نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۳۹۵ ص.۳۳-۲۱

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 12, No. 1, Apr. May. 2016, p. 21- 33

بررسی سطوح مختلف ریزجلبک *Spirulina platensis* بر ریز ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی پاستیل کیوی

اسماعیل خزایی پول[۱]، فخری شهیدی[۲*]، سید علی مرتضوی[۳]، محبت محبی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۱۵

چکیده

Spirulina platensis یکی از بهترین ریزجلبک‌های غذایی است که از سوی سازمان بهداشت جهانی به‌عنوان غذایی برتر شناخته شده است و می‌تواند جهت تولید غذاهای عملگر استفاده شود. در این پژوهش تولید فرآورده‌ای نوین از کیوی تحت عنوان پاستیل کیوی و غنی‌سازی آن با ریزجلبک *Spirulina platensis* مورد مطالعه قرار گرفت. اثر سطوح مختلف *Spirulina platensis* در پنج سطح (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد) بر میزان رطوبت، پارامترهای بافت، خصوصیات حسی، ترکیبات شیمیایی و مغذی بررسی گردید. نتایج نشان داد در اثر افزودن اسپیرولینا رطوبت به شکل معنی‌داری افزایش یافت. نتایج آنالیز بافت نشان داد که با افزایش اسپیرولینا سختی و قابلیت جویدن افزایش یافت، در حالی که پیوستگی نمونه‌ها روند کاهشی داشت. با افزایش اسپیرولینا میزان پروتئین، ویتامین ث، خاکستر تام، آهن و کلسیم افزایش یافت. نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی ریز ساختار نشان داد افزودن اسپیرولینا منجر به کاهش یکنواختی ساختار نمونه‌ها شده و شبکه ژلی با منافذ بزرگتری تشکیل گردید. نتایج ارزیابی حسی نشان داد نمونه‌های حاوی ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا ویژگی‌های حسی (رنگ، آروما، طعم و پذیرش کلی) بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها داشتند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز بافت، ارزیابی حسی، *Spirulina platensis*، پاستیل کیوی، میکروسکوپ الکترونی.

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و کاهش زمین‌های کشاورزی، می‌توان جلبک‌ها را بعنوان منابع غذایی طبیعی در نظر گرفت. جلبک‌ها و ریزجلبک‌ها به صورت بالقوه منبع بزرگی از ترکیباتی هستند که می‌توانند جهت تولید مواد اولیه غذاهای عملگر استفاده شوند (Selvam *et al*, 2002). در بین گونه‌های شناخته شده جلبک‌ها *Chlorella vulgaris* و *Spirulina platensis* ریزجلبک‌های خوراکی رایج و بدون عوارض جانبی می‌باشند. الگوی اسیدهای آمینه، کربوهیدرات‌ها و اسیدچرب‌های موجود در ریز جلبک‌ها با پروتئین‌های مواد غذایی دیگر تطابق زیادی دارند (Vyssoulis *et al*, 2001). اسپیرولینا از جمله ریزجلبک‌های چند سلولی و رشته‌ای سبزآبی است. شکل مارپیچی و رشته‌ای، ویژگی ژنتیکی این جلبک به شمار می‌رود. اسپیرولینا اتوتروف و فتوسنتز کننده بوده و از طریق تقسیم دوتایی تکثیر می‌یابد (Vonshak, 2002). اسپیرولینا برای قرن‌های متمادی بعنوان غذا مصرف شده است. آزمایش‌های سم‌شناسی متعددی که با حمایت‌های مالی سازمان ملل انجام پذیرفته، ایمنی آن را اثبات نموده است و بعد از تأیید سازمان غذا دارو[۵]، به عنوان GRAS[۶] معرفی کرده اند (shety *et al*, 2006).

Spirulina platensis یکی از نوید بخش‌ترین ریزجلبک‌ها می‌باشد که از سوی سازمان بهداشت جهانی[۷] بعنوان برترین غذای روی زمین و بهترین راه حل برای آینده اعلام گردیده است. ترکیب پودرهای تجاری زیست توده اسپیرولینا عمدتا متشکل از ۷۰-۶۰ درصد پروتئین، ۲۳-۲۰ درصد کربوهیدرات، ۶-۴ درصد چربی، ۸-۵ درصد مواد معدنی و ۶-۳ درصد رطوبت است که باعث می‌گردد به عنوان ماده غذایی کم کالری، با میزان چربی کم و منبع خوب پروتئینی محسوب گردد. اسپیرولینا منبع غنی از پروتئین، اسید چرب‌های ضروری، ویتامین‌ها خصوصا ویتامین B_{12} و پیش‌ساز ویتامین A، مواد معدنی بخصوص آهن و کلسیم می‌باشد. اسپیرولینا

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۲، ۳ و ۴- استادان گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: (Email: Fshahidi@um.ac.ir

5 Food and drug administration (FDA)
6 Generally Recognized As Safe
7World Health Organization (WHO)

حاوی رنگدانه فایکوسیانین[1] است که اثر آنتی‌اکسیدانی و درمانی آن اثبات شده است (Sajilata *et al*, 2008). مطالعات متعددی تأیید کرده‌اند که اجزای مختلف اسپیرولینا مثل فایکوسیانین، سلنیوم، کارتنوئیدها و اسید چرب گاما لینولنیک دارای آثار آنتی‌اکسیدانی و قابلیت حذف رادیکال قابل توجهی هستند. در نتیجه، اسپیرولینا عامل بالقوه‌ای جهت تیمار بیماری‌های القا شده به وسیله تنش‌های اکسیداسیونی، آلرژی‌ها، ویروس‌ها، بیماری‌های سیستم ایمنی، بیماری‌های کبدی و سرطان‌ها می‌باشد (shety *et al*, 2006).

کیوی با نام علمی *اکتینیدیا دلیسیوسا*[2] از میوه‌های متعلق به خانواده اکتینیدیاسه[3] می‌باشد. ایران چهارمین تولیدکننده عمده کیوی در دنیا محسوب می‌شود (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۳۸۶). کیوی از جمله میوه‌هایی است که دارای مواد مغذی بالا و میزان کالری پایین می‌باشد. بر اساس تحقیقات بعمل آمده در سازمان جهانی غذا، موقعیت کیوی پس از موز، مرکبات و سیب، چهارمین میوه مورد علاقه مردم دنیا است (Ferguson *et al*, 2003). به دلیل عدم رعایت اصول صحیح برداشت، بسته‌بندی، حمل و نقل و انبارداری میزان ضایعات پس از برداشت این میوه ۳۳- ۲۴ درصد اعلام گردیده است. همچنین حدود ۶۰ درصد از میوه‌های تولید شده ریز و مقدار قابل توجهی از آن بد شکل و آسیب دیده می‌باشد (وزارت جهاد کشاورزی،۱۳۸۸)، بنابراین می‌توان با تبدیل کیوی به فراورده‌های نوین ضمن افزایش ارزش افزوده تا حدودی از ضایعات آن جلوگیری نمود.

صمغ‌ها و هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون تنقلات میوه‌ای برای ایجاد بافت جدید، افزایش پایداری آنها به دلیل قابلیت نگهداری آب، بهبود بافت، تاثیر بر رهاسازی طعم و سایر ویژگی‌های ساختاری و حسی در فراورده مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gordon *et al.*, 1990). در هیدروکلوئیدها، عوامل غیر ژلی و افزایش‌دهنده ویسکوزیته با عوامل ژل‌دهنده به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، تا بدین ترتیب ویسکوزیته را افزایش داده یا خواص بهتر ژل‌ها مانند الاستیسیته بیشتری را ایجاد کنند (یارمند و هاشمی روان، ۱۳۸۷). در برخی پژوهش‌های انجام شده از مخلوط آگار و سایر هیدروکلوئیدها در فراورده‌های میوه‌ای ژله‌ای استفاده شده است، که این سیستم‌های ژل، اساسا از صمغ، پالپ یا پوره میوه، شیرین‌کننده و اسید تشکیل یافته است (Lodge., 1981). آگار از جلبک‌های قرمز جنس جلیدیوم[4] استخراج می‌گردد. ساختمان شیمیایی آگار متشکل از واحدهای β- D- گالاکتوپیرانوز و ۳،۶-انهیدرو- L -a- گالاکتوپیرانوز می‌باشد. آگار شامل دو گروه پلی‌ساکارید آگارز و آگاروپکتین است. آگارز دارای خاصیت ژل‌کنندگی و پلی‌ساکارید خنثی (غیریونی) است و آگاروپکتین پلی‌ساکارید غیرژله‌ای یونیک (باردار) است (Araki, 1958). صمغ گوار از آندوسپرم گیاه گوار پس از جداکردن پوسته و جوانه بدست می‌آید. از نظر ساختار شیمیایی این صمغ زنجیره خطی به صورت یک در میان از β- D- مانوپیرانوزیل با پیوندهای ۴-۱و گروه α- D -گالاکتوپیرانوزیل با پیوندهای ۶-۱ می‌باشد که نسبت D-گالاکتوز آن به D- مانوز ۱ به ۲ است. به عبارتی دیگر گوار نوعی گالاکتومانان بلند زنجیر با جرم مولکولی زیاد می‌باشد (Williams and PHillips, 2000). استفاده از دو یا چند صمغ در فرمولاسیون مواد غذایی، روشی معمول برای استفاده از اثر ترکیبی آنهاست. کیفیت فراورده بر حسب اثر سینرژیستی صمغ‌ها بهبود می‌یابد و صرفه‌جویی اقتصادی را نیز در بر دارد (Gelisman, 1982). Ben-zio و همکاران (۱۹۹۷)، در بررسی ویژگی‌های میکانیکی ژل‌های میوه‌ای، به اثر سینرژیستی آگار و گوار اشاره کرده‌اند. همچنین لوسیزین و همکاران (۲۰۰۹) در بخشی از پژوهش خود به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی آگار/گالاکتومانان (گوار و صمغ لوکاست) پرداختند که نتایج آنها اثر سینرژیستی این هیدروکلوئیدها را با یکدیگر مورد تأیید قرار می‌دهد. خزایی و همکاران (۱۳۹۲) اثر سطوح مختلف هیدروکلوئیدهای آگار و گوار را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی پاستیل کیوی مورد بررسی قرار دادند که نتایج این تحقیق نشان داد آگار و گوار اثر هم‌افزایی روی بافت نمونه نهایی خواهد داشت. شهیدی و همکاران (۲۰۰۹)، طی پژوهشی ارتباط بین ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر نمونه‌های پاستیل سیب را با استفاده از روش پردازش تصویر با ویژگی‌های حسی مورد مطالعه قرار دادند. همچنین شهیدی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای دیگر امکان تولید پاستیل میوه‌ای بر پایه پوره سیب را مورد بررسی قرار دادند.

