

بهینه‌سازی فرمولاسیون نوشیدنی فراسودمند هلو و بررسی ویژگی‌های حسی، فیزیکی و شیمیایی آن

الهام افشانی^۱، زهرا بیگ محمدی^{۲*}، عادل میرمجیدی هشتجین^۳

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، ایران.

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۱۵)

چکیده

هدف از این پژوهش، تولید یک نوشیدنی فراسودمند هلو است. بدین منظور، فرمولاسیون این نوشیدنی شامل پروتئین آب‌پنیر (۵-۱٪)، استویا (۰/۰۸-۰/۰۴٪) به عنوان جایگزین شکر و اینولین (۸-۴٪) به وسیله روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی بهینه‌سازی شد. یافته‌ها نشان دادند که بریکس نمونه‌ها به طور قابل توجهی با افزایش پروتئین آب‌پنیر یا اینولین ارتقاء پیدا کرد ولی استویا از تاثیر معنی‌داری بر آن برخوردار نبود. مشاهده شد که پروتئین آب‌پنیر به صورت معنی‌داری باعث افزایش رسوب و اینولین باعث کاهش آن شد. با این حال، هر دو به گونه معنی‌داری افزایش کدورت را به همراه داشتند. استویا نیز از تاثیر معنی‌داری بر رسوب و کدورت برخوردار نبود. با استفاده از روش سطح پاسخ، چهار نمونه شامل نمونه دارای کمترین رسوب (کد ۱)، نمونه دارای کمترین رسوب و بیشترین استویا (کد ۲)، نمونه دارای کمترین رسوب و بیشترین پروتئین (کد ۳) و نمونه دارای کمترین رسوب، بیشترین استویا و بیشترین پروتئین (کد ۴) برگزیده شدند. نتایج نشان داد که همه نمونه‌ها دارای یک رفتار غلیظ‌شونده با برش هستند. اگرچه تفاوت‌های بسیار جزئی بین شاخص‌های رفتار جریانی آن‌ها مشاهده شد. از نقطه نظر ویژگی‌های حسی شامل طعم، بو و احساس دهانی نیز تفاوت معنی‌داری بین این چهار نمونه مشاهده نشد ولی پذیرش کلی نمونه کد ۲ به طور معنی‌داری بهتر از نمونه کد ۱ بود اگرچه تفاوت معنی‌داری با نمونه کد ۳ و ۴ نداشت. در پایان، می‌توان نمونه کد ۲ (پروتئین آب‌پنیر ۱/۱۹٪، استویا ۰/۰۸٪ و اینولین ۷/۳۴ درصد وزنی/وزنی) را به عنوان نمونه دارای کمترین رسوب (حدود ۱۰٪) و بالاترین کیفیت ارگانولپتیک به عنوان بهترین نمونه معرفی نمود.

کلید واژگان: آب هلو، پروتئین آب‌پنیر، استویا، اینولین، روش سطح پاسخ، فراسودمند

* مسئول مکاتبات: Beigmohammadi.zahra@gmail.com

۱- مقدمه

آگاهی روزافزون مصرف‌کنندگان نسبت به نقش تغذیه در سلامت، منجر به افزایش تقاضا برای غذاهای فراسودمند شده است. غذاهای فراسودمند، سلامت‌افزا یا عملگر به غذاهایی گفته می‌شود که علاوه بر ویژگی‌های معمول تغذیه‌ای، دارای ترکیبات یا اجزایی هستند که سلامت فرد را ارتقا داده و خطر ابتلا به برخی بیماری‌ها را کاهش می‌دهند [۱]. پروتئین‌های آب‌پنیر به دلیل ارزش بیولوژیکی بسیار بالا و همچنین دارا بودن توالی‌های پپتیدی با ویژگی‌های کاهندگی کلسترول خون، ضد فشار خون، ضد دیابت، ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، تسکین‌دهندگی، القای احساس سیری (در ارتباط با افراد دارای اضافه وزن و چاق) و ... از پتانسیل بالایی برای استفاده در فرمولاسیون‌های غذایی فراسودمند برخوردار می‌باشند [۲]. در بین محصولات غذایی گوناگون، آب‌میوه‌ها به دلیل پروفایل تغذیه‌ای ارزشمند، ویژگی‌های ارگانولپتیک خوشایند و همچنین محبوبیت بالا بین گروه‌های سنی مختلف، یکی از کاندیداهای اصلی برای تلفیق پروتئین‌های آب‌پنیر به شمار می‌آیند. با این حال، تولید آب‌میوه‌های پروتئینه با چالش‌هایی همچون تاثیر منفی پروتئین‌های آب‌پنیر بر ویژگی‌های حسی محصول نهایی، کدورت و ته‌نشست روبرو می‌باشد [۳].

ویژگی‌های ارگانولپتیک ناخوشایند نوشیدنی‌های پروتئینه معمولاً به طعم گسی^۱ آنها نسبت داده می‌شود. گفته می‌شود که طعم گسی آب‌میوه‌های پروتئینه در نتیجه تشکیل کمپلکس‌های پروتئین آب‌پنیر- پروتئین بزاق و در پی آن، رسوب آن‌ها در حفره‌های دهانی حاصل می‌شود [۴]. استفاده از مقادیر بالای شیرین‌کننده، به عنوان راهکاری برای چیرگی بر پس‌طعم گسی ناخوشایند این نوشیدنی‌ها عنوان شده است [۵]. با این حال، نوشیدنی‌های حاوی درصد بالایی از شیرین‌کننده‌هایی همچون ساکاروز، برای برخی از گروه‌های سنی همچون خردسالان و سالمندان و همچنین افراد مبتلا به بیماری‌هایی همچون اضافه وزن، چاقی مفرط و دیابت، مناسب نمی‌باشند. یکی دیگر از چالش‌های پیش روی تولید چنین نوشیدنی‌هایی، دناتورشدن پروتئین‌های آب‌پنیر در نتیجه پاستوریزاسیون حرارتی محصول و در پی آن، تشکیل تجمع‌های پروتئینی می‌باشد که باعث کدرشدن ظاهر نوشیدنی و همچنین تشکیل لایه‌های رسوب در آن طی دوره نگهداری می‌باشد [۶]. یکی از راهبردهای موثر

برای چیرگی بر این چالش، کاهش pH نوشیدنی پروتئینه به مقادیری به مراتب کمتر از نقطه ایزوالکتریک پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشد [۳]. با این حال، ماهیت بسیار اسیدی این نوشیدنی‌ها، خود، عامل ایجاد طعم گسی آنها می‌باشد [۷]. بر این اساس، استفاده از استراتژی‌های جایگزین اسیدی‌کردن برای جلوگیری از کدورت و رسوب، و همچنین، استفاده از شیرین‌کننده‌های دیگری به جای شکر در فرمولاسیون آب‌میوه‌های حاوی پروتئین‌های آب‌پنیر، از اهمیتی دوجندان برخوردار می‌باشد.

