مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی، بافتی، حسی و رنگی ژله سیب غنی شده با جلبک *اسپیرولینا*

سمیه آزاد فلاح[۱]، تیوا کفیلی[۲*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد بویین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بویین زهرا، ایران

۲-استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد بویین زهرا، دانشگاه آزاد اسلامی، بویین زهرا، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۹۹ /۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱٦

کلمات کلیدی:

ژله سیب،

بافت،

ویژگی‌های رئولوژیکی،

اسپیرولینا.

DOI: 10.52547/fsct.18.05.08

* مسئول مکاتبات:

tivkafil@ut.ac.ir

چکیده

هدف از این مطالعه تولید ژله سیب طبیعی غنی شده با جلبک *اسپیرولینا* و بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی، بافت، رنگ و ویژگی‌های حسی آن بود. بنابراین چهار فرمول (C, J1, J2, J3) حاوی ۰، ۰/۷۵، ۱/۵، ۳٪ میکروجلبک *اسپیرولینا* طراحی و ویژگی‌های ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد کلیه نمونه-ها رفتار غالب جامد الاستیک را نشان دادند. همچنین عدم تقاطع منحنی‌های مدول افت و ذخیره در فرکانس‌های اعمال شده نیز نشان‌دهنده رفتار یک ژل معمول بود. اما با این حال مدول ذخیره نمونه‌ها با افزایش درصد جلبک کاهش یافت. همچنین در نمونه‌ها وابستگی مدول ذخیره به فرکانس دیده نشد اما با افزایش فرکانس مدول ذخیره خصوصا نمونه حاوی درصد بالاتر جلبک *اسپیرولینا* کاهش یافت که نشان-دهنده رفتار مایع‌تر بود. شاخص‌های n و m نیز چنین رفتاری را تصدیق کرده و نشان دادند با افزایش غلظت جلبک استحکام ساختار ژل کاهش یافته است. داده‌های مربوط به منحنی نیرو- زمان نیز اگر چه در محدوده یک ژله معمول بودند اما با این حال با افزایش درصد *اسپیرولینا* میزان سختی، چسبندگی، الاستیسیته و صمغی بودن کاهش، و میزان پیوستگی افزایش نشان دادند که روند نتایج مربوط به آزمون نوسانی دینامیک را حمایت کرد. همچنین نتایج مربوط به رنگ نمونه نشان داد با افزودن *اسپیرولینا* خصوصا در نمونه دارای ۳٪ جلبک متغیرهای *L، *b و*C کاهش قابل توجهی نشان دادند که نشان دهنده تیره‌تر شدن نمونه بود. تفاوت کلی رنگ بین نمونه‌ها بیشتر از ٦ درجه و نشان دهنده گروه‌های رنگی متفاوتی بود. همچنین با افزایش درصد جلبک در نتایج حسی کاهش امتیازات ثبت شد. بطور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که جهت استفاده از عصاره جلبک در محصول ژله با توجه به اثر منفی آن بر اغلب ویژگی‌های بافتی، رئولوژیکی و حسی، نیاز به تحقیقات بیشتر و درک بهتر مکانیسم تشکیل ژل و اعمال تغییرات و بهینه‌سازی در فرمولاسیون و فرآیند است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

۱- مقدمه

در دنیای امروز با توجه به توسعه اقتصادی جوامع و بهبود شرایط آموزشی و کیفیت زندگی، اهمیت رعایت نکات بهداشتی و رژیم غذایی سالم در پیشگیری از بیماری‌ها بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. افزایش سطح تحصیلات و آگاهی‌های اجتماعی در رابطه با تغذیه و ارتباط آن با کیفیت زندگی، گرایش عمومی نسبت به مصرف محصولات سلامتی بخش و انواع مکمل‌های طبیعی را افزایش داده است. در پاسخ به نیاز این طیف مصرف کنندگان، نظام مدرن صنعت غذا و تغذیه بسمت تولید و عرضه غذاهای جدید سالم‌تر و طبیعی جهت گیری نموده است [۱]. بسیاری از محققان در سراسر جهان ترکیبات سلامت‌بخش طبیعی مانند رنگدانه‌ها و منابع آنتی اکسیدانی طیف وسیعی از محصولات گیاهی را بررسی نموده‌اند [۲]. بیوتکنولوژی غذایی نیز در پاسخ به این نیاز بازار ریزجلبک‌ها را به‌عنوان یک منبع سالم و طبیعی برای تأمین مواد مغذی و توسعه محصولات فراسودمند به صنعت غذا ارائه کرده است [۳].

درحال حاضر استفاده از انواع میکروجلبک‌ها در غذاها و میان وعده‌های غذایی در کشورهایی مانند آلمان، فرانسه، ژاپن، ایالات متحده آمریکا، چین و تایلند به‌عنوان یکی از راهکارهای مقابله با سوتغذیه کودکان و سالمندان مطرح است [۳ و ٤]. همچنین، ریزجلبک‌ها برای تولید محصولات سالم‌تر بعنوان یک رنگ طبیعی جایگزین رنگهای مصنوعی خطرناک مورد استفاده قرار گرفته‌اند [٥]. *آرتروسپیراپلاتنسیس*[1] که اصطلاحا به آن *اسپیرولینا* اطلاق می‌شود یک ریزجلبک است که به‌دلیل داشتن متابولیت-های ثانویه غنی و متنوع (زیست فعال[2]) و رنگدانه‌ها مانند کاروتنوئیدها و فیکوبیلین[3]ها و ترکیب شیمیایی متعادل به‌عنوان "غذا-دارو"[4] در نظر گرفته می‌شود [٤ و ٦].

بیلی[5] (۲۰۰۸) با تعیین ترکیبات شیمیایی جلبک *اسپیرولینا* (کربوهیدرات، ١٦/٦، چربی، ٣/٦٪، پروتئین، ٤٤/٩٪ و خاکستر یا املاح معدنی، ٨/٩٪) این ریزجلبک را بعنوان یک مکمل دارای ارزش غذایی بالایی معرفی کرده است [٧]. همچنین FDA کلیه مکمل‌های ریزجلبک *اسپیرولینا* را به‌عنوان "کاملا امن شناخته شده[6]" تأیید کرده است و از این رو می‌تواند بعنوان یک منبع قابل اطمینان برای محصولات غذایی جدید در نظر گرفته شود [٨].