قابلیت ترکیب زیست توده ریزجلبک‌ها با سامانه‌های غذایی بستگی به نوع فرایند و شدت آن (مثل فرایندهای حرارتی و مکانیکی)، طبیعت ماده‌غذایی (مثل امولسیون ، ژل، سامانه‌های خمیری هوادهی شده) و همچنین واکنش‌های بین ترکیبات غذایی (پروتئین، پلی‌ساکارید، لیپیدها، قندها و نمک‌ها) دارد. در کنار خواص رنگ‌زا و اهداف تغذیه‌ای، ترکیب ریزجلبک‌ها با غذاها ممکن است تغییرات معنی‌داری در خواص ریز ساختاری و رئولوژیکی مواد غذایی ایجاد نماید (Gouveia *et al*, 2006).

بنظر می‌رسد کیوی به لحاظ دارا بودن مواد مغذی متعدد، اسیدهای آلی، طعم و آروماى مطلوب و مورد پسند بتواند به عنوان یک ترکیب اصلی در فرمولاسیون این دسته از مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این پژوهش بررسی امکان تولید فراورده‌ای نوین بر پایه کیوی و غنی‌سازی آن با ریز جلبک *Spirulina platensis* بود تا این فراورده بتواند جایگزین برخی تنقلات رایج، به

1 PHycocyanin
2 Actinidia deliciosa
3 Actinidiacea
4 Glidium

ویژه پاستیل‌های متشکل از رنگ و طعم دهنده‌های مصنوعی که علی رغم ارزش تغذیه ای پایین و ایجاد عوارض گوناگون، مصرف آنها روز به روز در حال افزایش است، گردد.نقش ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی در تولید فراورده‌های نوین بسیار حائز اهمیت است که می‌تواند تولیدکنندگان را در طراحی مناسب محصول یاری کند. از این رو در این پژوهش ضمن فرمولاسیون پاستیل میوه ای بر پایه کیوی و غنی سازی آن با ریزجلبک *Spirulina platensis*، برخی و فیزیکوشیمیایی این فراورده نیز بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد اولیه شامل پوره کیوی، ریزجلبک *Spirulina platensis*، هیدروکلوئیدها (آگار، گوار و پکتین با درجه متوکسیل بالا)، سوربیتول، شکر، گلوکز پودری و اسید سیتریک بود. به منظور تولید پوره کیوی، از میوه کیوی با واریته هایوارد[1] استفاده شد. این واریته کیوی از باغات استان مازندران، واقع در شهرستان نوشهر در اواسط آبان ماه چیده و ظرف مدت ۲۴ ساعت به شهرستان مشهد منتقل گردید. میوها قبل از تهیه پوره، درون یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند تا حداقل تغییرات از لحاظ فیزیکی و شیمیایی در آنها ایجاد گردد. پودر ریزجلبک *Spirulina platensis* از شرکت سینا ریزجلبک قشم خریداری گردید. طبق نتایج آنالیزترکیب شیمیایی، پودر ریزجلبک *Spirulina platensis* حاوی ۶۳/۵ درصد پروتئین، ۲۲درصد کربوهیدرات، ۷/۴ درصد خاکستر، ۴/۶ درصد چربی و ۳-۲/۵ درصد رطوبت بود. گوار و پکتین با درجه متوکسیل بالا از شرکت سیگما[2]، سوربیتول از شرکت مرک[3] آلمان و آگار از شرکت کیولب[4] کانادا تهیه گردید. گلوکز پودری، شکر و اسید سیتریک از یکی از فروشگاه‌های سطح شهر مشهد خریداری شد.

روش‌ها

تولید و آماده سازی نمونه ها

اجزای فرمولاسیون شامل ۶۵ درصد وزنی/وزنی پوره کیوی، ۳۰ درصد وزنی/وزنی شیرین کننده (شکر،گلوکز پودری،شربت اینورت و سوربیتول)، ۰/۵ درصد وزنی/وزنی پکتین با درجه متوکسیل بالا، ۰/۲۵ درصد آگار، ۰/۵ درصد گوار و ریزجلبک *Spirulina platensis* در پنج سطح (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱و ۲ درصد) بود. پکتین با درجه متوکسیل بالا در pH پایین محصول (pH=۳/۴) و در حضور قندها باعث افزایش سرعت تشکیل ژل و ایجاد بافت منسجم تر و مطلوب تری در نمونه نهایی می‌گردد. همچنین دلیل استفاده از مقداری گلوکز پودری، شربت اینورت و سوربیتول به همراه شکر در فرمولاسیون این بود که از ایجاد شکرک در محصول نهایی جلوگیری گردد.

جهت تولید پاستیل میوه‌ای بر پایه پوره کیوی، ابتدا کیوی‌ها با آب سرد شسته شدند و پس از پوست گیری قطعه قطعه گردیدند. سپس این قطعات توسط خردکن شده و به صورت پالپ در آمدند. سپس کیوی خرد شده جهت غیرفعال شدن آنزیم‌ها به مدت یک دقیقه در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد (عابدینی،۱۳۸۲). پوره آماده شده با پودر *Spirulina platensis*، هیدروکلوئیدها و شیرین کننده‌های مورد نظر (ضمن اعمال حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد) به نسبت‌های مشخص مخلوط شدند. آگار در آب مقطر در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به شکل محلول درآمده و به مخلوط مورد نظر اضافه گردید (Ben-zio and Nussinovitch, 1997). در انتها پس از تعدیل pH به pH= ۳/۴ با افزودن اسید سیتریک با غلظت ۴۰ درصد و کنترل بریکس تا بریکس ثابت ۴۵ ، مخلوط ژل آماده شد. سپس مخلوط آماده درون قالب‌های شبکه ای از جنس استیل در حفره‌های با ابعاد ۱/۲×۲×۲ سانتیمتر ریخته شده، قالب‌ها به مدت ۲ ساعت درون یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد جهت بستن ژل قرار گرفتند. سپس ژل حاصل از درون حفره‌های قالب خارج گردیدند و نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون خشک کن هوای داغ با سرعت هوای ۱/۵ متر/ثانیه خشک شدند. سپس آزمایش‌های مورد نظر بر روی نمونه‌های خشک شده انجام پذیرفت. اندازه‌گیری pH با pHمتر مدل هانا[5] ساخت کشور پرتغال انجام شد. کنترل و اندازه‌گیری بریکس مخلوط، توسط رفراکتومتر چشمی مدل کارلزلس[6] صورت پذیرفت. خشک کردن نمونه‌ها توسط خشک کن هوای داغ ساخت شرکت طبی سروش انجام شد.

اندازه‌گیری رطوبت

به‌منظور تعیین میزان رطوبت نمونه‌های پاستیل کیوی، ۱۰ گرم از هر یک از نمونه‌ها درون پلیت شیشه ای قرار گرفت و درون آون تحت خلا با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و فشار ۲/۵ اینچ جیوه تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. پس از خارج کردن از درون آون و توزین، میزان رطوبت بر مبنای وزن مرطوب از رابطه زیر محاسبه گردید(Tsami *et al*, 1990).

$$\text{رطوبت} = \frac{W_m - W_{ov}}{W_m} \quad (۱)$$

در این رابطه W_m و W_{ov} به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از قرار

1 Hyward
2 Sigma
3 Merk
4 Qulab
5 Hana
6 Carlze

دادن نمونه در آون می‌باشد.