یکی از راهکارهای کاهش رسوب نوشیدنی‌های پروتئینه استفاده از ترکیبات ویسکوزکننده می‌باشد [۸]. تیموری و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که اینولین قادر به ممانعت کامل از دوفازشدن نوشیدنی‌های آب‌آلبالو پروتئینه می‌باشد [۸]. اینولین پلی‌ساکاریدی متشکل از واحدهای D-فروکتوز با درجه پلیمریزاسیون ۲ تا ۶۰ است که توسط پیوندهای β (۱→۲) به یکدیگر متصل شده‌اند و معمولاً یک مولکول گلوکز با پیوند α (۱→۴) به یک انتهای زنجیره فروکتوزی متصل و تشکیل یک مولکول ساکارز را می‌دهد [۹]. اینولین به صورت طبیعی در طیف وسیعی از گیاهان از جمله گل کوبک، کنگر فرنگی و کاسنی به عنوان یک پلی‌ساکارید ذخیره‌ای و بوسیله سوش‌های باکتریایی از خانواده سودوموناسه، آنتروباکتریاسه، استرپتوکوکاسه، اکتینومیناسه و باسیلاسه به عنوان یک پلی‌ساکارید خارج‌سلولی تولید می‌شود [۱۰]. اینولین عمدتاً به عنوان جایگزین چربی، جایگزین شکر و پری‌بیوتیک در فرآورده‌های لبنی، گوشتی و غلات مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، به دلیل ویژگی‌های قوام‌دهندگی و ویسکوزکنندگی، از پتانسیل بالایی برای پایداری نوشیدنی‌های پروتئینه برخوردار می‌باشد [۱۱]. در واقع، گمان می‌رود که اینولین با افزایش ویسکوزیته نوشیدنی، امکان بهم‌پیوستن پروتئین‌های دناتورده شده به یکدیگر و تشکیل تجمع‌های پروتئینی که عامل اصلی ایجاد کدورت و رسوب در این فرآورده‌ها می‌باشد را کاهش می‌دهد [۳]. افزون بر این، کاربرد اینولین در فرمولاسیون چنین نوشیدنی‌هایی، مصرف‌کننده را از ویژگی‌های سلامت‌بخش آن از جمله کاهش خطر ابتلا به بیماری چربی خون بالا و بیماری‌های قلبی-عروقی، تقویت سیستم ایمنی، درمان یبوست، بهبود جذب کلسیم، منیزیم و

1. Astringency

پاسخ، با هدف دستیابی به محصولی با کمترین کدورت و رسوب و بهترین ویژگی‌های حسی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پوره هلو از شرکت تکدانه (تهران، ایران)، پودر کنستانتره پروتئین آب‌پنیر (WPC) (۷۰ درصد پروتئین، ۱۶/۵ درصد لاکتوز، ۸ درصد خاکستر و ۰/۵ درصد چربی) از شرکت هیراد پودر (تهران، ایران) و اینولین متوسط زنجیر (با درجه پلیمریزاسیون ۹-۱۲) از شرکت پویاکابک (تهران، ایران) خریداری شدند. استویا نیز از شرکت تکفا (تهران، ایران) تهیه شد. اسید سیتریک و هیدروکسید سدیم از شرکت مرک خریداری شدند.

۲-۲- تولید نمونه

برای تهیه نمونه‌های نوشیدنی هلو فراسودمند، ابتدا، یک محلول ۱۶٪ وزنی/وزنی از پروتئین آب‌پنیر در دمای محیط با همزدن بوسیله یک همزن مغناطیسی (مدل D91126، شرکت Heidolph، ساخت آلمان) در سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه تهیه شد و به مدت یک شب در دمای یخچال نگهداری شد تا به خوبی آبدار شود. سپس، بر اساس طرح آزمایش (جدول ۲-۲)، محلول پروتئین آب‌پنیر، استویا و اینولین به‌وسیله یک ترازوی دیجیتال (مدل BP 210s، شرکت Sartorius، ساخت آمریکا) به دقت توزین شده و پس از افزودن به پوره هلو، با آب دو بار تقطیر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسیده و بوسیله یک همزن مغناطیسی در سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه در دمای محیط به خوبی هم‌زده شدند. در ادامه، pH همه نمونه‌ها با افزودن اسید سیتریک، به مقدار ثابت ۳/۶ تنظیم شده و به‌وسیله یک بن‌ماری (مدل 620، شرکت Rostfrei، ساخت آلمان) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه پاستوریزه شدند. در نهایت، نمونه‌ها پس از سرد شدن تا دمای محیط، در ظروف پلی‌اتیلنی ۳۰۰ میلی‌لیتری پر شدند و تا زمان انجام آزمون‌ها که حداکثر ۲۴ ساعت بود در یخچال نگهداری شدند [۳].

۲-۳- pH

برای اندازه‌گیری pH نمونه‌های نوشیدنی فراسودمند آب هلو، الکتروود دستگاه pH متر (مدل 691، شرکت Metrohm،

آهن، تقویت رشد میکروارگانیسم‌های مفید روده و .. بهره‌مند خواهد ساخت [۱۲].

امروزه استفاده از شیرین‌کننده‌های کم‌کالری جایگزین ساکاروز از جمله استویا، در فرآورده‌های غذایی بسیار گسترده می‌باشد. شیرین‌برگ یا استویا ربادیانا^۱ گیاهی از تیره کاسنیان است که پودر بدست آمده از برگ آن، چیزی حدود ۳۰۰ برابر شیرین‌تر از ساکاروز است [۱۳]. ماده‌ی شیرین‌کننده استویا که به استویوزید معروف است. کالری‌زا نیست و در سیستم گوارش جذب نمی‌شود. حلالیت چشمگیر در آب، مقاومت بالا به حرارت و نور، پایداری در محلول‌های اسیدی و بازی و همچنین تایید آن بوسیله مجامع مختلف بین‌المللی متصدی بهداشت و سلامت، این شیرین‌کننده را به جایگزین ایده‌آلی برای ساکاروز بدل کرده است [۱۴]. ویژگی‌های سلامت‌بخش استویا همچون ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی و ضد قارچی و همچنین حضور ترکیباتی مانند اسید فولیک، ویتامین ث و اسید آمینه‌های ضروری در پروفایل شیمیایی آن، از دیگر دلایل جذابیت استفاده از آن در فرمولاسیون‌های غذایی کم‌کالری می‌باشد [۱۴].

