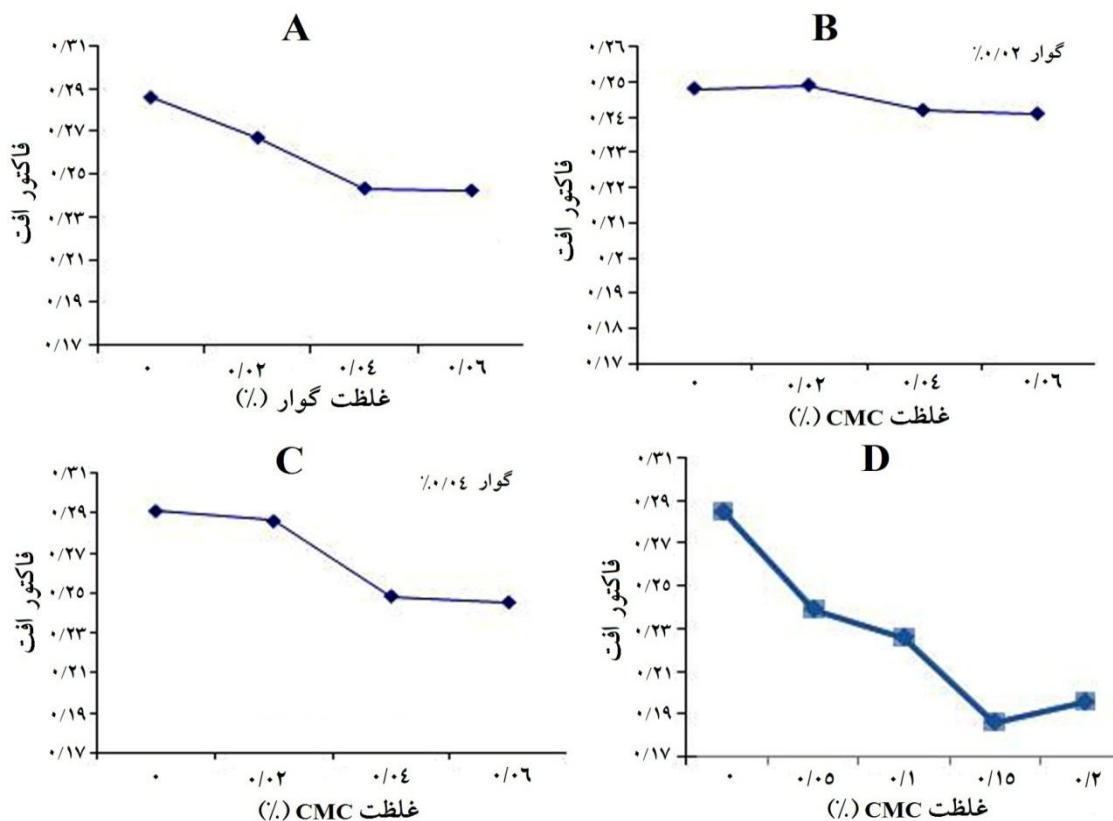
#### فاکتور افت یا تانژانت اتلاف<sup>۲</sup>

در آزمون‌های نوسانی، فاکتور افت ماده، بیانگر برتری یکی از خصوصیات رئولوژیکی (ویسکوز یا الاستیک) است. در واقع

ویسکوزیته کمپلکس<sup>۱</sup> چنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها در ماست میوه‌ای قالبی، ویسکوزیته کمپلکس نیز افزایش می‌یابد (شکل ۵A, B). اما همان‌طور که در شکل ۵C مشاهده می‌شود، در حضور ۰/۰۲ درصد گوار، افزایش ویسکوزیته کمپلکس با افزایش میزان CMC فقط تا غلظت ۰/۰۴ درصد CMC مشاهده می‌شود و پس از آن رو به کاهش می‌گذارد. همچنین در غلظت گوار ۰/۰۴ درصد و CMC ۰/۰۴ درصد ویسکوزیته کمپلکس کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش غلظت گوار، تأثیر CMC بر افزایش ویسکوزیته کمپلکس کمرنگ‌تر می‌شود. ویسکوزیته کمپلکس



شکل ۵. ویسکوزیته کمپلکس ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های متفاوتی از گوار (A)، و گوار (B) CMC، و گوار (0.02 درصد) و (0.04 درصد) با غلظت‌های متفاوتی از CMC (C). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید در کرنش 0.003 و فرکانس 1 هرتز و دمای محیط ( $23^{\circ}\text{C}$ ).