اندازه‌گیری پارامترهای بافتی

در این پژوهش برای آزمون پروفایل بافتی (TPA) جهت اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی نمونه‌های تولید شده، از دستگاه آنالیز کننده[1] بافت مدل(کیوتی اس۲۵، سی ان اس فارنل[2]) ساخت کشور انگلستان و مجهز به نرم افزار کامپیوتری، استفاده شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن، از خشک کن خارج گردیدند، سپس هر یک از نمونه‌ها در دو سیکل رفت وبرگشت، توسط پروب سیلندری صفحه گرد با قطر ۳/۵ سانتی‌متر، سرعت حرکت پروب ۶۰ میلی‌متر/دقیقه و نیروی ۵ گرم تا ۳۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه فشرده شده[3] و سپس فشارزدایی[4] شدند.

چربی

اندازه‌گیری چربی بر اساس روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۶۲ و با استفاده از حلال اتیل اتر در دستگاه سوکسله انجام گرفت.

پروتئین

اندازه‌گیری پروتئین بر اساس روش هضم در دستگاه کجلدال مطابق با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۶۳ صورت گرفت.

فیبر خام

اندازه‌گیری فیبر خام بر اساس روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۳۱۰۵ انجام گرفت.

اندازه‌گیری خاکستر تام

مقدار مشخصی از نمونه با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۸۵ در کوره الکتریکی سوزانده شد و مقدار خاکستر آن محاسبه گردید.

اندازه‌گیری عناصر آهن و کلسیم

اندازه‌گیری عناصر آهن بر اساس روش طیف سنجی نوری اتمی منطبق با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۶۶ و اندازه‌گیری کلسیم بر اساس روش AOAC.985.35-2005 صورت گرفت.

اندازه‌گیری ویتامین C

اندازه‌گیری ویتامین C با روش مندرج در استاندارد ملی ایران به شماره ۵۶۰۹ صورت گرفت.

آزمون تعیین ساختمان به روش SEM

ریزساختمان‌های مولکولی نمونه‌های حاوی صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد اسپیرولینا پلاتنسیس با میکروسکوپ الکترونی SEM بررسی شدند. نمونه (۲×۱×۱ mm) در محلول ۲/۵ درصد گلوتار آلدئید به همراه ۱/۵ درصد پارافرم آلدئید در بافر ساکودیلات[5] ۰/۱ مولار به مدت ۲۴ ساعت تثبیت شدند، سپس آب کشی شده و در محلول ۱ درصد تترا اکسید اسمیوم به مدت ۶۰ دقیقه تثبیت شدند. به منظور نفوذ بهتر محلول تثبیت کننده در نمونه ژل، خلاء به مدت ۱ ساعت در مرحله تثبیت بکار گرفته شد. آب گیری در یک سری از محلول‌های اتانول کاهشی انجام گرفت. نمونه‌ها در نقطه بحرانی خشک شدند. سپس با ۳۰ نانومتر طلا/پلادیوم پوشش داده شدند و در حداکثر ولتاژ ۱۵ kv با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM مدل LEQ1450VP آزمون شدند. حداقل ۴ تصویر از بزرگنمایی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ در چندین ناحیه مختلف از نمونه‌ها تهیه شد.

ارزیابی حسی

در این پژوهش آزمون حسی با قضاوت ۱۰ داور آموزش داده شده انجام پذیرفت. به منظور ارزیابی نمونه‌ها از مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای (عدد ۱ بسیار نامطلوب – عدد ۹ بسیار مطلوب) استفاده گردید. تعداد ۷ صفت حسی (در سه گروه ویژگیهای رنگی، طعمی و بافتی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. شدت رنگ و شش صفت دیگر به لحاظ طعمی و بافتی (سفتی، لاستیکی، قابلیت جویدن، چسبناکی ، طعم و آروما) ارزیابی شدند و در نهایت، پذیرش کلی نمونه‌ها نیز مورد سوال قرار گرفت.

طرح آماری

تحلیل داده ها، در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. *Spirulina platensis* در پنج سطح (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱و۲ درصد) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. برای تحلیل آماری پارامترهای مورد مطالعه از نرم افزار SPSS استفاده شد. میانگین تکرارها در قالب آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد مورد مقایسه قرارگرفتند.

1 Texture Profile Analyzer
2 QTS25 CNS Farnell
3 Compression
4 Decompression
5 Cacodylate

نتایج و بحث

رطوبت

جدول ۱ مقدار رطوبت در سطوح مختلف متغیر را نشان می‌دهد. با افزایش درصد اسپیرولینا میزان رطوبت نمونه‌ها افزایش یافت. ترکیب شیمیایی اسپیرولینا دارای بیش از ۶۰ درصد وزنی پروتئین می‌باشد. جذب آب را باید مهمترین خصوصیت فیزیکی پروتئین‌ها دانست. این پدیده نه تنها بر ساختمان فیزیکی و خصوصیات فرایندی ماده غذایی حاوی پروتئین عمیقا اثر می‌گذارد، بلکه از نظر فساد ماده غذایی نیز به دلیل تاثیری که بر روی فعالیت آب دارد بسیار حائز اهمیت است (فاطمی،۱۳۸۷). جذب آب در سطح پروتئین اساسا از طریق پیوندهای هیدروژنی صورت می‌گیرد. احتمالا در این فرمولاسیون جذب توسط زنجیره پروتئینی اسپیرولینا تحت شرایط حرارتی (دمای پخت در حین مخلوط کردن و همچنین خشک کردن)، در ناحیه پیوندی صورت می‌گیرد. که با سرد شدن محیط، تعدادی پیوندهای هیدروژنی میان زنجیره‌ها تشکیل و به این ترتیب آب در شبکه ای از زنجیره‌های پروتئینی گرفتار و بی حرکت می‌گردد (فاطمی،۱۳۸۷).

جدول ۱- تأثیر اسپیرولینا بر میزان رطوبت پاستیل کیوی

سطوح اسپیرولینا	رطوبت
۰	۲۲/۲۱^{b}
۰/۲۵	۲۲/۶۰^{b}
۰/۵	۲۳/۱۴^{b}
۱	۳۰/۰۳^{a}
۲	۳۳/۲۳^{a}

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار($P<0/05$) دارند.

بررسی اثر اسپیرولینا بر پارامترهای بافتی (دستگاهی)

ویژگی‌های بافتی مواد غذایی را می‌توان به ویژگی‌های میکانیکی (سختی، الاستیسیته، پیوستگی، قابلیت جوندگی و چسبندگی)، ویژگی‌های هندسی (شکل و اندازه)، و سایر ویژگی‌ها (میزان رطوبت و چربی) طبقه بندی کرد (Szczesniak, 2002). آنالیز پروفایل بافت سال هاست به عنوان روشی مناسب برای اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پارامترهای حاصل از منحنی‌های آن ارتباط خوبی با داده‌های حسی دارد (Lau, 2000). نتایج نشان داد اثر اسپیرولینا بر سختی، پیوستگی و قابلیت جویدن نمونه‌ها معنی‌دار بود و بر پارامترهای الاستیسیته و چسبندگی اثر معنی‌داری نشان نداد.

سختی

اثر اسپیرولینا بر روی پارامتر سختی بافت به لحاظ آماری معنی‌دار و مثبت است(جدول۲). احتمالا بخش پروتئینی اسپیرولینا که حدود ۶۰ درصد ساختار آن را تشکیل می‌دهد از طریق پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های آمید-هیدروکسیل و هیدروکسیل-کربونیل با گروه‌های قطبی ساختار هیدروکلوئیدی آگار و گوار باعث افزایش استحکام و مقاومت ژل شده، که در نهایت منجر به افزایش سختی شده است. همچنین علاوه بر پیوندهای هیدروژنی ، احتمالا تعامل‌های الکترواستاتیک بین گروه‌های باردار پروتئین اسپیرولینا با بخش باردار آگار که آگاروپکتین می‌باشد، تشکیل شده است. که این تعامل‌ها نیز منجر به افزایش استحکام ساختار ژل نمونه‌ها گردیده است.

البته افزایش سختی و استحکام ژل‌ها ممکن است ناشی از افزایش جذب آب فرمولاسیون توسط اجزای اسپیرولینا از جمله فایکوسیانین نیز باشد. Batista و همکاران (۲۰۰۶) طی پژوهشی مشاهده کردند که با افزودن فایکوسیانین استخراج شده از اسپیرولینا به امولسیون روغن در آب (O/W)، استحکام و مقاومت امولسیون به صورت خطی افزایش یافته است. فایکوسیانین یک رنگدانه پروتئینی آب دوست می‌باشد که با جذب آب، استحکام و پایداری امولسیون را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیق Chronakis (۲۰۰۱) نشان داد با افزایش غلظت پروتئین ایزوله *Spirulina platensis*، مدول الاستیسیته ژل افزایش می‌یابد که این ناشی از پیوندهای الکترواستاتیک حین تشکیل ژل می‌باشد.