با وجود پژوهش‌هایی که در ارتباط با تولید آب‌میوه‌های حاوی پروتئین‌های آب‌پنیر صورت گرفته است، تا کنون پژوهشی که در آن از اینولین به عنوان عامل کاهنده کدورت و رسوب و از استویا به عنوان جایگزین شکر در آب میوه تلفیق شده با پروتئین‌های آب‌پنیر استفاده شده باشد، گزارش نشده است. لازمه دستیابی به فرمولاسیون بهینه چنین فرآورده‌ای، تولید نمونه‌های فراوان و انجام آزمون و خطا می‌باشد که خود مستلزم صرف هزینه‌های مالی و زمانی زیادی می‌باشد. طی سال‌های اخیر، کارایی روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی فرمولاسیون فرآورده‌های غذایی نوین به اثبات رسیده است. روش سطح پاسخ، شمار نمونه‌های مورد آزمون را کمینه می‌کند و با معرفی مدل‌های ریاضی بین متغیرهای وابسته و مستقل، ضمن فراهم کردن امکان بررسی اثر منفرد و متقابل اجزای فرمولاسیون بر ویژگی‌های محصول، فرمولاسیون بهینه محصول را نیز پیشنهاد می‌کند [۱۵]. از این رو، هدف از این پژوهش، بهینه‌سازی اجزای فرمولاسیون آب هلو فراسودمند شامل پروتئین آب‌پنیر، اینولین و استویا بوسیله روش سطح

1. *Stevia rebaudiana*

مقدار معینی از هر نمونه در سل دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV/Vis 2100، شرکت UNICO، ساخت چین) ریخته شد و جذب آن در طول موج ۳۶۵ نانومتر خوانده شد و به عنوان میزان کدورت نمونه‌های نوشیدنی گزارش شد.

۲-۸- گرانروی و رفتار جریان

برای اندازه‌گیری گرانروی و تعیین رفتار جریانی، از دستگاه گرانروی سنج بروکفیلد (Brookfield مدل DVIII ساخت آمریکا) استفاده شد. برای این منظور، نمونه محصول در یک بشر ۶۰۰ میلی‌لیتری تا رسیدن به خط شاخص ارتفاع ریخته شد. سپس، گرانروی نمونه‌ها در دمای 20 ± 2 درجه سلسیوس (با استفاده از سنسور دمایی با پروب DVP-94Y) با استفاده از دوک (اسپندل) مناسب در نرخ برش ۰ تا ۲۰۰۰ بر ثانیه به منظور یافتن رفتار جریانی محصول اندازه‌گیری شد. نمایه‌های قوام و جریان با برازش داده‌های تجربی بر مدل قانون توان^۱ (رابطه ۲) به دست آمدند:

رابطه (۲)

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n$$

در این معادله، σ بیانگر تنش برشی (pa)، K اندیس قوام ($\text{pa} \cdot \text{s}^n$)، $\dot{\gamma}$ نرخ برشی (s^{-1}) و n اندیس جریان می‌باشد [۱۷].

۲-۹- ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی نمونه‌های تولیدی نوشیدنی از افراد آموزش‌دیده و آزمون هدونیک پنج نقطه‌ای با مشخصات امتیازی ۱ تا ۵ به نحوی که امتیاز ۱ برای بدترین نمونه و امتیاز ۵ برای مطلوب‌ترین نمونه استفاده می‌گردد. نمونه‌ها از نظر خصوصیاتی مانند رنگ، طعم، احساس دهانی و پذیرش کلی مورد بررسی قرار خواهند گرفت [۱۸].

۲-۱۰- طرح آزمایش و تحلیل آماری

تیمارهای مختلف نوشیدنی فراسودمند هلو به وسیله روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی (CCD^2) تعریف شدند. طرح مورد نظر با استفاده از سه فاکتور در سه سطح طراحی شد. فاکتورها شامل کستانتره پروتئین آب‌پنیر،

ساخت سوئیس) درون نمونه قرار داده شد و pH آن قرائت شد.

۲-۴- اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته نوشیدنی‌های فراسودمند هلو، مطابق با دستورالعمل استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۳۴۵، ۱۰ میلی‌لیتر از هر نمونه به یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن میزان pH به ۸/۲ تیترا شد. اسیدیته بر اساس حجم سود مصرفی و بر حسب اسید سیتریک در میلی‌لیتر نمونه طبق معادله زیر محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$S = \frac{N \times 0.0064 \times 100}{S}$$

اسیدیته

S: مقدار نمونه برداشته شده

N: حجم سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر [۱۶].

۲-۵- بریکس

اندازه‌گیری مواد جامد کل محلول (بریکس) نمونه‌های مختلف نوشیدنی به وسیله دستگاه رفاکتومتر (مدل 2081، شرکت MC، ساخت ژاپن) انجام شد. برای این منظور، پس از کالیبره کردن رفاکتومتر به وسیله آب مقطر در دمای محیط، یک قطره از نمونه روی سطح شیشه‌ای دستگاه قرار گرفت و با بستن درب دستگاه و تنظیم خط وسط، بریکس نمونه تعیین شد [۱۶].

۲-۶- رسوب

برای اندازه‌گیری میزان دو فاز شدن یا همان رسوب نمونه‌های مختلف نوشیدنی فراسودمند هلو، ابتدا ۱۵ میلی‌لیتر از هر نمونه در لوله‌های استوانه‌ای شکل مدرج منتقل و طی مدت یک شبانه روز در دمای یخچال (دمای ۵ درجه سلسیوس) نگهداری شد. سپس، با اندازه‌گیری حجم فاز پایینی هر نمونه و تقسیم آن بر حجم کل نمونه و ضرب عدد به دست آمده در ۱۰۰، میزان رسوب بر حسب درصد گزارش شد [۳].

۲-۷- کدورت

برای سنجش کدورت فرمولاسیون‌های مختلف نوشیدنی‌های فراسودمند هلو، از روش طیف‌سنجی استفاده شد. بدین منظور،

1. Power-law model
2. Central Composite Design

می باشند. تحلیل سطح پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۷ صورت پذیرفت. برای بررسی معنی داری اختلاف بین تیمارهای برگزیده از نقطه نظر پارامترهای رفتار جریان و ویژگی های حسی، از آزمون چند دامنه ای دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد، به وسیله نرم افزار SPSS نسخه ۲۱،۰ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- pH و اسیدیته

داده های به دست آمده از اندازه گیری اسیدیته فرمولاسیون های مختلف نوشیدنی آب هلو فراسودمند در جدول ۱ نشان داده شده است. pH تمامی نمونه ها، پیش از فرآیند پاستوریزاسیون حرارتی به مقدار ثابت ۳/۶ تنظیم شد. از این رو، و با توجه به ارتباط تنگاتنگ pH و اسیدیته، تغییرات اسیدیته فاقد اهمیت آماری بود.