تنقلات میان وعده آماده که به‌دلیل بافت، طعم و شکل مطلوب از جذاب‌ترین محصولات مورد توجه کودکان است، اغلب دارای مواد مغذی کم و رنگ‌های با منشاء غیر طبیعی است که در دراز مدت منجر به سوء تغذیه و تهدید سلامت این قشر از جمعیت در حال رشد خواهد شد [٩].

مطالعات بسیاری در ارتباط با استفاده از *اسپیرولینا* در غنی سازی غذاها و میان وعده‌ها صورت گرفته است. برای مثال مورایس[7] و همکاران (٢٠٠٦)، در نوعی بیسکویت، سانتوس[8] و همکاران (٢٠١٦)، در نوشیدنی مخلوط برای سالمندان، جوشی[9] و همکاران (٢٠١٤)، لوکاس[10] و همکاران (٢٠١٨) و گلمکانی و همکاران (٢٠١٩) در میان وعده‌های اکسترود شده بر پایه غلات بطور موفقیت آمیزی گزارش شده است [٩، ١٠، ١١، ١٢ و ١٣].

ژله‌ها نیز یک میان وعده و دسر محبوب هستند که خواص

1. *Arthrospira platensis*
2. bioactive
3. phycobilins
4. nutraceuticals
5. Belay
6. Generally recognized as safe
7. Morais
8. Santos
9. Joshi
10. Lucas

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

فیزیکی-شیمیایی و حسی آنها در بسیاری از مقالات ثبت شده است [۱٤، ۱۵، ۱٦ و۱۷]. همچنین مطالعات بسیاری برای درک برهمکنش‌ها، تاثیر متغیرهای تولید بر بافت و ویژگی‌های حسی و بهبود کیفیت تغذیه‌ای آن توسط محققان گزارش شده است [۱، ۱۸، ۱۹ و۲۰]. فرمول کلی ژله‌ها از کنسانتره آب میوه، شکر، هیدروکلوئیدها، رنگ و اسانس و سایر افزودنی‌ها تشکیل شده است که معمولا نسبت آب میوه نباید کمتر از ۳۵ قسمت نسبت به سایر مواد باشد [۲۱]. درحال حاضر از سوی مراجع بهداشتی توصیه بر محدود کردن استفاده از رنگ‌های غیرآلی در فرآورده-های قنادی و میان وعده‌هایی مانند ژله‌ها است [۵]. بنابراین، تقاضای فزاینده‌ای برای رنگ‌های پایدار طبیعی در حال گسترش است که تأثیر منفی بر خصوصیات حسی و بافتی محصولات سنتی نداشته باشند. مکمل‌ها و جایگزین‌ها علاوه بر تأثیرات مثبت بر سلامتی در عین حال باید سطح بالایی از خواص حسی غذا مانند بافت، طعم، رنگ و بو را تضمین کنند [۳].

هدف از این مطالعه تحقیق در مورد بررسی احتمال جایگزینی درصدهای مختلف *اسپیرولینا* به‌عنوان یک ماده رنگی طبیعی جایگزین رنگ‌های با منشاء غیر طبیعی در فرمولاسیون ژله سیب و اثر احتمالی آن بر روی خواص حسی، بافتی، رئولوژیکی و رنگ آن است. انتظار می‌رود بتوان ژله سیب را به‌صورت طبیعی و سالم‌تر برای مصرف کنندگان طراحی و معرفی کرد. برای این منظور درصدهای مختلف *اسپیرولینا* به فرمول ژله سیب اضافه شده و اثر آن بر بافت و ویژگی‌های فیزیکی و حسی را با آزمون‌های رئولوژیکی، بافت سنجی، رنگ سنجی و آزمون‌های حسی بررسی گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد خام

سیب از واریته *زرد لبنانی* از بازار محلی خریداری شد. *اسپیرولینا* از شرکت (ریحان نقش جهان، ایران) و کاراگینان از برند تجاری (مارسل، فیلیپین) و اسید سیتریک بی آب (مرک، آلمان) تهیه شد.

۲-۲- استخراج آب میوه و فرآیند تغلیظ

فرآیند استخراج و تغلیظ طبق دستورالعمل گاریدو[1] (۲۰۱۵) صورت گرفت. سیب‌ها خرد و آسیاب شده و سپس با آب به نسبت یک به یک رقیق و سپس جهت غیر فعال سازی آنزیم پلی فنل اکسیداز تا ۹۰ درجه سانتیگراد بمدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه حرارت-دهی و سپس صاف شد. میزان مواد جامد کل مطلوب با جوشاندن و تبخیر آب میوه تا بریکس حدود ٦۵ با رفرکتومتر دستی تنظیم شد. pH مطلوب نیز با افزودن اسید سیتریک بی آب تنظیم شد [۲۱].

۲-۳- تهیه نمونه‌های ژل

چهار نمونه ژل، نمونه کنترل فاقد جلبک *اسپیرولینا* و نمونه‌های حاوی ۰/۷۵، ۱/۵ تا ۳٪ وزنی/وزنی طبق جدول ۱ تهیه شد. نسبت ترکیبات نمونه‌ها و حدود درصد جلبک براساس مطالعات گاریدو (۲۰۱۵) و باتیستا (۲۰۱۱) انتخاب شد [۲۱ و ۲۲]. مخلوط تا رسیدن به ماده جامد کل حدود g/kg ۷۰۰ (بریکس ۷۰) جوشانده شد. درنهایت نمونه‌ها برای انجام آزمون‌های بعدی بصورت داغ حدود ۹۰ درجه سانتیگراد در ظروف استریل و دارای برچسب بسته‌بندی و خنک شدند تا شبکه ژل تشکیل شود.

1. Guarrido

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

Table 1 Four apple jelly formulations (C, J1, J2, J3) as control sample without Spirulina sp. and samples containing 0.75% to 3% of Spirulina extract

Ingredient	C	J1	J2	J3
Juice proportion (g/kg)	500	500	500	500
Carrageenan g/kg	0.85	0.85	0.85	0.85
Spirulina extract	0	0.75	1.5	3
Synthetic color (cc)	1 cc	0	0	0
Final total solid	700	700	700	700

۲-٤- مطالعه رنگ

آنالیز رنگ به‌کمک دستگاه هانترلب (آمریکا، CIELAB,) و از طریق تعیین سه شاخص a*، b*، L* صورت پذیرفت. دستگاه با استفاده از کاشی سفید کالبیره شد. در این سیستم L*، معرف میزان روشنی نمونه و دامنه آن از صفر (سیاه مطلق) تا ۱۰۰ (سفید مطلق)، a* شاخص رنگ سبز و قرمز و دامنه آن از ۱۰۰- (سبز مطلق) تا ۱۰۰+ (قرمز مطلق) متغیر است. شاخص b* نیز معرف رنگ‌های آبی و زرد است و دامنه آن از ۱۰۰- (آبی مطلق) تا ۱۰۰+ (زرد مطلق) متغیر است.