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف اسپیرولینا بر ویژگی‌های بافتی پاستیل کیوی

ویژگی‌های بافتی / سطوح	سختی (g)	الاستیسیته (mm)	پیوستگی	جوندگی (gmm)	چسبندگی (gs)
۰	۲۱۳۶ ^{b}	۲/۴۴۶^{a}	۰/۵۹۰۵^{a}	۲۸۵۴^{b}	-۳۴۵/۵^{a}
۰/۲۵	۲۲۵۱^{b}	۲/۳۱۹^{a}	۰/۵۴۶۴^{ab}	۲۸۶۹^{b}	-۳۶۸/۷^{a}
۰/۵	۲۴۵۲^{b}	۲/۴۰۶^{a}	۰/۵۴۱۷^{b}	۳۰۱۵^{b}	-۲۸۸/۲^{a}
۱	۲۹۷۸^{a}	۲/۳۷۱^{a}	۰/۵۱۳۱^{b}	۳۵۱۱^{a}	-۲۸۷/۶^{a}
۲	۳۱۲۸ ^{a}	۲/۴۱۲^{a}	۰/۴۸۱۲^{b}	۳۷۲۸^{a}	-۲۹۵/۷^{a}

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار($P<0/05$) دارند.

جدول ۳- تأثیرسطوح مختلف اسپیرولینا بر میزان ترکیبات شیمیایی و تغذیه ای در ۱۰۰گرم نمونه پاستیل کیوی

ترکیبات مغذی / سطوح اسپیرولینا	آهن (mg)	کلسیم (mg)	ویتامینC (mg)	چربی (gr)	پروتئین (gr)	خاکستر (gr)	فیبر (gr)
۰	۱/۲۹۸ e	۴۳/۵۱۵ e	۱۷/۴ e	۱ a	۱/۴۹ e	۰/۹۳ b	۱/۳۸ a
۰/۲۵	۱/۹۶۱ d	۴۴/۶۴۲ d	۱۸/۶۹ d	۰/۹۷ a	۱/۵۶ d	۰/۹۵ ab	۱/۴۶ a
۰/۵	۲/۶۰۸ c	۴۶/۶۵۵ c	۱۸/۸ c	۰/۹۵ a	۱/۷۳ c	۱/۰۴ ab	۱/۴۱ a
۱	۴/۹۲۰ b	۴۷/۱۶۳ b	۲۰ b	۰/۹۱ a	۲/۴۶ b	۱/۳۸ ab	۱/۵۲ a
۲	۷/۰۶۲ a	۴۹/۸۴۹ a	۲۰/۲ a	۰/۹۸ a	۲/۹۴ a	۱/۴۱ a	۱/۲۸ a

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار($P<0/05$) دارند.

پیوستگی

اسپیرولینا روی پیوستگی ژل اثر معنی‌داری داشت و با افزایش درصد وزنی اسپیرولینا پیوستگی ژل روند کاهشی داشت (جدول۲). احتمالا به علت دناتوره شدن اسپیرولینا (در اثر دمای خشک کردن) ساختار پروتئین آن باز گردیده است. احتمالا در چنین حالتی قسمت‌های هیدروفوب در سطح پروتئین قرار می‌گیرند و مانع تشکیل برخی پیوندهای بین مولکولی اسپیرولینا با سایر اجزای فرمولاسیون می‌گردد. Batista و همکاران (۲۰۰۷ b) به مطالعه استفاده از زیست توده

ریزجلبک در تولید فراورده‌های غذایی ژلی بر پایه سیستم بیوپلیمری از پروتئین و پلی ساکارید پرداختند. نتایج نشان داد افزودن زیست توده *Spirulina maxima* باعث کاهش معنی‌دار بر پارامترهای رئولوژیکی ژل گردید. Chronakis(۲۰۰۰) گزارش کرد پروتئین اسپیرولینا و رنگدانه پروتئینی (فایکوسیانین) آن پیچیده تر از سایر مولکول‌های پروتئینی هستند. بنابراین تشکیل ژل توسط این ریزجلبک، یک مکانیسم پیچیده است و اسپیرولینا می‌تواند با سایر بیوپلیمرهای (زیست بسپار) موجود در سیستم ژل و روند تشکیل ژل توسط آن ها، تداخل کند. تحقیقات بیشتری به منظور درک بهتر مکانیسم تشکیل ژل توسط ریزجلبک اسپیرولینا و تعاملات خاص با هر یک از بیوپلیمرهای موجود در مخلوط سیستم ژل و همچنین تأثیر شرایط پردازش لازم است (Batista *et al*, 2012).

قابلیت جویدن

اثر اسپیرولینا روی قابلیت جوندگی معنی‌دار است و با افزایش اسپیرولینا جوندگی افزایش می‌یابد (جدول ۲). ژل‌های منسجم تر به مدت طولانی تری جویده می‌شوند. جویدن باعث شکست ساختار غذا و افزایش سطح نواحی در دسترس برای پخش مواد معطر می‌گردد که این مسئله افزایش رهاسازی طعم را به دنبال دارد Boland *et al*, (2006). قابلیت جویدن کار لازم برای جویدن و خمیر کردن نمونه برای بلع است (Kealy, 2006). احتمالا با افزایش درصد اسپیرولینا در فرمولاسیون، به دلیل تداخل‌های هیدروژنی و یونی بین اسپیرولینا و سایر اجزای فرمولاسیون (که پیشتر به آنها اشاره شد) انسجام ژل بیشتر شده و نیروی مورد نیاز جهت له کردن نمونه‌ها توسط دندان‌ها افزایش می‌یابد.

بررسی اثر اسپیرولینا بر روی ترکیبات شیمیایی و تغذیه ای

با توجه به نتایج اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی، با افزایش اسپیرولینا در فرمولاسیون، میزان پروتئین، آهن، کلسیم، ویتامین C و خاکستر نمونه‌ها به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد که این نشان دهنده ارزش تغذیه ای بالای این ریزجبک می‌باشد.

بررسی اثر اسپیرولینا بر میزان پروتئین

نتایج نشان داد با افزایش اسپیرولینا میزان پروتئین نمونه‌ها کاملا روند صعودی داشته است. اسپیرولینا به دلیل میزان پروتئین زیاد (۷۰ -۶۰ درصد وزن خشک) و بالا بودن کیفیت پروتئین (نوع اسیدهای آمینه و قابلیت جذب بالا) می‌تواند نقش مهمی در تغذیه انسان ایفا نماید. پروتئین اسپیرولینا حاوی تمام اسیدهای آمینه ضروری و ۱۸ اسیدآمینه از کل ۲۰ اسیدآمینه موجود در پروتئین‌ها است. میزان اسید نوکلئیک اسپیرولینا کمتر از ۵ درصد می‌باشد و احتمال بروز بیماری نقرس در اثر مصرف آن بسیار کم است. اسپیرولینا شامل مقادیر تقریبا متعادلی پروتئین (شامل هشت اسیدآمینه اصلی) بوده، به راحتی هضم شده (بالا بودن ارزش زیستی[1]) و به سرعت احساس گرسنگی را برطرف می‌کند. بجز متیونین و سیستئین که تا حدودی کمتر از مقدار استاندارد می‌باشند، دیگر اسیدآمینه‌های ضروری به مقدار کافی در اسپیرولینا وجود دارند(ciffri, 1983؛ Gershwin *et al*, 2008؛ Chronakis, 2001).