استویا و اینولین بودند. طرح مرکب مرکزی با استفاده از ۳ فاکتور دارای ۳ سطح، ۲۰ تیمار نوشیدنی با فرمولاسیون های مختلف ارائه کرد (جدول ۱). بطور کلی ۲۰ تیمار نوشیدنی تعریف شده بوسیله طرح CCD شامل سه گروه مجزا بودند. گروه تیمارهای مرکزی شامل ۶ نمونه بوده که همگی متغیرها در سطح صفر تعریف شده اند. گروه تیمارهای محوری شامل ۶ نمونه و ترکیبی از سطوح -۱، +۱ و صفر، و گروه تیمارهای مکعبی شامل ۸ نمونه که ترکیبی از سطوح -۱ و +۱ بودند. یک مدل چند جمله ای درجه دوم (رابطه ۳) به داده های تجربی برازیده شد:

رابطه (۳)

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^5 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^5 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i+1}^5 \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon_{ij}$$

که Y پاسخ (میانگین خطای مطلق) و β_0 ، β_i ، β_{ii} و β_{ij} ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبدا، خطی، درجه دوم و برهمکنش ها بوده و X_i و X_j متغیرهای مستقل

Table 1 Physicochemical properties of functional peach juice beverages

Run order	Independent variables				Dependent variables			
	WPC	Stevia	Inulin	pH	Acidity (%)	Brix (°)	Sedimentation (%)	Turbidity
1	1	0.04	4	3.6	0.08	12	13	0.7
2	1	0.08	4	3.6	0.07	13	13.75	0.7
3	3	0.06	6	3.6	0.06	13	18.75	2
4	3	0.06	6	3.6	0.06	13	19.4	1.7
5	1	0.06	6	3.6	0.08	12.5	11.75	0.7
6	3	0.06	6	3.6	0.07	13	18.3	2.1
7	1	0.04	8	3.6	0.07	11.5	7.5	1.4
8	1	0.08	8	3.6	0.07	12.5	8.75	1.3
9	3	0.08	8	3.6	0.06	14.5	14.2	2
10	3	0.08	6	3.6	0.07	12	18.75	2
11	3	0.06	4	3.6	0.08	13	26.5	2
12	5	0.08	4	3.6	0.08	12.5	50	1.9
13	5	0.06	6	3.6	0.09	14.5	40	2.1
14	3	0.04	6	3.6	0.07	12.5	19.6	2.3
15	3	0.06	6	3.6	0.07	13	20.1	2.3
16	3	0.06	6	3.6	0.07	13.5	18.7	2.1
17	5	0.08	4	3.6	0.09	15	25.83	2.2
18	5	0.04	8	3.6	0.07	16	26.8	2.2
19	3	0.06	6	3.6	0.06	13	21.4	1.9
20	5	0.04	4	3.6	0.07	14	49.16	2.3

۳-۲- بریکس

بر اساس یافته‌های آماری (جدول ۲) و آن‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، استویا از تاثیر معنی‌داری ($P > 0.05$) بر بریکس نوشیدنی آب هلوی فراسودمند برخوردار نبود. با این حال، پروتئین‌های آب‌پنیر و اینولین هر دو به گونه معنی‌داری ($P < 0.01$) بریکس نوشیدنی‌های موردنظر را تحت تاثیر قرار دادند. ضریب مثبت این دو متغیر در مدل ریاضی اجزای فرمولاسیون و بریکس (رابطه ۴)، نشان‌دهنده افزایش بریکس در نتیجه افزایش میزان پروتئین‌های آب‌پنیر یا اینولین می‌باشد. در بین تاثیر متقابل اجزای فرمولاسیون بر بریکس، برهم‌کنش پروتئین آب‌پنیر-اینولین، و پروتئین آب‌پنیر-استویا از لحاظ آماری، معنی‌دار بود ($P < 0.01$). آن‌گونه که در نمودارهای سطح پاسخ تاثیر متقابل این اجزا می‌توان دید (شکل ۱)، در غلظت‌های بالاتر اینولین، تاثیر افزایشی پروتئین آب‌پنیر بر بریکس تشدید شده است. این پدیده در مورد اینولین نیز صادق بود. بدین معنی که در غلظت‌های بالاتر پروتئین آب‌پنیر، تاثیر اینولین بر بریکس چشمگیرتر بوده است. در ارتباط اثر متقابل پروتئین آب‌پنیر-استویا نیز مشاهده شد که شیب افزایش بریکس در نتیجه افزایش پروتئین آب‌پنیر، در غلظت‌های بالاتر استویا نسبت به غلظت‌های پایین‌تر آن، کمتر بوده است. بر اساس داده‌های آماری، تغییرات بریکس به‌وسیله یک مدل درجه دوم قابل توضیح می‌باشد (جدول ۲). مقدار ضریب تعیین یا همان R^2 مدل یادشده، نشان دهنده این است که حدود ۹۵٪ تغییرات بریکس به‌وسیله تغییرات اجزای فرمولاسیون قابل توضیح است. معنی‌دار نبودن شاخص عدم برازش نیز، نشان‌گر عدم نیاز به گنجاندن سایر متغیرها (به جز سه متغیر مورد بررسی) برای مدل‌کردن تغییرات بریکس به‌وسیله اجزای فرمولاسیون می‌باشد (جدول ۲).

معادله (۳)

$$Y = 13.14 + 1.05 \beta_1 + 0.50 \beta_3 - 0.56 \beta_1 \beta_2 + 0.69 \beta_1 \beta_3 - 0.67 \beta_2^2 + 0.55 \beta_3^2$$

Y: بریکس؛ β_1 : پروتئین آب‌پنیر؛ β_2 : استویا و β_3 : اینولین

تاکنون، استاندارد واحدی، دست‌کم در سطح ملی، برای بریکس نوشیدنی‌های پروتئینه تدوین نشده است که احتمالاً به

دلیل عدم تولید صنعتی این گروه از محصولات در کشور می‌باشد. وجود تفاوت‌های بسیار در بریکس نوشیدنی‌های پروتئینه در نتایج پژوهش‌های مختلف، به‌طور ضمنی عدم وجود یک استاندارد بین‌المللی مورد توافق مجامع علمی را نیز تایید می‌کند. بریکس نوشیدنی‌های تولیدی در این پژوهش، در محدوده ۱۲-۱۶ قرار داشتند. در پژوهش مشابه‌ای، بریکس نوشیدنی‌های آب‌سیب حاوی ایزوله پروتئین آب‌پنیر بین ۱۰ تا ۲۱ و بریکس انواع حاوی هیدرولیزات پروتئین آب‌پنیر بین ۱۵ تا ۱۹ متغیر بودند [۳].