متغیرهای ΔE تفاوت رنگ نمونه‌ها با نمونه شاهد، C* اشباع رنگ[1] و h* زاویه رنگ[2] نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی جلبک با استفاده از روابط ۲-۱ تا ۲-۳ محاسبه شد [۹ و۲۳].

$$= \sqrt{(L-L_0)^2+(a-a_0)^2+(b-b_0)^2} \quad (۲-۱)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2}+b^{*2}} \quad (۲-۲)$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (۲-۳)$$

۲-۵- آزمون رئومتری نوسانی پویا

خواص رئولوژیکی با رئومتر (اتریش، Anton MCR300 Paar) دارای یک پروب صفحه موازی (قطر ۵۰ میلی‌متر، شکاف=۲ میلی‌متر) در دمای محیط ۲±۲۳ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. نمونه بر روی صفحه رئومتر قرار داده شد سپس صفحه به موقعیت اندازه‌گیری نزدیک شد و نمونه اضافی برداشته شد. مدول‌های الاستیک G′ و ویسکوز G″ از اندازه-گیری‌های نوسانی پویا در کرنش ۱٪ و در دامنه ویسکوالاستیک خطی و در فرکانس‌های زاویه‌ای ۱۰۰ rad/s تا ۰/۱ برای همه نمونه‌ها تعیین شد [۲٤].

متغیرهای ویسکوالاستیک مانند مدول ذخیره G′، مدول اتلاف G″ و تانژانت افت tanδ و مدول ویسکوزیته کمپلکس η* در برابر فرکانس پایش و ثبت شد. η* طبق رابطه (۲-٤) متغیری وابسته به مدول کمپلکس G* است که متغیرهای مدول ذخیره G′ و مدول افت G″ طبق رابطه (۲-۵) در آن ادغام شده است.

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (۲-٤)$$

$$G^* = G' + i\,G'' \quad (۲-۵)$$

$$\tan\delta = \frac{G''}{G'} \quad (۲-٦)$$

همچنین مدول کمپلکس G* ویسکوزیته کمپلکس η* هر نمونه طبق روابط (۲-٤) و (۲-۵) محاسبه شد. درجات وابسته به فرکانس، n و m می‌تواند طبق روابط (۲-۷) و (۲-۸) با قانون توان شرح داده شود و برای تشخیص ماهیت ژل تشکیل شده کاربرد دارد [۲۵]. نمونه‌ها برای جلوگیری از تبخیر رطوبت تا زمان آزمون با یک لایه روغن پارافین پوشانده شدند.

$$G' = k\omega^n \quad (۲-۷)$$

$$G'' = l\omega^m \quad (۲-۸)$$

1. Chroma
2. Hue angle

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

۲-٦- آزمون بافت

ویژگی‌های بافتی ژله‌ها با آزمون آنالیز بافت TPA[1] با استفاده از بافت سنج (Brookfield CT3, USA) برای اندازه‌گیری و رسم منحنی نیرو-زمان در طی دو دوره فشردن استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در دمای محیط حدود ۲۵ درجه سانتیگراد پس از یک هفته و اطمینان از عدم تغییرات فیزیکی یا شیمیایی انجام گرفت. ژله‌ها در ظروف پلاستیکی با ارتفاع ۲۵ میلیمتر تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از پروب استوانه‌ای (قطر ۲۵ میلی‌متر) و با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و با تغییر شکل ۵۰٪ و نیروی ۰/۰۰۵ کیلوگرم فشرده و سپس پروب به موقعیت اصلی خود بازگردانده شد و به دنبال آن چرخه دوم "پایین و بالا" روی همان نمونه صورت گرفت. پارامترهای بافت با استفاده از نرم افزار TexturePro CT V1.5 تحلیل شد. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد [۲۵].

۲-۷- ارزیابی حسی

نمونه‌های ژله از نظر طعم، رنگ، بافت، طعم و مزه مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقبولیت کلی، با استفاده از مقیاس لذت هدونیک ۵ نقطه ای (۱= اصلا دوست ندارم و ۵= بسیار دوست دارم). نمونه‌ها توسط ۵۰ مصرف کننده در سنین مختلف که مورد آموزش قرار گرفتند به‌طور تصادفی و با فرم مخصوص ارزیابی محصول مورد ارزیابی قرار گرفتند [۲٦].

۲-۸- تحلیل آماری

تفاوت میانگین‌داده‌ها با تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) و آزمون توکی[2]، با سطح اطمینان ۹۵٪ ($p<0/05$) با استفاده از نرم افزار SPSS بررسی شد [۲۷].

1. Texture profile analysis
2. Tukey test

۳- بحث و نتایج

۳-۱- آزمون رنگ

رنگ یکی از پارامترهای مهم در بهبود کیفیت غذا و جذب مشتری است. متغیرهای ΔE، C^* و h^* نمونه شاهد و نمونه‌های حاوی جلبک و نتایج مربوط در جدول ۲ نشان داده شده است. چنان‌چه دیده می‌شود افزودن *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری همه متغیرهای رنگ را تغییر داده است. خصوصا با افزایش درصد افزودن جلبک تا ۳٪ متغیرهای L^*، b^* و C^* کاهش قابل توجهی دیده شد که نشان دهنده تیره‌تر شدن نمونه است.