بررسی اثر اسپیرولینا بر میزان آهن و کلسیم

با توجه به جدول ۳ با افزایش اسپیرولینا میزان آهن و کلسیم در

1 Biological value

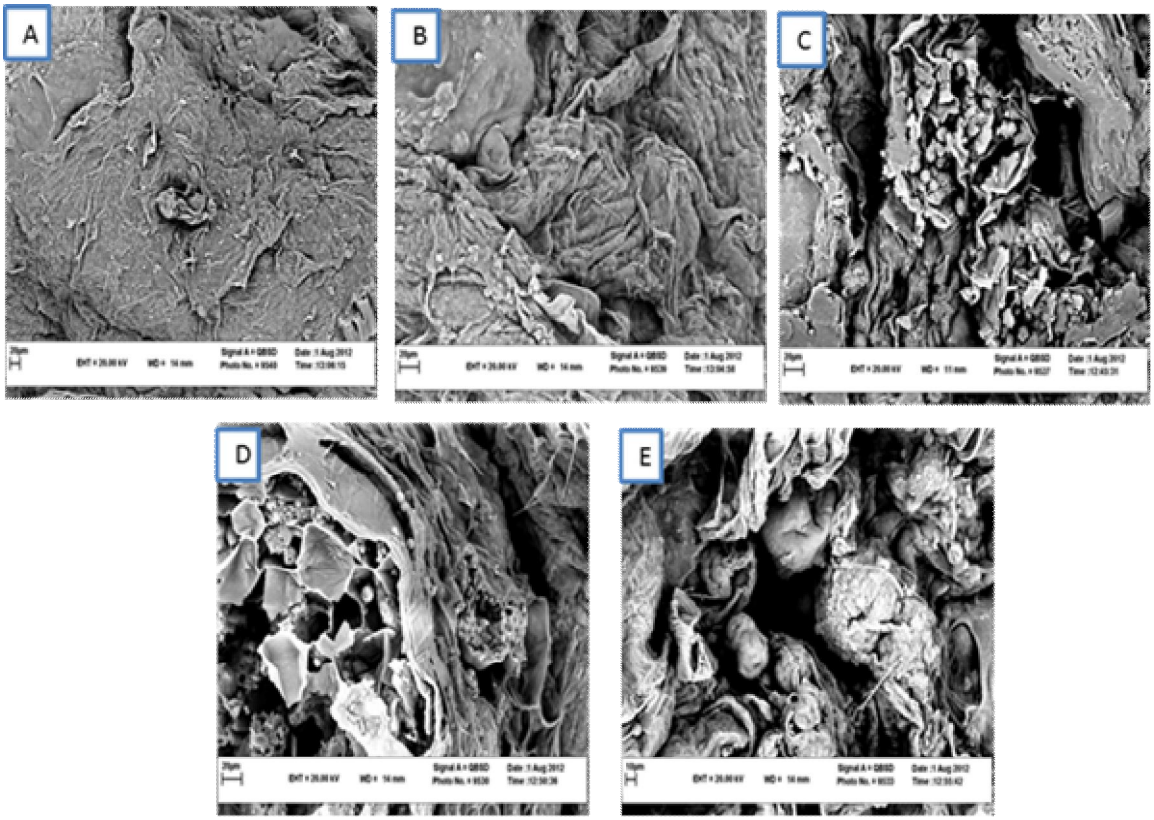
نمونه‌ها افزایش یافته است. اسپیرولینا غنی ترین منبع آهن و کلسیم است. هر ۱۰۰ گرم از پودر اسپیرولینا حاوی ۸۴ میلی گرم آهن و ۴۶۸ میلی گرم کلسیم می‌باشد (Gershwin *et al*, 2008). بر خلاف دیواره سلولزی سایر گیاهان و جلبک‌های تغذیه ای که مانعی برای جذب مواد معدنی و مغذی آنها است، دیواره‌های سلولی اسپیرولینا موکوپروتئینی بوده و به راحتی هضم می‌شوند و قابلیت جذب مواد مغذی آن بسیار بالا است. این ویژگی باعث شده تا این ریزجلبک ماده غذایی مناسبی برای افراد مسن ویا بیماران مبتلا به جذب روده ای ضعیف باشد (Richmond, 1992). از طرفی میزان ویتامین B_{12} نیز در اسپیرولینا بسیار بالاست و در حدود ۱۶۲ mcg می‌باشد. وجود میزان قابل توجهی آهن، اسید فولیک و ویتامین B_{12}، اسپیرولینا را به مکمل درمانی خوبی جهت درمان کم خونی تبدیل کرده است.

با افزایش اسپیرولینا، میزان خاکستر نمونه‌ها نیز روند افزایشی نشان داده است. خاکستر نشان دهنده میزان مواد معدنی موجود در نمونه می‌باشد. علاوه بر آهن و کلسیم اسپیرولینا یک منبع غنی از سایرعناصر معدنی از جمله روی، منیزیوم، سلنیوم و پتاسیم است.

بررسی اثر اسپیرولینا روی ریز ساختار

آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ها اطلاعات کاملی درباره ساختمان‌های نمونه‌ها ارائه می‌کند (شکل شماره۱). نتایج SEM نشان داد که *Spirulina platensis* به شکل ذرات کروی و گاها رشته ای در سراسر نمونه به شکل یکنواخت پراکنده شده اند.

نتایج تصاویر SEM حاکی از این است با افزایش غلظت اسپیرولینا از یکنواختی ساختمان نمونه‌ها کاسته شده و شبکه ژلی درشت تر و منافذ آن بزرگتر شدند. به عبارت دیگر با افزایش غلظت اسپیرولینا می‌توان یک شبکه با یکنواختی کمتر که از ذرات بزرگتر و منافذ بیشتر تشکیل شده را مشاهده نمود. این ساختمان جدید و متخلخل، فضای کافی برای به دام انداختن آب و تشکیل ژل مناسب را فراهم می‌کند. لازم به ذکر است در این نوع ژل‌ها که منافذ بزرگتری دارند امکان آب اندازی بعدی ژل کمی بیشتر می‌گردد. این نوع ساختار ژلی ممکن است با ناسازگاری بین پروتئین ریزجلبک با سایر اجزای نمونه مرتبط باشد. در بین برهم کنش پروتئین- پلی ساکارید ناسازگاری ترمودینامیکی بسیار رایج تر می‌باشد (Tolstogozov, 1995). ناسازگاری ترمودینامیکی معمولا تحت شرایطی که تجمع پروتئین افزایش می‌یابد (یعنی نزدیک pH ایزوالکتریک) و یا هنگامی که دو نوع بیوپلیمر مختلف تمایل متفاوتی به حلال داشته باشند، اتفاق می‌افتد (picullel, 1992).



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی حاوی غلظت‌های مختلف ریزجلبک. بدون اسپیرولینا (A)، ۰/۲۵٪ اسپیرولینا (B)، ۰/۵٪ اسپیرولینا (C)، ۱٪ اسپیرولینا (D)، ۲٪اسپیرولینا (E).

PH ایزوالکتریک پروتئین ریزجلبک اسپیرولینا بین ۳/۵– ۲/۸ می‌باشد (Chronakis, 2001). از طرفی PH نمونه‌ها برابر ۳/۴ است. این نزدیکی PH ایزوالکتریک پروتئین ریزجلبک با PH نمونه‌ها می‌تواند عاملی برای ناسازگاری ترمودینامیکی آن در ساختار ژل باشد. Batista و همکارانش (2007 b) علت تغییرات پارامترهای رئولوژی سیستم ژل متشکل از کاپاکاراگینان/نشاسته/پروتئین نخود در اثر افزودن ریزجلبک *Spirulina maxima* را ناشی از ناسازگاری ترمودینامیکی بین پروتئین ریزجلبک با سایر ترکیبات سیستم ژلی دانستند.

ارزیابی حسی

اساسا اندازه‌گیری کیفیت یک فراورده بر اساس اطلاعات دریافتی از پنج حس بینایی، شنوایی، بویایی، چشایی و لامسه ارزیابی حسی گفته می‌شود که این روش بهترین راه برای ارزیابی طعم و بافت در انواع غذاهای جدید به ویژه غذاهای ترکیبی (فرموله) در مراحل اولیه توسعه می‌باشد (Abbasi and Rahimi ، 2007). زیست توده ریزجلبک‌ها به عنوان یک منبع رنگ آمیزی و اسیدهای چرب، در یک محدوده وسیعی از فراورده‌های غذایی از قبیل امولسیون روغن در آب (Raymundo *et al*, 2005) ، و بیسکوئیت‌ها (Gouveia *et al*, 2007)، و ژل‌های غذایی (Batista *et al*, 2007) با موفقیت مورد مطالعه قرار گرفت.

براساس نتایج آنالیز حسی که در جدول ۴ درج شده است، اثر اسپیرولینا بر شدت رنگ، آروما، طعم و پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود، اما بر سایر پارامترها اثر معنی‌داری نداشت.

نتایج آنالیز حسی نشان داد*Spirulina platensis* بر شدت رنگ نمونه‌ها کاملا معنی‌دار است و با افزایش اسپیرولینا شدت رنگ نمونه افزایش می‌یابد. اسپیرولینا از جمله ریزجلبک‌های چند سلولی و رشته ای سبز–آبی است (Vonshak, 2002). اسپیرولینا توانسته رنگ سبز مطلوبی همانند رنگ سبز کیوی را در این محصول ایجاد نماید. ریزجلبک‌ها می‌توانند رنگ‌های جذابی مشابه رنگ میوه‌ها را در محصولات ایجاد کنند. ژل هماتوکوکوس یک رنگ صورتی جذاب مشابه توت فرنگی را ارائه می‌دهد (Batista *et al*, 2012).

افزودن زیست توده اسپیرولینا در سیستم‌های غذایی ژلی منجر به تولید محصولاتی با خواص حسی ملایم و مطلوب (بخصوص رنگ) در مقایسه با سایر ریزجلبک‌ها مانند کلرلا و هماتوکوکوس می‌گردد (Gouveia *et al*, 2008 b). در چین و ژاپن اسپیرولینا به عنوان پیگمان رنگی طبیعی در انواع غذاها مثل آدامس، محصولات لبنی، ژل‌ها و پاستیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فایکوسیانین رنگ درخشانی به پاستیل و آب نبات‌های پوشش دار می‌دهد. (Jespersen *et al*, 2005).