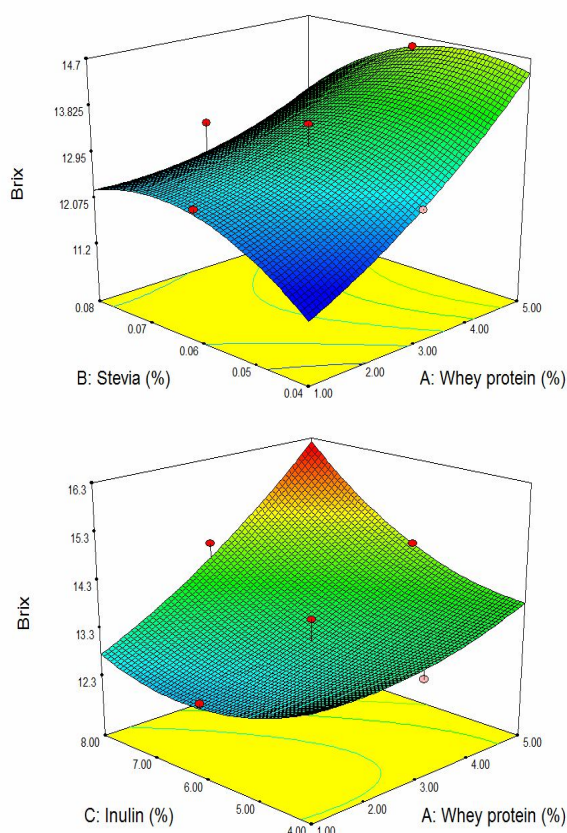


Fig 1 Surface plots for the interaction effects of formulation ingredients on the brix of functional peach juice beverages

امیر خمیریان و همکاران (۱۳۹۶) نیز در تلاش برای بهینه‌سازی فرمولاسیون نوشیدنی پروبیوتیک پرتقالی تولیدشده بر پایه تراوه آب‌پنیر گزارش کردند که بریکس نمونه بهینه حدود ۱۴/۵ می‌باشد [۱۹]. در پژوهش مشابه دیگری نیز که از تراوه عاری از لاکتوز و مواد معدنی، برای تولید یک نوشیدنی انبه فراسودمند استفاده شده بود، بریکس نوشیدنی‌های تولیدی بین ۵/۵ تا ۱۸/۵ متغیر بودند [۲۰].

Table 2 Analysis of variance (ANOVA) for brix of functional peach juice beverages

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-value	P-value
Model	22.27	9	2.47	26.61	< 0.0001**
β_1	11.02	1	11.02	118.57	< 0.0001**
β_2	0.020	1	0.020	0.22	< 0.6513 ⁿ
β_3	2.50	1	2.50	26.89	< 0.0004**
$\beta_1 * \beta_2$	2.53	1	2.53	27.22	< 0.0004**
$\beta_1 * \beta_3$	3.78	1	3.78	40.67	< 0.0001**
$\beta_2 * \beta_3$	0.031	1	0.031	0.34	< 0.5749 ⁿ
β_1^2	0.26	1	0.26	2.81	< 0.1243 ⁿ
β_2^2	1.48	1	1.48	15.97	< 0.0025*
β_3^2	0.88	1	0.88	9.47	< 0.0117*
Residual error	0.93	10	0.093	-	-
Lack of fit	0.23	5	0.046	0.33	< 0.8765 ⁿ
Pure error	0.70	5	0.14	-	-
Total error	23.20	19	-	-	-
	$R^2 = 0.96$	$R^2_{\text{adjusted}} = 0.92$	$R^2_{\text{predicted}} = 0.85$		
	C.V. = 2.31	Press: 3.46			

** Significant at 1% ($p < 0.01$); * Significant at 5% ($p < 0.05$); n: not significant. β_1 : Whey protein; β_2 : Stevia; β_3 : inulin

ضریب R^2 مدل یاد شده، نشان دهنده این است که بیش از ۹۹٪

تغییرات رسوب به وسیله تغییرات اجزای فرمولاسیون قابل توضیح است. معنی دار نبودن شاخص عدم برازش نیز، نشانگر عدم نیاز به گنجاندن سایر متغیرها (به جز سه متغیر مورد بررسی) برای مدل کردن تغییرات رسوب به وسیله اجزای فرمولاسیون می باشد (جدول ۳).

رابطه (۵)

$$Y = 19.84 + 13.70 \beta_1 - 6.93 \beta_3 - 4.50 \beta_1 \beta_3 + 5.56 \beta_1^2$$

Y: رسوب؛ β_1 : پروتئین آب پنیر؛ β_2 : استویا و β_3 : اینولین

رسوب یکی از پیامدهای احتمالی فرآیند پاستوریزاسیون حرارتی نوشیدنی های حاوی پروتئین آب پنیر می باشد [۲۱]. پروتئین های آب پنیر، پروتئین هایی با ساختار گلوبولار هستند که در حالت عادی تمایلی با واکنش با یکدیگر ندارند. در نتیجه فرآیند حرارتی، پروتئین های آب پنیر واسرشته و یا به اصلاح دناتوره می شوند. در نتیجه دناتوراسیون حرارتی پروتئین آب پنیر، گروه های عاملی آن از جمله گروه های سولفیدریل، که پیش تر درون ساختار آن قرار داشتند در سطح قرار گرفته و با برقراری پیوندهای دی سولفیدی با گروه های سولفیدریل پروتئین های مجاور، در تشکیل تجمعات پروتئینی مشارکت می جویند [۲۲]. در حضور گروه های فعال، فرآیند