نتایج مشابهی توسط فیگورا و همکاران (۲۰۱۱)، فرادیکو و همکاران (۲۰۱۰) و لوکاس و همکاران (۲۰۱۸)، به‌ترتیب در نان فاقد گلوتن، پاستای حاوی جلبک و اسنک حاوی جلبک *اسپیرولینا* و نمونه‌های کنترل فاقد جلبک گزارش شده است که L^* کمتری را گزارش نموده‌اند [۹، ۱۹ و ۲۸]. بر طبق نظر لوکاس[3] و همکاران (۲۰۱۵)، کاهش روشنایی و افزایش تیرگی می‌تواند مربوط به افزایش میزان پروتئین باشد [۹]. میزان h^* نمونه‌های حاوی جلبک بین قرمز a^*+ و زرد b^*+ قرار دارد که احتمالا بدلیل وجود رنگدانه ذاتی جلبک مانند کارتنوئیدهای آن است که در عصاره جلبک پایدار باقی می‌مانند [۲۳]. با توجه به تفاوت رنگی بارز بین نمونه‌ها اثر آن بر پذیرش مشتری دارای اهمیت بالایی است. تفاوت کلی رنگ بین نمونه‌ها با توجه به این که ٦ درجه تفاوت را متعلق به گروه‌های رنگی متفاوت دانسته‌اند، کاملا بارز است [۹].

3. Goes

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

Table 2 Color parameters of control sample and samples enriched with 0.75% to 3% of Spirulina extract (C, J1, J2, J3)

Samples	a*	b*	L*	ΔE	C*	h*
C	-6.34±0.24 [a]	10.85±1.02 [a]	27.04±1.08 [a]	0	12.56±1.00 [a]	-33.46±2.01 [d]
J1	-0.01±0.22 [b]	3.07±0.33 [b]	27.73±0.62 [a]	10.05±1.83 [c]	3.07±0.16 [b]	0.75±0.32 [a]
J2	-0.29±0.02 [b]	2.73±0.42 [b]	27.55±0.16 [a]	72.26±0.66 [b]	2.74±0.62 [b]	-6.03±0.92 [c]
J3	-0.02±0.00 [c]	1.6±0.22 [c]	24.74±1.30 [b]	97.17±1.98 [a]	1.6±0.43 [c]	-0.17±0.02 [b]

Means ± standard deviation. Different letters in the same line mean significant, differences between samples ($p < .05$). L*: Lightness; +a*: redness; -a*: greenness; +b*: yellowness; -b*: blueness; C*: Chroma; h*: hue angle; ΔE: Total color difference

۳-۲- خواص رئولوژیکی دینامیکی

از روش‌های آزمون مواد ویسکوالاستیک مانند ژل‌ها روش بنیادی رئومتری نوسانی پویا است که برای بررسی اثر افزودنی‌ها و فرآیندهای مختلف بر تغییر رفتار ویسکوالاستیک محصول در طی ایام نگهداری کاربرد دارد [۲٤]. در این آزمون متغیرهای ویسکوالاستیک مانند مدول ذخیره G'، مدول افت G'' و تانژانت افت $\tan\delta$ و مدول ویسکوزیته کمپلکس η^* در برابر فرکانس پایش و ثبت شد. چنانچه در شکل ۱ مشاهده می‌شود در کلیه نمونه‌ها میزان G' تقریبا یک واحد لگاریتمی بزرگتر از G'' و ($\tan\delta <$۱) بود و هیچ‌گونه تقاطعی بین منحنی‌های مدول افت و ذخیره نیز دیده نشد که با ماتریکس یک جامد ویسکوالاستیک مطابقت داشته و نشان دهنده رفتار یک ژل معمول در تمامی نمونه‌های بررسی شده است [۲٤].

همچنین در کلیه نمونه‌ها مدول ذخیره زیر محدوده کرنش بحرانی (۱٪) مستقل از فرکانس ثبت شد که مطابق با ویژگی‌های مواد غذایی دارای بافت جامد یا ساختاری است اما در فرکانس‌های بالاتر خصوصا نمونه حاوی جلبک ۳٪، مدول الاستیک یا ذخیره به فرکانس وابستگی بیشتری دیده شد. وابستگی بیشتر مدول ذخیره به فرکانس‌های بالاتر نشان دهنده رفتار مایع‌تر و تضعیف پیوندهای مولکولی نمونه ژلی است [۲۹].

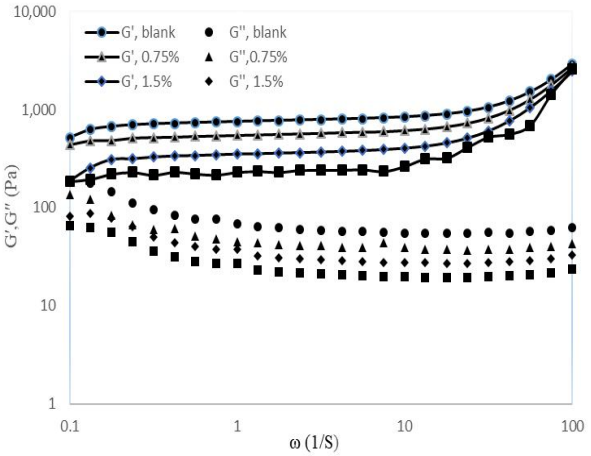

Fig1. Mechanical spectra: elastic modulus and viscous modulus of jellies as a function of frequency

مقادیر n و m درجات وابسته به فرکانس، در جدول ۳ ذکر شده است.

Table 3 law power parameters of control sample and samples enriched with 0.75% to 3% of Spirulina extract (C, J1, J2, J3)

Samples	$G' = k\omega^n$		$G'' = l\omega^m$	
	n	R^2	m	R^2
C	0.15	0.87	-0.14	0.86
J1	0.16	0.88	-0.13	0.87
J2	0.22	0.89	-0.14	0.88
J3	0.24	0.89	-0.15	0.86

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

چنانچه دیده می‌شود شاخص n با افزایش درصد جلبک (از ۰/۱۵ به ۰/۲٤) افزایش یافته که نشان دهنده کاهش استحکام ژل است. مقدار n بعنوان شاخص ماهیت ویسکوالاستیک به قدرت و ساختار بستگی داشته و برای ژل‌های کاملا الاستیک صفر است و با کاهش الاستیسیته، افزایش می‌یابد [۱٤، ۱۹ و۳۰]. این نتایج تصدیق کننده نتایج آزمون روبش فرکانس بود.

.