بالاترین پذیرش ظاهری و مطلوب بودن رنگ مربوط به نمونه اسپیرولینا ۰/۲۵ درصد بود. اسپیرولینا در غلظت ۰/۲۵ درصد رنگ سبز ملایم و جذابی مشابه رنگ سبز کیوی را ایجاد کرد.

اثر اسپیرولینا روی آروما معنی‌دار بود و نمونه‌های حاوی ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا آرومای مطلوب بیشتری نشان دادند (جدول ۴). اما در سطوح بالاتر اسپیرولینا، از میزان آروما کاسته شده بود. در غلظت ۱ و ۲ درصد اسپیرولینا به میزان کمی آرومای جلبکی در نمونه‌ها احساس می‌شود که این باعث می‌شد آرومای کیوی پوشانده شده و در نمونه‌ها کمتر احساس گردد.

اثر اسپیرولینا در سطح ۰/۲۵ درصد بر روی طعم نمونه‌ها معنی‌دار بود و نمونه‌های حاوی ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا میزان رها سازی و پذیرش طعم بیشتری داشتند. در سطوح ۱ و ۲ درصد اسپیرولینا از میزان مطلوبیت طعم کاسته شده بود.

پذیرش کلی

اثر اسپیرولینا بر پذیرش کلی معنی‌دار بود، در سطح ۲ درصد اسپیرولینا پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش یافت (جدول ۴). این نتیجه به این معنی است که کیوی به خوبی توانسته تا سطح ۱ درصد از اسپیرولینا، اثرات طعمی اسپیرولینا را بپوشاند.

جدول ٤. تأثیر اسپیرولینا بر ویژگی‌های حسی پاستیل کیوی

ویژگی‌های حسی / سطوح	شدت رنگ	سفتی	لاستیکی بودن	جوندگی	چسبناکی	آروما	طعم	پذیرش کلی
۰	^{d}۴/۹۶	^{a}۵/۵۲۲	^{a}۵/۶۱۱	^{a} ۴/۵۲۲	^{a}۵/۲۲۲	^{b}۵/۱۶۷	^{b}۶/۰۳۳	^{a}۶/۴۵۶
۰/۲۵	^{c}۶/۷۳	^{a}۵/۳۰	^{a}۵/۶۲۲	^{a}۵/۴۶۷	^{a}۵/۲۶۷	^{a}۵/۶۰	^{a}۶/۵۸۹	^{a}۶/۶۷۸
۰/۵	^{b}۷/۷۲	^{a} ۵/۲۵۶	^{a}۵/۵۰	^{a}۵/۲۷۸	^{a}۵/۳۵۶	^{b}۵/۲۷۸	^{b}۶/۱۵۶	^{a}۶/۴۷۲
۱	^{a}۸/۲۴	^{a}۵/۳۲	^{a}۵/۱۲	^{a}۵/۸۲۰	^{a}۵/۱۵۶	^{b}۵/۱۱۳	^{b}۶/۰۱۲	^{ab}۶/۲۵۶
۲	^{a}۸/۴۸	^{a}۵/۲۶	^{a}۵/۰۵	^{a}۵/۹۳	^{a}۵/۰۴۴	^{b}۵/۰۲	^{b}۵/۸۴	^{b}۶/۰۵۲

اعداد با حروف متفاوت در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار($P<0/05$) دارند.

از طرفی روند کلی به شکلی بود کـه نمونـه‌هـای حـاوی ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد اسپیرولینا پذیرش کلی بیشتری نسبت به نمونه‌های بـدون اسپیرولینا داشتند، اما در سطح ۱و۲ درصـد اسـپیرولینا پـذیرش کلـی نمونه‌ها کاهش یافت.

Fradique و همکـاران (۲۰۱۰) اثـر اسـپیرولینا ماکسـیما و کلراولگاریس را روی رنگ، بافت، پارامترهای کیفی و ترکیب شیمیایی اسپاگتی بررسـی کردنـد. بـه کـارگیری *Spirulina maxima* باعـث بهبود پارامترهای کیفی و افزایش سختی نمونه‌هـا گردیـد. همچنـین نتایج ارزیابی حسی نشان داد برخی نمونه‌های غنی شده، پذیرش کلی بهتری نسبت به نمونه شاهد (نمونه فاقد ریز جلبک) داشتند.

بزرگسالان در پذیرش غذاهای جدید با ریزجلبک بسـیار مقاومـت نشان می‌دهند، که این مسئله توسط (Feldheim, 1972) و (Gross *et al*, 1987) نشان داده شده است. زیرا این قضـیه غالبـا بـه دلیـل فاکتورهای متعددی از جمله جنبه‌های مذهبی، اجتمـاعی و اقتصـادی مـی‌باشـد (Becker, 1994). ایـن قضـیه در کودکـان، کـه آمـادگی بیشتری در پذیرش غذاهای جدید دارند بـه گونـه ای دیگـری اسـت. برای مثال در مکزیک یک نمونه نوشیدنی‌های حاوی ۵۰٪ اسپیرولینا، بدون هیچ مشکلی به عنوان نوشیدنی مغذی برای نوزادان استفاده شد (Jacket, 1974).

بر اساس نتایج آنالیز حسی بالاترین پذیرش کلی مربوط به نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا بود. طبق نتایج آنالیز پروفایل بافت ایـن نمونه به لحاظ بافت سختی کم و پیوستگی بالایی داشـت کـه بافـت پاستیلی مطلوبی را ایجاد کرده بود. بافت و خـواص فیزیکـی غـذا بـر طعم و پذیرش کلی آن تاثیرگذار می‌باشد، چرا کـه بافـت تـا حـدودی می‌تواند مقدار وسرعتی را که مـاده طعـم زا بـه جوانـه‌هـای چشـایی می‌رسد کنترل کند (Setser, 2003). این نمونه به دلیل سختی کـم، بالانس و ایجاد تعادل بین ترشی و شیرینی، بهترین طعم و آرومـا را از خود نشان داد.

همچنین طبق آنالیز حسی، از لحاظ ویژگی‌های رنگی نمونه‌هـای حاوی ۰/۲۵درصد اسپیرولینا دارای بهترین پـذیرش ظـاهری در بـین نمونه‌ها بودند. در این نمونـه اسـپیرولینا رنـگ سـبز ملایـم و جـذابی مشابه رنگ کیوی را در نمونه‌ها ایجاد می‌کند. بر خلاف عـدم تمایـل مصرف کنندگان به مصرف برای غـذاهای جدیـد در گذشـته، امـروزه تقاضای مصرف کنندگان برای فراورده‌های غذایی طبیعی تر افـزایش یافته است، که این امر به دلیل مزایای فـراوان و سـلامت غـذاهـای طبیعی می‌باشد. ریز جلبک‌ها منابع مغذی کاملا طبیعـی هسـتند کـه ارزش غذایی بالایی دارند. همچنـین غـذاهـای حـاوی زیسـت تـوده ریزجلبک ها، خواص حسی(از جمله بافت و رنگ) بسیار متنـوع تـری دارند. بنابراین این غذاها می‌توانند عـلاوه بـر طبیعـی بـودن و فوایـد سلامتی، به دلیل تنوع زیاد می‌تواننـد بـا ایجـاد جـذابیت در مصـرف کنندگان همراه باشند (Pulz *et al*, 2004).