۳-۳ رسوب

بر اساس یافته ها، مقدار رسوب یا همان درصد فاز پائینی نمونه های مختلف بین ۷/۵ تا ۵۰ درصد متغیر بود (داده ها نشان داده نشده اند). تحلیل آماری این نتایج (جدول ۳) نشان داد که استویا از تاثیر معنی داری ($P > 0.05$) بر رسوب نوشیدنی های فراسودمند هلو برخوردار نمی باشد ولی دو جز دیگر فرمولاسیون شامل پروتئین های آب پنیر و اینولین، میزان این پارامتر را به گونه معنی داری ($P < 0.01$) تحت تاثیر قرار دادند. ضریب مثبت متغیر نخست و ضریب منفی متغیر دوم در مدل ریاضی توصیف کننده میزان رسوب بر حسب تغییر اجزای فرمولاسیون (معادله ۳)، نشانگر این است که با افزایش پروتئین های آب پنیر میزان رسوب به گونه معنی داری افزایش و با افزایش میزان اینولین، میزان آن به گونه معنی داری کاهش یافته است ($P < 0.01$). در بین اثر متقابل اجزای فرمولاسیون نیز، تنها تاثیر دو متغیر یاد شده معنی دار بود ($P < 0.01$). آن گونه که در نمودار سطح پاسخ تاثیر متقابل این دو متغیر بر رسوب در شکل ۲ می توان دید، در غلظت های کم اینولین، شیب افزایش رسوب در نتیجه افزایش پروتئین های آب پنیر بیشتر از غلظت های بالای اینولین بوده است. بر اساس داده های آماری، تغییرات رسوب نوشیدنی های فراسودمند هلو به وسیله یک مدل درجه دوم قابل توضیح می باشد (رابطه ۵). مقدار

شد که در بین چهار نوع نوشیدنی آب پرتقال، آب سیب، آب هلو و آب گلابی، تنها، نوشیدنی آب سیب فاقد رسوب بود [۲۳].

علاوه بر pH، یکی دیگر از راهکارهای کاهش ته‌نشست در نوشیدنی حاوی پروتئین آب‌پنیر، استفاده از هیدروکلوئیدها می‌باشد. این ترکیبات با ویسکوز کردن نوشیدنی، به هم‌پیوستن پروتئین‌های دناتوره شده و یا آگرگیت‌های کوچک را کند و به عبارتی دشوار می‌کنند و بدین ترتیب باعث کاهش ته‌نشست این نوشیدنی‌ها می‌شوند [۲۱]. در پژوهشی در این زمینه، احمدی و همکاران (۲۰۱۸) عنوان داشتند که صمغ با واکنش با پروتئین‌های دناتوره شده آب‌پنیر مانع دوفازشدن نوشیدنی-های آب‌آلبالو پروتئینه می‌شود [۲۴]. البته این استراتژی همواره موفقیت‌آمیز نبوده است. به عنوان مثال، کروژ^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، علی‌رغم استفاده از پکتین به عنوان یک هیدروکلوئید در فرمولاسیون آب میوه حاوی آب‌پنیر، درجات مختلفی از رسوب را مشاهده کردند [۲۵]. کوفی^۲ و همکاران (۲۰۰۵) نیز مشاهده کردند که آب موزهای پروتئینه حاوی پکتین، حاوی رسوبی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد بودند که البته بسته به دما و زمان نگهداری متغیر بود [۲۱]. در پژوهش جاری نیز مشاهده شد که اینولین، رسوب نمونه‌های نوشیدنی را به صورت معنی‌داری کاهش می‌دهد با این حال، هیچ‌یک از فرمولاسیون‌های مورد بررسی فاقد رسوب نبودند. همچنین مشاهده شد که در غلظت‌های بالای پروتئین آب‌پنیر، تاثیر کاهنده اینولین بر رسوب کم‌رنگ‌تر شد. البته برخی از پژوهشگران، مانند کاسترو^۳ و همکاران (۲۰۰۹) به طور کلی عدم تاثیر معنی‌دار افزودن غلظت‌های مختلف الیگوفرکتوز بر سینرسیس نوشیدنی‌های تخمیری بر پایه آب‌پنیر را گزارش کرده‌اند [۲۶]. در ارتباط با تاثیر استویا بر رسوب نیز، با توجه به میزان بسیار جزئی استفاده از آن، عدم تاثیر آن بر رسوب قابل پیش‌بینی بود.

آگرگاسیون همچنان ادامه پیدا می‌کند تا جایی که آگرگیت‌های آنقدر سنگین می‌شوند که توان مقابله با گرانش را از دست داده و رسوب می‌کنند [۲۱]. بر این اساس، غلظت پروتئین آب‌پنیر مهمترین عامل موثر در سرعت و تشکیل تجمع‌های پروتئینی و رسوب در پی آن می‌باشد. بدیهی است در حضور شمار بالاتر پروتئین‌های دناتوره شده، احتمال تماس آن‌ها با یکدیگر و به دنبال آن، تشکیل تجمع‌های پروتئینی بیشتر و یا بزرگتر، افزایش می‌یابد. در این پژوهش نیز مشاهده شد که با افزایش غلظت پروتئین آب‌پنیر، رسوب نوشیدنی‌ها به گونه چشمگیری افزایش می‌یابد. همین یافته‌ها در پژوهش‌های مشابه پیشین نیز گزارش شده بود [۲۲].

یکی از استراتژی‌های کارآمد برای کاهش رسوب، دور کردن pH نوشیدنی از نقطه ایزوالکتریک آن می‌باشد [۳]. در مورد آب‌میوه‌های پروتئینه به دلیل ماهیت اسیدی بیشتر آمیوه‌ها، تمرکز بر کاهش pH به زیر نقطه ایزوالکتریک می‌باشد تا افزایش آن به بالای نقطه ایزوالکتریک. با کاهش pH به پایین‌تر از نقطه ایزوالکتریک، دافعه الکتروستاتیک به شدت تقویت می‌شود. در واقع، گروه‌های H^+ با قرار گرفتن بین پروتئین‌های دناتوره شده و یا آگرگیت‌های کوچک، مانع بهم پیوستن آنها و تشکیل آگرگیت‌های بزرگ می‌شوند [۳]. در پژوهشی نشان داده شد که آب‌سیب‌های حاوی ایزوله پروتئین آب‌پنیر و هیدرولیسات پروتئین آب‌پنیر به ترتیب در pH های بحرانی ۳/۱۵ و ۳/۴۷ کاملاً عاری از ته‌نشست بودند. این در حالی بود که افزایش pH به بالاتر از مقادیر یاد شده، با افزایش شدید رسوب همراه بود [۳]. در پژوهش جاری، pH در زمره متغیرهای فرآیند نبود و به مقدار ثابت ۳/۶ برای همه نمونه‌ها تنظیم شد. در پژوهش دیگری در ارتباط با تولید نوشیدنی‌های بر پایه آب‌پنیر با pH های مختلف (۳/۶، ۳/۷ و ۳/۸)، گزارش

1. Cruz
2. Koffi
3. Castro

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) for sedimentation of functional peach juice beverages