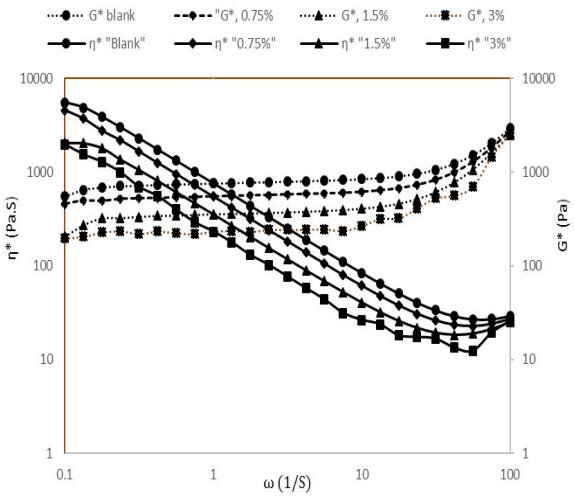

Fig 2 Complex modulus and dynamic viscosity of jelly samples as a function of frequency

این نتایج با نتایج باتیستا و همکاران (۲۰۱۱)، مطابقت ندارد که افزایش قابل توجه مدول‌های رئولوژیکی و تشکیل ساختمان ژلی قوی‌تری را در ژل‌های حاوی بیوپلیمرهای پروتئین/نشاسته/کاراگینان و جلبک‌های *هماتوکوکوس* و *اسپیرولینا* مشاهده و گزارش کردند. این محققان تاثیر بیشتر جلبک *هماتوکوکوس* را به درصد چربی بالاتر آن (٤۱٪) و دلیل تشکیل ژل‌های قویتر *اسپیرولینا* را هم به وجود کاتیون‌ها نسبت داده‌اند [۲۲]. در ترکیب شیمیایی میکروجلبک *اسپیرولینا* بصورت ذاتی میزان قابل توجهی از مینرال‌ها مانند پتاسیم، کلسیم و سدیم وجود دارند [۷]. اما نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج گوئنیر و همکاران (۲۰۰۸)، مطابقت دارد که ژل حاوی کاراگینان و نشاسته و جلبک *اسپرولینا* را بررسی و کاهش متغیرهای رئولوژیکی را گزارش نمودند. علت این امر و تضعیف ساختار ژل می‌تواند تاثیر ذرات بزرگ جلبک *اسپیرولینا* در گسیختگی شبکه باشد [۵]. همچنین *سیانوباکتر اسپیرولینا* فاقد دیواره سخت و حاوی ٦۰٪ ترکیبات پروتئینی داخل سلولی است که می‌تواند با قند و نشاسته طبیعی آب سیب در آبگیری رقابت کرده که ممکن است در مکانیسم ژله‌ای شدن اختلال ایجاد شده و عامل ضعف ساختار این ژل باشد [٦ و ۷].

در شکل ۲ نمودار لگاریتمی ویسکوزیته کمپلکس یا دینامیک و مدول کمپلکس در برابر فرکانس زاویه‌ای نشان داده شده است. ویسکوزیته کمپلکس*η که شاخص انعطاف پذیری و متغیر مهمی برای مطالعه ویژگی‌های رئولوژیکی ژل‌هاست، چنانچه دیده می‌شود با افزایش میزان جلبک در نمونه‌ها از ۰/۷۵ تا ۳٪ کاهش یافته است. شیب این نمودار نیز در تمامی نمونه‌ها در فرکانس‌های بالا اندکی کاهش یافته که نشان دهنده پدیده رقیق شوندگی با برش است [۳۰]. همچنین در کلیه نمونه‌ها مدول کمپلکس *G به فرکانس وابستگی نداشته و در نتیجه تغییر ناگهانی در رفتار نمونه‌های ژل دیده نمی‌شود. گراسی و همکاران (۱۹۹٦)، در ژل‌های ضعیف اسکلروگلوکان[1] وابستگی شدید مدول کمپلکس را به فرکانس‌های بالا بالا گزارش نموده‌اند [۲۹]. مقادیر تانژانت افت (tanδ) برای کلیه نمونه‌های ژل در محدوده ۰/۳۷ تا ۰/٤٤ محاسبه شد که نشان دهنده رفتار الاستیک غالب نمونه‌ها و تایید کننده سایر نتایج بود. مقادیر tanδ بزرگتر از یک ویژگی‌های مایع‌تر و کمتر از یک نشان دهنده ویژگی‌های جامدتر است [۲٤].

۳-۳- آزمون تست بافت

آنالیز پروفایل بافت[2] (TPA) شامل آزمون دوبار فشرده شدن یک نمونه غذایی در جهت عمودی است که در واقع تقلید کننده عمل فک است . نتایج منحنی نیرو-زمان آنالیز پروفایل بافت نمونه‌های ژله سیب حاوی کاراگینان و غلظت‌های مختلف *اسپیرولینا* در جدول ٤ نشان داده شده است. رنج تقریبی مقادیر آزمایشگاهی متغیرهای سختی، چسبندگی، فنریت یا الاستیسیتی، پیوستگی، صمغی بودن و قابلیت جویدن بترتیب ٤/۱۹۷۵- ۲/٦۱ نیوتن، ۰/۰۰۱۹- ۰/۰۰۲ نیوتن متر، ۲۱/۹۱- ۱۹/٦۲ میلی‌متر، ۰/۱٤- ۰/۱۹ نیوتن، ۰/٦۷-۰/۵ نیوتن، ۱٤/۷۰- ۹/۹۰ میلی ژول اندازه-گیری شد که در محدوده داده‌های گزارش شده توسط سایر

1. Scleroglucan
2. Texture profile analysis

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

محققان ژله و مربا قرار دارد [۱٤- ۱٦، ۱۸، ۲۰ و ۲۱]. متغیرهای بافت حاصل از منحنی نیرو-زمان توسط بورنه و همکاران (۲۰۰۲)، تشریح شده است [۳۲]. متغیر سختی بیشینه نیروی به‌کار رفته در اولین دوره فشردن تعریف شده و به‌عنوان قدرت ژل در نظر گرفته می‌شود و در آزمون حسی نیز سختی، به نیروی مورد نیاز برای فشردن یک نمونه غذایی بین دندان‌ها در اولین گاز زدن تعریف می‌شود [۳۲]. چنانچه بسادگی در جدول ٤ مشاهده می‌شود قدرت ژل بطور نسبتا قابل توجهی با افزایش غلظت جلبک کاهش یافته است. نمونه شاهد دارای بالاترین سختی بوده و نمونه حاوی بیشترین جلبک بطور قابل توجهی از استحکام آن کاسته شده است. چسبندگی[1] (A) بیان کننده کار لازم برای بیرون کشیدن پروب از نمونه است. در آزمون حسی نیز این صفت بیان کننده کار لازم برای غلبه بر نیروی جذب بین سطح غذا و سطوح در تماس مانند سطح دهان و دندان و زبان است. نتایج بدست آمده روندی مشابه متغیرسختی را نشان داد به‌طوری‌که با افزایش غلظت جلبک میزان چسبندگی کاهش معنیداری را نشان داده است. فیتزمن[2] و داماسیو[3] (۲۰۰۰)، با انجام آزمون TPA بر روی ژل‌های کاپاکاراگینان و لوبیای لوکاست حاوی و فاقد حضور قند افزایش معنی‌دار در متغیر چسبندگی ژل‌های حاوی قند مشاهده کردند [۲٦].