نتیجه گیری

در این پژوهش، پاستیل کیوی با استفاده از غلظت های مختلـف ریزجلبـک *Spirulina platensis* فرمولـه گردیـد و رطوبـت ، ویژگی‌های بافتی، ترکیبات شیمیایی و تغذیه ای و نهایتا ویژگی‌هـای حسی فراورده نهایی مورد بررسی قـرار گرفـت. نتـایج نشـان داد اثـر اسپیرولینا بر رطوبت معنی‌دار بود و افزایش اسپیرولینا منجر به افزایش رطوبت فراورده گردید. بررسی حاصل از ارزیابی پروفایل بافتی نشـان داد که با افزایش میزان اسپیرولینا سختی و قابلیت جویـدن نمونـه‌هـا افزایش یافته است در حالی که روی پیوستگی نمونه‌ها روند کاهشـی داشته است. نتایج اندازه گیری ترکیبات شیمیایی نشان داد با افـزایش اسپیرولینا به شکل معنی داری میزان پروتئین، آهن و کلسیم افـزایش یافت اما میزان ویتامین C، چربی و فیبر نمونـه‌هـا تغییـر معنـی‌داری نداشت. آنالیز داده‌هـای حسـی نشـان داد اثـر اسـپیرولینا روی رنـگ نمونه‌ها کاملا معنی‌دار است و با افزایش غلظت اسپیرولینا شدت رنگ نمونه‌ها افزایش یافت. وجود اسپیرولینا در فرمولاسیون (بخصوص در سطح ۰/۲۵ درصد) باعث ایجاد رنگ جذاب و پذیرش ظاهری خوب و طعم و آرومای مطلوبی نسبت به سایر نمونه‌ها گردید. اثـر اسـپیرولینا روی پذیرش کلی معنی‌دار بود و روند کلی به شکلی بود که در سـطح ۰/۲۵ درصد پذیرش کلی نمونه‌هـا افـزایش یافـت و در غلظـت‌هـای بالاتر(۱ و۲ درصد) پذیرش کلی کاهش یافت. در مجموع نمونه حاوی ۰/۲۵ درصد اسپیرولینا بـالاترین پـذیرش کلـی را از خـود نشـان داد. پاستیل میوه ای بر پایه کیوی فراورده ای طبیعی که از پـوره کیـوی، هیدروکلوئیدهای غذایی و ترکیبات شیرین کننده شکل می‌گیرد. ایـن فراورده به لحاظ دارا بودن pH و فعالیت آب پایین، مانـدگاری بـالایی دارد. با توجه به اینکه از میوه‌های مازاد بر مصرف می‌توان در تهیه آن استفاده نمود، با تولید این فراورده علاوه بر جلوگیری از ضایعات میوه، فراورده نوینی وارد بازار مصرف می‌گردد که به سبب ارزش تغذیـه ای بالا، طعم مطلوب، قابلیت شکل پـذیری و مانـدگاری خـوبی کـه دارا می‌باشد، مورد توجه قشـر وسـیعی از مصـرف کننـدگان قـرار خوهـد گرفت. همچنین افزودن ریزجلبک *Spirulina platensis* به عنـوان یک مکمل غذایی فراسودمند می‌تواند سبب ایجاد خصوصـیات تغذیـه ای ارزشمند بخصوص از نظر اسیدآمینه‌هـای ضـروری، مـواد معـدنی ماننـد آهـن وکلسـیم در محصـول گـردد. همچنـین *Spirulina platensis* بواسـطه داشـتن رنگدانـه‌هـای ارزشـمندی از جملـه فایکوسیانین می‌تواند رنگ جذابی را در فراورده نهایی ایجاد کند.

منابع

آمار نامه وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۷.

استانداردهای ملی ایران، شماره‌های ۲۶۸۲، ۱۱۶۹۲، ۳۴۶۱، ۲۲۶۲، ۲۳۰۳، ۳۹۶۱، ۵۶۰۹، ۲۶۸۲ و ۹۲۶۶ مؤسسه تحقیقات و استاندارد صنعتی ایران.

افشار محمدیان،م.علی اکبر،ع.۱۳۸۶.مقایسه مقدار املاح و ویتامینهای ارقام آبوت،برونو،هایوارد و مونتی میوه کیوی ایران ومقایسه ویتامینهای این ارقام با میوه پرتقال تامسون ناول،مجله زیست شناسی،شماره۲،جلد۲۰،ص. ۱۶۴-۱۷۱.

جهاد کشاورزی.۱۳۸۸.شناسنامه تصویری کیوی.

خزایی، ا.، شهیدی، ف.، مرتضوی، س،ع.، م، محبی. ۱۳۹۲. فرمولاسیون پاستیل کیوی و اثر غلظت‌های مختلف آگار و گوار بر میزان رطوبت و ویژگی‌های بافتی و حسی آن. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، پذیرفته شده.

شهیدی، ف.، خلیلیان، ص.، م، محبی، م. فتحی، ۱۳۹۰. بررسی امکان تولید پاستیل میوه ای بر پایه پوره سیب بر اساس فاکتورهای حسی و فعالیت آب، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۲، جلد ۱۳۶،۷-۱۲۹.

عابدینی،ج.۱۳۸۲.فیزیولوژی و تکنولوژی صنایع تبدیلی کیوی و اصول نگهداری آن در سردخانه.انتشارات دانش نگار.

فاطمی،ح. ۱۳۸۷ ، شیمی موادغذایی، شرکت سهامی انتشار تهران.

فرحناکی ، ع.، مجذوبی ، م.، و مصباحی، غ. ۱۳۸۸. خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوئیدها در مواد غذایی و دارویی: ژلاتین، کتیرا، صمغ عربی، نشاسته، نشاسته اصلاح شده و پکتین. نشر علم و کشاورزی ایران، تهران.

مقصودلو، م و قربانی، م. ۱۳۸۲. فراوری میوه. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

مقصودی، ش. ۱۳۸۸. صنایع قنادی. چاپ اول. نشر علم کشاورزی، تهران.

یارمند،م،س.وهاشمی روان،م.۱۳۸۷.کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی و صنایع دیگر،انتشارات مرز دانش،تهران.

A Review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish , FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034.

Abbasi S, and Rahimi S., 2007. Introduction of an unknown local plant gum : Persian gum (zedu gum). Flour and Food Industry Magazine 4, 42-51. (In Farsi).

Araki, c. .1958. carbihydrates of agar. In jikken kagaku koza, vol.22. chemical society of Japan, Tokyopp. 468-87.

Batista, A.P., a ristiana Nunes, M. C., Fradinho, P., Gouveia, L., sabel Sousa, I.,Raymundo, A., Franco, J.M. 2012. Novel foods with microalgal ingredients – Effect of gel setting conditions on the linear viscoelasticity of Spirulina and Haematococcus gels.Journal of Food Engineering 110, 182–189.

Batista, A.P., Gouveia, L., Nunes, M.C., Franco, J.M., and Raymundo, A. 2007b. Microalgae biomass as a novel functional ingredient in mixed gel systems. In Gums and Stabilisers for the Food Industry – 14th Edition. Eds. P.A. Williams, G.O. PHillips. Royal Society of Chemistry.

Batista, A.P., Raymundo, A., Sousa, I., and Empis, J. 2006a. Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and pHycocyanin added to the oil and aqueous pHases. Food Hydrocolloids, 20, 44-52.

Ben-zion, O and Nussinovitch. 1997. A prediction of the compressive deformabilities of multilayered gels and texturized fruit, glued together by three different adhesion techniques. Food Hydrocolloids. Vol. 11 no. 3 PP. 253-260.

Becker, E.W. 1994. Microalgae: biotechnology and microbiology. Cambridge University Press.

Boland A.B., Delahunty C.M., Van Ruth S.M. 2006. Influence of the textire of gelatin gels and pectin gels on strawberry flavor release and perception. Food Chemistry 96:452-460.

Chronakis, I.S. 2001. Gelation of edible blue-green algae protein isolates (Spirulina platensis): Thermal transitions, rheological properties, and molecular forces involved. Bioresource Technoogyl, 77:19-24.

Chronakis, I.S., Galatanu, A.N., Nylander, T., and Lindman, B. 2000. The behaviour of protein preparations from blue-green algae (Spirulina platensis strain Pacifica) at the air/water interface. Colloids and Surfaces A: PHysicochemical and Engineering Aspects, 173: 181-192.

Ciferri, O. 1983. Spirulina, the edible microorganism, Microbial. Review ,47:551-578.

Feldheim, W. 1972. Studies on use of microalgae in human nutrition. 1. Nutrition tests with algae containing diets in Thailand. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 42, 600-606.

Ferguson, A.R., and Ferguson, L. R. 2003. Are kiwifruit really good for you? Acta Hortic.. Acta Hortic. 610: 131-138.

Fradique, M., Batista, A.P., Nunes, M.C., Gouveia, L., Bandarra, N.M., Raymundo, A. 2010. Chlorella vulgaris and