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-value	P-value
Model	2654.29	9	294.92	244.54	< 0.0001**
β_1	1878.00	1	1878.00	1557.21	< 0.0001**
β_2	0.21	1	0.21	0.17	< 0.6856 ⁿ
β_3	480.66	1	480.66	398.56	< 0.0001**
$\beta_1 * \beta_2$	0.57	1	0.57	0.47	< 0.5085 ⁿ
$\beta_1 * \beta_3$	162.27	1	162.27	134.55	< 0.0001**
$\beta_2 * \beta_3$	0.21	1	0.21	0.18	< 0.1436 ⁿ
β_1^2	90.02	1	90.02	74.64	< 0.0001**
β_2^2	3.04	1	3.04	2.52	< 0.1436 ⁿ
β_3^2	2.868	1	2.868	2.378	< 0.9621 ⁿ
Residual error	12.06	10	1.21	-	-
Lack of fit	5.25	5	1.05	0.77	< 0.6091 ⁿ
Pure error	6.81	5	1.36	-	-
Total error	2666.35	19	-	-	-
	$R^2 = 0.995$	$R^2_{\text{adjusted}} = 0.991$	$R^2_{\text{predicted}} = 0.981$		
	C.V. = 4.97%	Press: 49.70			

** Significant at 1% ($p < 0.01$); * Significant at 5% ($p < 0.05$); n: not significant. β_1 : Whey protein; β_2 : Stevia; β_3 : inulin

بوده است و با افزایش غلظت پروتئین آب پنیر، از شدت تاثیر آن کاسته شده است. نتایج همچنین نشان دادند که یک مدل درجه دوم قادر به توضیح تغییرات کدورت بر اساس تغییرات اجزای فرمولاسیون خواهد بود (رابطه ۶). اساس مقدار ضریب R^2 حدود ۹۳ درصد از تغییرات کدورت نوشیدنی هلو به-وسیله تغییرات اجزای فرمولاسیون قابل توضیح می باشد. معنی داری نبودن فاکتور عدم برازش نیز، تاکید بر کفایت متغیرهای فرآیند در پیش بینی میزان کدورت و عدم نیاز به گنجاندن سایر متغیرها در مدل ریاضی یاد شده می باشد (جدول ۴).

رابطه (۶)

$$Y = 2.02 + 0.59 \beta_1 + 0.15 \beta_3 - 0.56 \beta_1^2$$

Y: کدورت؛ β_1 : پروتئین آب پنیر؛ β_2 : استویا و β_3 : اینولین کدورت در نتیجه حضور گسترده آگرگیت های پروتئینی در نوشیدنی حاصل می شود. همسو با یافته های پژوهش جاری، لکلر و اتزل^۱ (۲۰۰۹) عنوان داشتند که با افزایش غلظت پروتئین، شمار آگرگیت ها بیشتر شده و به دنبال آن، نوشیدنی حاوی آن کدرتر به نظر می رسد [۵]. رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده کردند که میزان عبور نور در نوشیدنی های انبه حاوی غلظت های بالاتر تراوه آب پنیر به مراتب کمتر است. این پژوهشگران در عین حال عنوان داشتند که پکتین از تاثیر معنی داری بر عبور نور و یا همان کدورت برخوردار نمی باشد

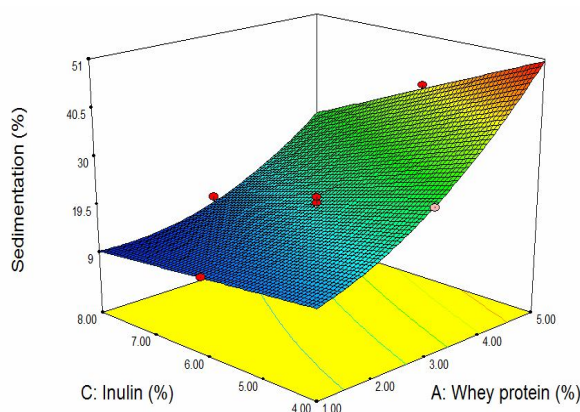


Fig 2 Surface plots for the interaction effect of formulation ingredients on the sedimentation of functional peach juice beverage

۳-۴- کدورت

نتایج تحلیل آماری تغییرات کدورت نمونه های مختلف نوشیدنی فراسودمند هلو (جدول ۴) نشان داد که استویا از تاثیر معنی داری ($P > 0.05$) بر کدورت برخوردار نبود و در نقطه مقابل، پروتئین آب پنیر ($P < 0.01$) و اینولین ($P < 0.05$) هر دو به گونه معنی داری باعث افزایش آن شدند. یافته ها همچنین حکایت از عدم تاثیر معنی دار اثر متقابل اجزای فرمولاسیون بر کدورت داشتند. البته لازم به ذکر است که اثر متقابل پروتئین آب پنیر-اینولین در آستانه معنی دار شدن در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود ($P = 0.06$). همانگونه که در نمودارهای سطح پاسخ شکل ۳ قابل مشاهده است، در غلظت های کمتر پروتئین آب پنیر، تاثیر افزایشی اینولین بر کدورت به مراتب چشمگیرتر

آگرگیت‌های پروتئینی موفق عمل کرده باشد، ماهیت کدرکننده مولکول‌های اینولین، به تنهایی برای افزایش کدورت نوشیدنی کفایت می‌کند. در ارتباط با تاثیر استویا نیز، به دلیل کاربرد مقادیر بسیار جزئی آن و همچنین بی میلی این شیرین-کننده برای واکنش با سایر اجزای فرمولاسیون، عدم تاثیر معنی‌دار آن بر کدورت قابل انتظار بود.

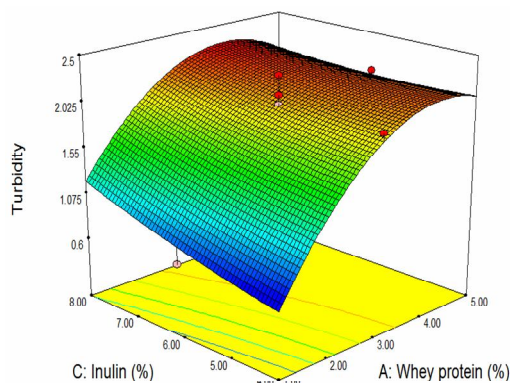


Fig 3 Surface plots for the interaction effects of formulation ingredients on the turbidity of functional peach juice beverage