میزان فنریت[4] (S) یا الاستیسیتی به ارتفاعی که غذا در طی زمان پس از انتهای اولین گاز و آغاز دومین گاز جبران می‌کند اطلاق می‌شود و بیانگر نرخی است که یک ماده تغییر شکل یافته پس از حذف نیرو به شرایط قبل از تغییر شکل باز می‌گردد. الاستیسیتی یا فنریت بعنوان تغییر شکل کلی نمونه در دومین گاز و درجه الاستیسیتی بعنوان نسبت بین تغییر شکل قابل جبران و برگشت به تغییر شکل فشردگی کلی تعریف می‌شود [۱۸]. چنان‌چه در جدول ٤ دیده می‌شود فنریت یا الاستیسیتی نیز با افزایش درصد جلبک نهایتا کاهش یافته است. اما نمونه شاهد با وجود سختی بیشتر دارای فنریت کمتری نسبت به نمونه دارای ۰/۷۵٪ جلبک است. فنریت کمتر نمونه شاهد می‌تواند مربوط به ساختار سخت‌تر ژل و مقاومت بیشتر در برابر متراکم کردن و فشردن است که درنتیجه موجب تغییر شکل کمتر و بازیافت کمتر ژل است. چنین نتیجه‌ای توسط موسوی و همکاران (۲۰۱۹)، نیز مشابها گزارش شده است. کمترین الاستیسیتی مربوط به نمونه حاوی بیشترین درصد جلبک بود. (Co) پیوستگی[5]، بیان کننده قدرت پیوند داخلی ماده غذایی که بدنه محصول غذایی را تشکیل می‌دهد است و رابطه عکس با نرخ شکستن ماده غذایی در یک عملیات مکانیکی دارد. بعبارت دیگر هر چه پیوستگی یک ماده کمتر باشد آن ماده شکننده‌تر است. چنان‌چه دیده می‌شود با افزایش درصد جلبک این شاخص افزایش یافته است. این مساله می‌تواند بدلیل مایع‌تر شدن نمونه و کاهش نرخ شکنندگی نسبت به نمونه ژل جامدتر باشد. چنین نتیجه‌ای توسط ولف[6] و همکاران (۲۰۰۹)، نیز گزارش شده است [۳۳]. صمغی بودن[7] (G) بیان کننده انرژی لازم برای گسیختن یک ماده غذایی نیمه جامد است تا برای بلعیدن مناسب شود. داده‌های مربوط به این متغیر نشان دهنده کاهش صمغی بودن نمونه‌ها با افزایش درصد جلبک بود که با سایر متغیرهای بافتی مطابقت دارد. معمولا در متون علمی صمغی بودن برای غذاهای نیمه جامد و قابلیت جویدن برای غذاهای جامد کاربرد دارد [۳۲]. بدلیل ماهیت جامد بودن برخی نمونه‌ها و نیمه جامد بودن برخی نمونه‌ها در این تحقیق هر دو متغیر مورد بررسی قرار داده شد. قابلیت شکستن[8] (F) بصورت اندازه‌گیری نحوه سهولت شکسته شدن یک ماده (شکنندگی) تعریف می‌شود. در این آزمون‌ها برای گزارش قابلیت شکستن پیک مشخصی در نیروی وارده در سیکل اول فشردگی برای تعیین نقطه شکست دیده نشد. برخی محصولات نمی‌شکنند و فاقد این مشخصه هستند که عدم تشخیص قابلیت شکستن نمونه‌های ژله‌ای توسط برخی محققان نیز گزارش شده است [۳۳ و ۳٤]. بطورکلی با بررسی داده‌های بدست آمده در آزمون بافت می‌توان گفت این نتایج و روند بدست آمده مطابق آزمون‌های دینامیک رئولوژی است و نتایج این دو آزمون یکدیگر را حمایت می‌کنند.

1. Adhesiveness
2. Fiszman
3. Damasio
4. Springiness
5. Cohesiveness
6. Wolf
7.Gumminess
8. Fracturability

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

Table 4 Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess and chewiness of the jellies without and with different percentages of spirulina microalgae extract

	C	J1	J2	J3
Hardness (N)	4.75 ± 0.26 [a]	4.34 ± 0.1 [ab]	4.07±0.12 [b]	2.61±0.15 [c]
Adhesiveness (N.m)	0.0029 ± 0.0001 [a]	0.0028 ± 0.0001 [a]	0.0025 ± 0.0001 [b]	0.0020 ± 0.0001 [c]
Springiness (mm)	21.91± 0.84 [ab]	22.62 ± 0.24 [a]	21.26 ± 0.14 [b]	19.62 ± 0.61 [c]
Cohesiveness (N)	0.14 ± 0.08 [a]	0.15 ± 0.04 [a]	0.18 ± 0.12 [b]	0.19 ± 0.34 [b]
Gumminess (N)	0.75 ± 0.14 [a]	0.67 ± 0.18 [a]	0.59 ± 0.06 [b]	0.50 ± 0.16 [b]
Chewiness (mJ)	17.00 ± 1.26 [a]	14.70 ± 1.06 [b]	12.60 ± 0.92 [c]	9.90 ± 0.96 [d]

Means ± standard deviation. Different letters in the same line mean significant, differences between samples ($p< .05$).

۳-٤- ارزیابی حسی

در بررسی آماری نتایج حسی دیده شد متاسفانه امتیازات حسی صفاتی مانند بافت، طعم و عطر و رنگ نمونه‌های J2 و J3 با بیشترین غلظت جلبک، کاهش معنی‌دار را نشان دادند که در نهایت پذیرش کلی محصول را تحت تاثیر قرار داده است.