شکل ۶. فاکتور افت ماست میوه‌ای قالبی در غلظت‌های متفاوتی از گوار (A)، گوار (0.02 درصد) و غلظت‌های متفاوت CMC (B)، گوار (0.04 درصد) و غلظت‌های متفاوت CMC (C)، و CMC (D). اندازه‌گیری نمونه‌ها در روز سوم تولید در کرنش 0.003 و فرکانس 1 هرتز و دمای محیط ( $23^{\circ}\text{C}$ ).



قابلی بررسی شد. نتایج نشان داد که هرکدام از هیدروکلوئیدها به‌تنهایی آب‌اندازی را کاهش و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهند اما زمانی که از ترکیبی از آنها استفاده شد، نتایج برعکس مشاهده گردید و آب‌اندازی افزایش و ظرفیت نگهداری آب کاهش یافت. مشاهده شد که با افزودن این دو قوام‌دهنده به ماست میوه‌ای قالبی مدول‌های ویسکوالاستیک ( $G'$ ,  $G''$ ) و ویسکوزیته کمپلکس افزایش می‌یابد و فاکتور افت بیشتر و رفتار الاستیک ماست تقویت می‌شود، اما در حضور توأم هردو صمغ، ویژگی‌های رئولوژیکی تضعیف می‌شود و رفتار جریان‌یابی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که هیدروکلوئیدها اثر مزاحمتی روی هم‌دیگر دارند و در حالت استفاده از ترکیب آن دو مخصوصاً در غلظت‌های بالا نمی‌توان شاهد تقویت ویژگی‌های رئولوژیکی محصول بود. بنابراین به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که استفاده از قوام‌دهنده‌ها می‌تواند به بهبود خواص فیزیکوشیمیایی ماست میوه‌ای قالبی کمک کند. با این حال، انتخاب غلظت مناسب قوام‌دهنده و همچنین توجه به برهمکنش‌های متقابل قوام‌دهنده‌ها در حالتی که از ترکیبی از آنها استفاده شود، نکات مهمی است که مسلماً بر کارایی هیدروکلوئیدها در افزایش کیفیت محصول مؤثر خواهد بود.

فاکتور افت نسبت انرژی هدررفته به‌صورت ویسکوز به انرژی ذخیره‌شده به‌صورت الاستیک است. هرچه ماده رفتار شبه‌مایع بیشتری در مقایسه با رفتار شبه‌جامد داشته باشد، تانژانت افت بالاتری را نشان خواهد داد. با افزایش غلظت هیدروکلوئیدها در تمامی نمونه‌ها به‌جز نمونه‌های حاوی ۰/۲ درصد CMC فاکتور افت کاهش یافت (شکل ۶). چنانکه در شکل ۶D در مورد CMC مشاهده می‌شود، با افزایش این هیدروکلوئید در غلظت‌های کم، فاکتور افت کاهش بیشتری نشان داد و پس از آن بیشترین کاهش مربوط به گوار خالص بود. این تغییرات با روند تغییرات مدول‌های ویسکوالاستیک که نشانگر خاصیت الاستیسیته ماست میوه‌ای قالبی بود، مطابقت دارد. در واقع با افزودن هیدروکلوئیدها و با کاهش فاکتور افت، خواص الاستیک ماست میوه‌ای قالبی بالاتر می‌رود و حالت جامدتری پیدا می‌کند. این نتایج با یافته‌های Everett & McLeod (2005)، در زمینه اثر گوار بر فاکتور افت ماست هم‌زده، مطابقت دارد. درحالی که تأثیر غلظت‌های گوناگون CMC در حضور میزان ثابت گوار روی فاکتور افت کمتر و شیب تغییرات پایین‌تر است که نشان‌دهنده تأثیر مزاحمتی این دو هیدروکلوئید بر عملکرد یکدیگر است.

#### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تأثیر دو نوع هیدروکلوئید گوار و CMC به‌صورت خالص و ترکیبی، بر خواص رئولوژیکی و فیزیکی ماست میوه‌ای

#### REFERENCES

- Afonso, I. M. & Joao, M. M. (1999). Rheological monitoring of structure evolution and development in stirred yoghurt. *Journal of Food Engineering*, 42, 183–190.
- Barrantes, M. & Karagul-Yuceer, Y. (2006). Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science*, 89, 2865–2872.
- Decourcelle, N., Lubbers, S., Vallet, N., Rondeau, P. & Guichard, E., 2012, Effect of thickeners and sweeteners on the release of blended aroma compounds in fat-free stirred fruit yoghurt during shear conditions. *International Dairy Journal*, 14, 783–789.
- Chandan, R.C. (2006). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd.
- do Espírito Santo, A.P., Perego, P., Converti, A. & Oliveira, M.N. (2012). Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 393–399.
- Everett, D.W. & McLeod, R.E. (2005). Interactions of polysaccharide stabilizers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, 15, 1175–1183.
- Fizman, S.M., Luch, M.A. & Salvador, A. (1999). Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International Dairy Journal*, 9, 895–901.
- Gomez-Diaz, D. & Navaza, J.M., (2004). Rheology of food stabilizers blends. *Journal of Food Engineering*, 64, 143–149.
- Kumar, P. and Mishra, H.N. (2004). Mango soy fortified set yoghurt: effect of stabilizer addition on physicochemical, sensory and textural properties. *Food Chemistry*, 87, 501–507.
- Lucey, J. A. (2002). Formation and physical properties of milk protein gels. *Journal of Dairy Science*, 85(2), 281–294.
- Marcotte, M., Taherian, A.R. & Ramaswamy, H.S., (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34, 695–703.
- Mataragas, M., Dimitriou, V., Skandamis, P.N. & Drosinos, E.H. (2011). Quantifying the spoilage and shelf-life of yoghurt with fruits. *Food Microbiology*, 28, 611–616.
- Nongonierma, B., Cayot, P., Springett, M., Le Quere, J., Cachon, R. & Voilley, A. (2007). Transfers of

- small analytes in a multiphase stirred fruit yoghurt model. *Food Hydrocolloids*, 21, 287–296.
- Ramaswamy, H. S. & Basak, S. (1992). Pectin and raspberry concentrate effects on the rheology of stirred commercial yogurt. *Journal of Food Science*, 57(2), 357–360.
- Saha, D. & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597.
- Sanchez-Segarra, P.J., Garcoa-Martinez, M.M., Gordillo-Otero, J., Doaz-Valverde, A., Amaro-Lopez, M.A. & Moreno-Rojas, R. (2000). Influence of the addition of fruit on the mineral content of yoghurts: nutritional assessment. *Food Chemistry*, 70, 85–89.
- Shaker, R. R., Jumah, R. Y. & Abu Jdayil, B. (2000). Rheological properties of plain yoghurt during coagulation process: Impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*, 44, 175–180.
- Syrbe, A., Bauer, W.J. & Klostermeyer, H. (1998). Polymer science concepts in dairy system- An overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *Dairy Journal*, 8, 179–193.
- Tamime, A.Y. & Robinson, R.K. (1999). *Yoghurt: science and technology*, Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. Second Edition.
- Torres, I.C., Janhoj, T., Mikkelsen, B.O. & Ipsen, R. (2011). Effect of microparticulated whey protein with varying content of denatured protein on the rheological and sensory characteristics of low-fat yoghurt. *International Dairy Journal*, 21, 645–655.
- Unal, B., Metin, S. & Isikli, N. D. (2003). Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low-fat set yoghurt. *International Dairy Journal*, 13, 909–916.
- Wong, N.P. (1999). *Fundamentals of dairy chemistry* third edition. Aspen publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.