Spirulina maxima biomass incorporation in pasta products. Journal of the Science of Food and Agriculture 90: 1656–1664.
Gershwin, M.E and Belay A, Eds. 2008. Spirulina in Human Nutrition and Health. Boca Raton: Taylor and Francis group London New York CRC Press.
Glicksman, m.1982. food hydrocolloids. Vol.3, crc press. Florida.
Gordon Booth, R. 1990. Snack Food, An AVI Book , published by Van Nostrand Reinhold, New York.
Gouveia, L., Batista, A.P. Raymundo, A., Sousa, I., and Empis, J. 2006. Chlorella vulgaris and Haematococcus pluvialis biomass as coloring and antioxidant in food emulsions. European Food Research and Technology, 222, 362-367.
Gouvia, L., Sousa, I., Batista, A.P., Raymundo, A., and Bandarra, N.M. 2008. Microalga in novel food products. Food Chemistry Research Developments, 978-1-60456-262-0.
Gouveia, L., Batista, A.P., Raymundo, A., Bandarra, N.M. 2008b. Spirulina maxima and Diacronema vlkianum microalgae in vegetable gelled desserts. Nutrition and Food Science 38: 492–501.
Gross, U., and Gross, R. 1978. Acceptance and product selection of food fortified with the microalga Scenedesmus. Archiv fur Hydrobiologie, Beihefte Ergebnisse der Limnologie, 11: 174-183.
Jacket, J. 1974.. Utilisations biologiques des Spirulines. Bulletin de l'Académie veterinaire de France, 47: 133-143.
Jensen, G. S., Ginsberg, D. I., Drapeau, C. 2001. Blue-green alga as an immune-enhancer and biomodulator. Journal of American Nutraceutical Association, 3:24-30.
Jespersen, L., Stromdahl, L.D., Olsen, K., and Skibsted, L.H. 2005. Heat and light stability of three natural blue colorants for use in confectionery and beveranges. European Food Research and Technology, 220: 261-266.
Kealy, T. 2006. Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterization of semi-solid food. Food Reserch International, 39: 265-276.
Lau M. H., Tang J., Paulson A. T. 2000. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mied gels. Food Research International, 33: 665-671.
Lodge, N. 1981. Kiwifruit: two novel processed products, Food Technology in New Zealand, 16 (7): 35-43.
Lucyszyn, N., Quoirin, M., Koehler, H.S., Reicher., Sierakowski. M. R. 2009. Agar/ galactomannan blends for strawberry (Fragaria x ananassa Duchesne) cv. Pelican micropropagation. Scientia Horticulturae 107: 358-364.
Morris, E.R. 1990. In Food Gels, Edited by Harris, P. Elsevier Applied Science, London , UK, Chapter , 8: 291p.
Picullel, L., & Lindmann, B. (1992). Association and segregation in aqueous polymer/ polymer, polymer/surfactant, and surfactant/surfactant mixtures. Similarities and differences. Advances in Colloid and Interface Science, 41, 149e178.
Pulz, O., and Gross, W. 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, 65: 635-648.
Richmond, A. 1992. Mass culture of cyanobacteria. In: Mann, N., Carr, N., Eds. PHotosynthetic prokaryotes. 2nd ed);Plenum Press, New York and London,181-210.
Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kamat, M.Y. 2008. Supercritical CO2 extraction of clinolenic acid (GLA) from Spirulina platensis ARM 740 using response surface methodology. Journal of Food Engineering, 84: 321–326.
Sekar, S. and Chandramohan, M. 2008. PHyocobiliproteins as a commodity: trends in applied research, patents and commercialization. Journal of Applied PHycology, 20: 113-136.
Selvam, R. 2002. Calcium oxalate stone disease: role of lipid peroxidation and antioxidants. Urol. Res, 30: 35-47.
Setser, C.S., and Brannan, G.D. 2003. Carbohydrates/Sensory properties. Elsevier Science Ltd.
Shahidi, F., M. Mohebbi, M. F. Rezaee, S. Khalilian, .2009.Apple pastille: Correlation between features extracted from texture image analysis and sensory characteristics: 5th International symposium on food rheology and structure.
Shetty K., Paliyath G., Pometto A., and Levin R.E., 2006, Food Biotechnology, CRC Press, p.498.
Szczesniak A.S., 2002, Texture is a sensory property. Food Quality and Preference 13: 215-225.
Tolstoguzov, v. B. (1995). Some pHysico- chemical aspects of protein protein processing in foods. Multicomponent gels. Food Hydrocolloidsm 9, 317-332.
Tsami, E, Marinous, DM. 1990. Water sorption isotherms of raisins, currant, figs, prunes and apricots. Journal of Food science 55: 1594- 1597.
Vonshak, A. 2002. Spirulina platensis (Arthrospira): PHysiology, cell-biology and biotechnology.. Taylor and Francis group.
Vyssoulis, G.P., Karpanou, E.A., Papavassiliou, M.V., Belegrinos, D.A., and Giannakopoulou, A. 2001. Side effects of antihypertensive treatment with ACE inhibitors. American journal of hypertension, 14(4): 114-125.
Williams P. A and PHillips, G. O. 2000. Handbook of hydrocolloid, Introduction to food hydrocolloids. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 12, No. 1, Apr. May. 2016, p. 21- 33

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۲، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۳۹۵ ص.۳۳-۲۱

Study of different levels of micro-algae SpirulinaPlatensis on the Microstructure and Psychochemical and Sensory Characteristics of Kiwi pastille

E. khazaiy pool[1], F. Shahidi[2*] , S.A. Mortazavi[3] , M. Mohebbi[4]

Received: 2012-11-05
Accepted: 2013-09-06

Introduction: Kiwifruit (*Actinidia* sp.) has many appealing properties for consumers such as flavor, color, and nutritional content, especially vitamin C. Kiwi seems to be used as one of the major ingredients within the formulation of this category of foods.

Microalgae are nutritional and innovative natural sources that can be used in the development of novel foods. Among the known species of algae, *Chlorella vulgaris* and *Spirulinaplatensis* are common edible microalgae that have no side effects on health of human. The amino acid, carbohydrate, and fatty acid profiles of these microalgae are very similar to those of other food materials. *Spirulina* is a multicellular filamentous blue-green microalga, which was introduced as generally recognized as safe (GRAS) after being approved by food and drug administration (FDA). *Spirulina* can also be incorporated into common food preparations such as pastas, biscuit, bread, snack,pastille, candy, yoghurt, soft drink, causing health-promotion that are associated with microalgae biomass.

The aim of this study was to investigate the possibility of producing new product based on kiwifruit and its enrichment with *Spirulinaplatensis* microalgae so that this product could replace common snacks, especially the pastilles containing synthetic colors and flavors, which have increasingly been used day by day despite having a low nutritional value and causing a variety of side effects. The role of pHysicochemical and sensory properties is very important in producing new products which can help producers design the products suitably. Therefore, some of the pHysicochemical properties of the kiwi base pastille were examined in this study, as well as the formulation and enrichment of it with *Spirulinaplatensis*.

Material and methods: The ingredients of the formulations consist of 65% w/w kiwifruit puree, 30% w/w sweeteners (sugar, powdered glucose, invert syrup and sorbitol), 0.25% w/w high methoxyl pectin, 0.5% Agar, 0.5% Guar and *Spirulinaplatensis*(0, 0.25, 0.5, 1 and 2% w/w) as well.In order to produce fruit pastille based on kiwifruit puree, the kiwifruits were fist washed up, peeled and cut into pieces. Then the pieces were grinded. The prepared puree was mixed with *Spirulinaplatensis*, hydrocolloids and sweeteners at 70°C with specific ratios. Agar was dissolved in distilled water at 90°C and added to the concerned mixture. Finally, after moderating pH to 3.4 by adding 40 M citric acid and controlling the Brix degree in constant Brix of 45, the mixture was prepared. The mixture was then poured into stainless steel mesh molds with cavity dimensions of 1.2 cm × 2 cm × 2 cm and the molds were kept at 4°C for 2 hours to form the gel. Then the obtained gel was taken out of the mold cavities and the samples were dried at 70°Cfor 6 hours in a hot air drier with 1.5 m/s airflow rate. Then the regarded tests were performed on the dehydrated samples. To measure pH, pH meter (Hana, Portugal) was used. The measurement of mixture Brix was performed by an optical refract meter (Carlze, Germany). The drying process of the samples was conducted in a hot air drier (Soroush Medicine Co. Iran).

Moisture, protein, fiber, lipid, ash, vitamin C, calcium and iron elements were measured according to the Iran national standard.

Texture profile analyzer (QTS25 CNS Farnell England) equipped with a software was used to determine the textural properties of the samples. Samples were compressed and decompressed in two reciprocating cycles by a round plate cylindrical probe with 3.5 cm diameter, 1 mm/s probe speed and 5 g force to 30% initial height.Histological properties obtained from force-deformation curve are as follows: Hardness, Cohesiveness, Elasticity, Adhesiveness and Chewiness.

Sensory test was performed with the judgment of 10 trained panelists. In order to evaluate the samples. A 9-

1 - pH.D student, Department of Food Science & Technology, Urmia University.
2,3 and 4 - Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: Fshahidi@um.ac.ir)

point Hedonic method (1: very undesirable - 9: very desirable) was used. 5 sensory attributes (color, texture, flavor, odor and overall acceptance) were evaluated.

SPSS software was used for the statistical analysis of the parameters. Mean of the replicates were compared via the multi-range Duncan`s test at 95% confidence level.

In order to pHotograpHy with Scanning electron microscope, initial preparation should perform on all of samples.The obtained sampleswas removed from the templates and were sectioned on a scale of 2×1×1mm. samples were dehydrated in ethanol solution and then dried in a critical point. Then samples with 30 nm of gold/palladium coated and were tested using SEM (model LEQ1450VP) in the maximum voltage of 15 kv. At least four images with magnification of 500, 1000, 2000 and 5000 were prepared in several different areas of the samples.

Results and discussion: The obtained results indicated that the effect of *Spirulina*was significant on the moisture content and increasing *Spirulina*concentration led to increased moisture content of the product.The results of texture profile analysis indicated that the hardness and chewness was increased, but the cohesivness of samples was decreased when the amount of *Spirulina* is increased. The amount of protein, vitamin C, total ash, iron and calcium was increased by increasing the amount of *Spirulina*. SEM microscopic results showed that adding up *Spirulina* is led to the reduction of the uniformity of sample's structure and then the gel matrix will be created with a larger pore. Results of sensory analysis indicate that samples containing 0.25% *Spirulina* have sensory characteristics (color, aroma, flavor and overall acceptability) than other samples.

Keywords: Texture Profile Analysis, *SpirulinaPlatensis*, Sensory Evaluation, Kiwi Pastille, Compounds Chemical.