Table 5 Sensorial data of the jellies samples without and with different percentages of spirulina microalgae extract (C, J1, J2, J3)

	C	J1	J2	J3
Flavor	4.6±0.51 [a]	4.3±0.48 [a]	4.4±0.51 [ab]	3.8±0.92 [b]
Taste	4.7±0.48 [a]	4.2±0.63 [ab]	4.0±0.51 [bc]	3.5±0.97 [c]
Color	4.9±0.32 [a]	4.3±0.48 [b]	4.2±0.63 [bc]	3.7±0.80 [c]
Texture	4.3±0.48 [a]	4.2±0.42 [a]	4.1±0.31 [ab]	3.7±0.67 [b]
Overall acceptability	4.7±0.48 [a]	4.3±0.48 [ab]	4.1±0.31 [b]	3.6±0.51 [c]

Means±standard deviation. Different letters in the same line mean significant, differences between samples ($p< .05$).

رنگ که در این تحقیق بطور ویژه مورد بررسی قرار گرفته است و یکی از مهمترین صفات در جذابیت محصولات ژله‌ای خصوصا در کودکان است متاسفانه مقبولیت کمی را در نمونه‌های دارای درصد جلبک بیشتر نشان داده است. این نتیجه با نتیجه محققانی که در اسنک و بیسکوییت و پاستا حاوی جلبک *اسپیرولینا* امتیازات حسی بالایی را ثبت نموده‌اند مغایرت دارد [٤]. این مساله نشان‌دهنده اینست که استفاده از عصاره جلبک در محصول ژله نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتر و اعمال تغییرات در فرمولاسیون و یا فرآیند است. همچنین ارائه اطلاعات و افزایش آگاهی‌های مصرف کنندگان برای حذف رنگ‌های مصنوعی در تنقلات غذایی ضروری بنظر می‌رسد.

٤- نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد اضافه کردن جلبک اسپیرولینا به فرمولاسیون ژله سیب بطور معنیداری رنگ، خواص حسی، بافت و ویژگی‌های رئولوژیکی آنرا تحت تاثیر قرار داد. با افزایش درصد جلبک *اسپیرولینا* متغیرهای رنگ کاهش یافتند که نشان دهنده تیرگی محصول غنی شده بود. همچنین مطالعه متغیرهای رئولوژیکی مانند مدول الاستیسیته، شاخص‌های n و m، تانژانت افت، مدول ویسکوزیته دینامیک و مدول کمپلکس نشان داد با وجود این‌که کلیه نمونه‌ها رفتار غالب جامد الاستیک یا یک ژل معمول را بروز دادند اما در نمونه‌های حاوی غلظت بیشتر جلبک، در فرکانس‌های بالاتر کاهش استحکام ساختار ژل رفتار مایع‌تر دیده شد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

همچنین نتایج تست بافت نشان داد میزان سختی، چسبندگی، الاستیسیته و صمغی بودن کاهش و میزان پیوستگی افزایش یافته است که تایید کننده روند نتایج آزمون نوسانی دینامیک بود. همچنین با افزایش درصد جلبک امتیاز نتایج حسی کاهش یافت. بنابراین بطورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد با وجود این‌که افزودن ریزجلبک *اسپیرولینا* دارای رنگدانه طبیعی می‌تواند قابلیت استفاده و جایگزینی با رنگ‌های غیر طبیعی در ژله سیب را داشته باشد، اما چنان‌چه دیده شد افزودن آن به فرمولاسیون ژله موجب کاهش متغیرهای کیفی رئولوژیکی، بافت، رنگ و خواص حسی شده است. بنابراین تحقیقات بیشتری برای درک بهتر مکانیسم تشکیل ژل این میکروجلبک و نحوه برهمکنش آن با سایر بیوپلیمرهای حاضر در ماتریکس ژل و تاثیر شرایط فرآیند مانند دمای حرارت‌دهی و سرعت سرد کردن ضروری است.

۵-منابع

[1] Witczak, M., Jaworska, G., Witczak, T. 2020. Rheological and colour properties of apple jellies supplemented with inulin with various degrees of polymerization, International Journal of Food Science and Technology. 55, 1980-1991.

[2] Pulz, O., Gross, W. 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae, Applied Microbial Biotechnology. 65, 635–648.

[3] Becker, E.W. 2004. Microalgae in human and animal nutrition. In: Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, pp. 312–351.

[4] Bernaerts, T.M., Gheysen, M., Foubert, L., Hendrickxa, M. E., Van Loeya, A. M. In press. The potential of microalgae and their biopolymers as structuring ingredients in food: A review, Biotechnology Advances.xxx-xxx.

[5] Gouveia, L., Batista, A.P., Raymundo, A., Bandarra, N. 2008. Spirulina maxima and Diacronema vlkianum microalgae in vegetable gelled desserts, Nutritunal Food Science. 38, 492–501.

[6] Batista, A. P., Gouveia, L., Nunes, M. C., Franco, J. M., Raymundo, A. 2008. Microalgae biomass as a novel functional ingredient in mixed gel systems. In P. A. Williams, & G. O. Phillips (Eds.), Gums and stabilisers in the food industry, Vol. 14 (pp. 487-494). RSC Publishing.

[7] Belay, A. 2008. Spirulina (Arthrospira): production and quality assurance. In M. E. Gershwin, & A. Belay (Eds.), Spirulina in human nutrition and health (pp. 1-26). CRC Press.

[8] Food and Drug Administration (FDA). 2002. GRAS notification for Spirulina microalgae.

[9] Lucas, B.F., de Morais, M.G., Santos, T.D., Costa, J.A.V. 2018. Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations, LWT- Food Science Technology. 90, 270–276.

[10] Morais, M. G., Miranda, M. Z., & Costa, J. A. V. 2006. Biscoitos de chocolate enriquecidos com Spirulina platensis: Características físico-químicas, sensoriais e digestibilidade, Alimentos e Nutriço, 17(3), 323–328.

[11] Santos, T. D., Bastos de Freitas, B. C., Moreira, J. B., Zanfonato, K. 2016. Development of powdered food with the addition of Spirulina for food supplementation of the elderly population, Innovative Food Science & Emerging Technologies. 37, 216-220.

[12] Joshi, S.M.R., Bera, M.B., Panesa, P.S. 2014. Extrusion Cooking of Maize/Spirulina Mixture: Factors Affecting Expanded Product Characteristics and Sensory Quality, Journal of food processing and preservation. 38(2), 434-439.

[13] Golmakani, M., Soleimanian-Zad, S., Alavi, N., Nazari, E., Eskandari, M.H. 2019. Effect of Spirulina (Arthrospira platensis) powder on probiotic bacteriologically acidified feta type cheese, Journal of Applied Phycology. 31, 1085–1094.

[14] Foegeding, E. A. 2007. Rheology and sensory texture of biopolymer gels, Current Opinion in Colloid & Interface Science. 12(4-5), 242–250.

[15] Moritaka, H., Naito, S., Nishinari, K., Ishihara, M., Fukuba, H. 1999. Effects of gellan gum, citric acid and sweetener on the texture of lemon jelly, Journal of Texture Studies. 30, 29-41.

[16] Royer, G., Madieta, E., Symoneaux, R., Jourjon, F. 2006. Preliminary study of the production of apple pomace and quince jelly,

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

[26] Fiszman, S.M., Damasio, M.H. 2000. Suitability of single-compression and TPA tests to determine adhesiveness in solid and semi-solid foods, Journal of Texture Studies. 31, 55-68.
[27] Montgomery, D. C. 2009. Design and analysis of experiments (8th ed.). Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
[28] Fradique, M., Batista, A.P., Nunes, M.C., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Raymundo, A. 2013. Isochrysis galbana and Diacronema vlkianum biomass incorporation in pasta products as PUFA's source, LWT-Food Science Technology. 50, 312–319.
[29] Grassi, M., Lapasin, R., Sabrina, P. 1996. Study of the rheological behavior weak gel systems of scleroglucan, Carbohydrate Polymers. 29, 169-181.
[30] Ikeda, S., Foegeding, E. A., Hagiwara, T. 1999. Rheological study on the fractal nature of the protein gel structure, Langmuir. 15, 8584–8589.
[31] Mousavi, S. M. R., Rafe, A., Yeganehzad, S. 2020. Structure-rheology relationships of composite gels: Alginate and Basil seed gum/guar gum, Carbohydrate Polymers. 232, 109-115.
[32] Bourne, M. C. 2002. Principles of objective texture measurement. In S. L. Taylor (Ed.), Food texture and Viscosity: Concept and measurement (pp. 182-186). San Diego: Academic Press.
[33] Wolf, C.L., Beach, S., La Velle, W.M., Clark, R.C. 1989. Gellan gum/gelatin blends. US Patent 4876105.
[34] Rahman, M. S., Al-Mahrouqi, A. I. 2009. Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels, International Journal of Food Sciences and Nutrition. 12, 114-118.
LWT Food Science and Technology. 39, 1022-1025.
[17] Genovese, D. B., Ye, A., Singh, H. 2010. High methoxyl pectin/apple particles composite gels: effect of particle size and particle concentration on mechanical properties and gel structure, Journal of Texture Studies. 41(2), 171-189.
[18] Acosta, O., Víquez, F., Cubero, E. 2008. Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology, Food Quality and Preference. 19, 79-85.
[19] Figueroa, L. E., Genovese, B. 2019. Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product, LWT-Food Science and Technology. 111, 423–424.
[20] Khouryieh, H. A., Aramouni, F. M., Herald, T. J. 2005. Physical, chemical and sensory properties of sugar-free jelly, Journal of Food Quality. 28, 179-190.
[21] Garrido, J.I. Lozano, J.E., Genovese, D.B. 2014. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization, LWT-Food Science and Technology.1-8.
[22] Batista, A.P. Nunes, M.C. Raymundo, A. Gouveia, L. Sousa, I. Cordobés, F. Guerrero, A. Franco, J.M. 2011. Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems, Food Hydrocolloids. 25, 817-825.
[23] Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M. Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis.
[24] Chen, Y., Liao, M. L., Dunstan, D. E. 2002. The rheology of k-carrageenan as a weak gel, Carbohydrate Polymers. 50, 109-116.
[25] Rafe, A., Razavi, S. M. 2017. Scaling law, fractal analysis and rheological characteristics of physical gels cross-linked with sodium tri metaphosphate, Food Hydrocolloids. 62, 58–65.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Rheological, textural sensorial and color properties of apple jellies supplemented with *Spirulina sp.*

Azad Fallah, S. [1], Kafili, T. [2*]

1. Department of Food Science and Engineering, Buinzahra Branch, Islamic Azad University, Buinzahra, Iran
2. Department of Food Science, Technology and Engineering, Buinzahra Branch, Islamic Azad University, Buinzahra, Iran

ARTICIE INFO

Article History:

Received 2020/ 10/ 13
Accepted 2021/ 01/ 05

Keywords:

Apple jelly,
Texture,
Rheological properties,
Spirulina sp.

DOI: **10.52547/fsct.18.05.08**

*Corresponding Author E-Mail:
mgolifood@yahoo.com

ABSTRACT

The aim of this work was to develop an enriched apple jelly with *Spirulina sp.* Four formulations were developed: C, J1, J2, J3 with 0, 0.75, 1.5 and 3% Spirulina sp. and their rheological, textural, color and sensorial properties were evaluated. The results showed that all samples presented predominant behavior of the elastic solid. Also, the non-intersection of the loss and storage modulus curves at the applied frequencies showed the behavior of a typical gel. Also, in all samples, the dependence of the storage modulus on the frequency was not observed, but in larger frequencies, especially the storage modulus of sample with higher percentage of spirulina algae, decreased, indicating a more liquid behavior. Indicators n and m also confirmed such behavior, decreasing the strength of gel structure with increasing spirulina concentration. The data obtained from the force-time curve showed that even though the variables of all samples were within the range of a typical jelly, but increasing spirulina algae content decreased the hardness, adhesiveness elasticity, gumminess and increased cohesiveness. These results follow the trend of those obtained by dynamic rheology. Also, the results related to the sample color showed that the addition of spirulina in 1.5 and 3% percentages significantly decrease the variables L*, b* and C* especially in the sample with 3% algae, presenting a darker sample. The overall color difference between the samples also was more than 6 degrees, which detected different color groups. Sensorial scores of samples, mainly color and overall acceptance also reduced with increasing the percentage of microalgae.
In general, it can be concluded that incorporating of Spirulina in the apple jelly regarding to its negative effect on the most evaluated parameters, requires further research and a better understanding of its gel formation mechanism to optimize the formulation and process treatments.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOI: 10.52547/fsct.18.114.83]