[۲۰]. این در حالیست که در پژوهش جاری، اینولین که مانند پکتین از ماهیت قوام‌دهندگی بر محصول برخوردار می‌باشد، کدورت را به میزان قابل توجهی افزایش داد. در واقع، انتظار می‌رود که افزایش گرانروی نوشیدنی در نتیجه حضور ترکیباتی مانند اینولین و یا پکتین، مشارکت پروتئین‌های دناتوره شده در تشکیل آگرگیت‌های پروتئینی را با دشواری مواجه ساخته و از این رو، باعث کاهش کدورت شود. البته لازمه تایید یا رد این فرض، اندازه‌گیری گرانروی فرمولاسیون‌های مختلف و بررسی همبستگی آن با کدورت محصول است. به علاوه، باید توجه داشت که رسوب مرحله متعاقب کدورت می‌باشد. در واقع، تجمع‌های پروتئینی اگر از حدی بزرگتر شوند، در اثر نیروی گرانش به سمت ته ظرف حرکت کرده و لایه رسوب را تشکیل می‌دهند؛ از این رو، به نظر می‌رسد که اینولین احتمالاً به دلیل ایجاد ویسکوزیته، سرعت ته‌نشست آگرگیت‌ها را کاهش داده است ولی در جلوگیری از تشکیل آگرگیت‌ها یا دست‌کم آگرگیت‌های کوچک (عامل ایجاد ظاهر کدر) ناتوان بوده است. حتی اگر اینولین در ممانعت از یا کاهش سرعت تشکیل

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) for turbidity of functional peach juice beverages

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-value	P-value
Model	5.22	9	0.58	16.73	< 0.0001**
β_1	3.48	1	3.48	100.38	< 0.0001**
β_2	0.12	1	0.12	3.57	< 0.0883 ⁿ
β_3	0.22	1	0.22	6.49	< 0.0290*
$\beta_1 * \beta_2$	0.011	1	0.011	0.32	< 0.5815 ⁿ
$\beta_1 * \beta_3$	0.15	1	0.15	4.36	< 0.0633 ⁿ
$\beta_2 * \beta_3$	0.011	1	0.011	0.32	< 0.5815 ⁿ
β_1^2	0.90	1	0.90	25.97	< 0.0005**
β_2^2	0.011	1	0.011	0.31	< 0.5884 ⁿ
β_3^2	0.005	1	0.005	0.16	< 0.6937 ⁿ
Residual error	0.35	10	0.035	-	-
Lack of fit	0.21	5	0.043	1.61	< 0.3076 ⁿ
Pure error	0.13	5	0.027	-	-
Total error	5.57	19	-	-	-
	$R^2 = 0.93$	$R^2_{adjusted} = 0.88$	$R^2_{predicted} = 0.61$		
	C.V. = 10.37%	Press: 2.15			

** Significant at 1% ($p < 0.01$); * Significant at 5% ($p < 0.05$); n: not significant. β_1 : Whey protein; β_2 : Stevia; β_3 : inulin

و بیش‌ترین پروتئین صورت گرفت. جزئیات فرمولاسیون این نمونه‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. نمونه‌های مورد نظر با فرمولاسیون‌های بهینه، تولید شدند و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی و رفتار جریان آنها مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۵- نمونه‌های برگزیده

فرآیند بهینه‌سازی با هدف دستیابی به چهار نمونه برگزیده با کم‌ترین رسوب؛ کم‌ترین رسوب و بیش‌ترین استویا؛ کم‌ترین رسوب، بیش‌ترین پروتئین؛ و کم‌ترین رسوب، بیش‌ترین استویا

Table 5 Selected formulations of functional peach juice beverage

Selected formulations	Formulation ingredients			Description	Desirability
	WPC	Stevia	Inulin		
Sample code 1	1.70	0.04	5.52	Least sedimentation	1.000
Sample code 2	1.19	0.08	7.34	Least sedimentation Most stevia	1.000
Sample code 3	4.77	0.04	5.26	Least sedimentation Most protein	0.827
Sample code 4	3.74	0.08	5.98	Least sedimentation Most stevia Most protein	0.770

نسبت به نمونه ۳ و ۴ بودند. به نظر می‌رسد پیش‌بینی مدل‌های ریاضی، موفقیت‌آمیز بوده است چرا که نمونه کد ۲، تنها دارای حدود ۱۰ درصد رسوب می‌باشد.

۳-۶- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های

برگزیده

بر اساس یافته‌ها (جدول ۶)، نمونه کد ۱ و ۲ (نمونه‌های حاوی پروتئین کمتر) دارای رسوب و کدورت به مراتب کمتری

Table 6 Physicochemical properties of the selected formulations of functional peach juice beverage

Selected formulations	Parameters		
	Brix	Sedimentation (%)	Turbidity
Sample code 1	11.6	13	1.56
Sample code 2	12.5	10.05	1.28
Sample code 3	13.78	36.18	2.37
Sample code 4	12.6	37.34	2.18

نسبت به دو نمونه دیگر کمتر بود. در واقع، نمونه دارای بیش‌ترین پروتئین (نمونه کد ۳) دارای بالاترین و نمونه دارای کم‌ترین پروتئین (نمونه کد ۲) دارای کم‌ترین اندیس قوام بودند. در مورد گرانروی نیز، نمونه ۱ و ۲ دارای گرانروی یکسان و نمونه ۳ و ۴ به مقدر جزئی کم‌تر از آنها بودند. البته لازم به ذکر است که تفاوت‌های یادشده به قدری ناچیز هستند که عملاً قابل چشم‌پوشی می‌باشند.

۳-۷- رفتار جریان

نتایج بررسی رفتار جریانی در شکل ۴ و جدول ۷ قابل مشاهده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای شاخص جریان، همگی نمونه‌ها دارای رفتار یک سیال دایلاتانت یا همان غلیظ شونده با برش بودند. البته تغییرات جزئی نیز بین ۴ نمونه برگزیده مشاهده شد بدین صورت که رفتار غلیظ‌شونده با برش در نمونه ۲ و ۴ که حاوی اینولین بیشتری بودند به مقدار بسیار جزئی بیشتر بود این در حالی است که اندیس قوام آنها

Table 7 Flow behavior indices of the selected formulations of functional peach juice beverage

Selected formulations	Parameters			
	Viscosity (Pa.s)	Consistency index (Pa.s ⁿ)	Flow index	R ²
Sample code 1	0.0048	0.00023	1.46337	0.935
Sample code 2	0.0048	0.00020	1.47360	0.996
Sample code 3	0.0041	0.00025	1.46119	0.938
Sample code 4	0.0039	0.00022	1.47174	0.914

عبارت دیگر، با افزایش آهنگ برش، مقاومت سیال در برابر تغییر شکل افزایش پیدا می‌کند. سوسپانسیون‌های ذرات نشاسته در آب، نمونه‌ای از سیالات دایلاتانت می‌باشند [۲۷]. رفتار

سیالات با اندیس جریانی بیشتر از ۱، سیالات دایلاتانت یا غلیظ‌شونده با برش نامیده می‌شوند [۲۷]. شاخصه این نوع رفتار جریانی، کاهش کرنش در مقابل افزایش تنش می‌باشد. به

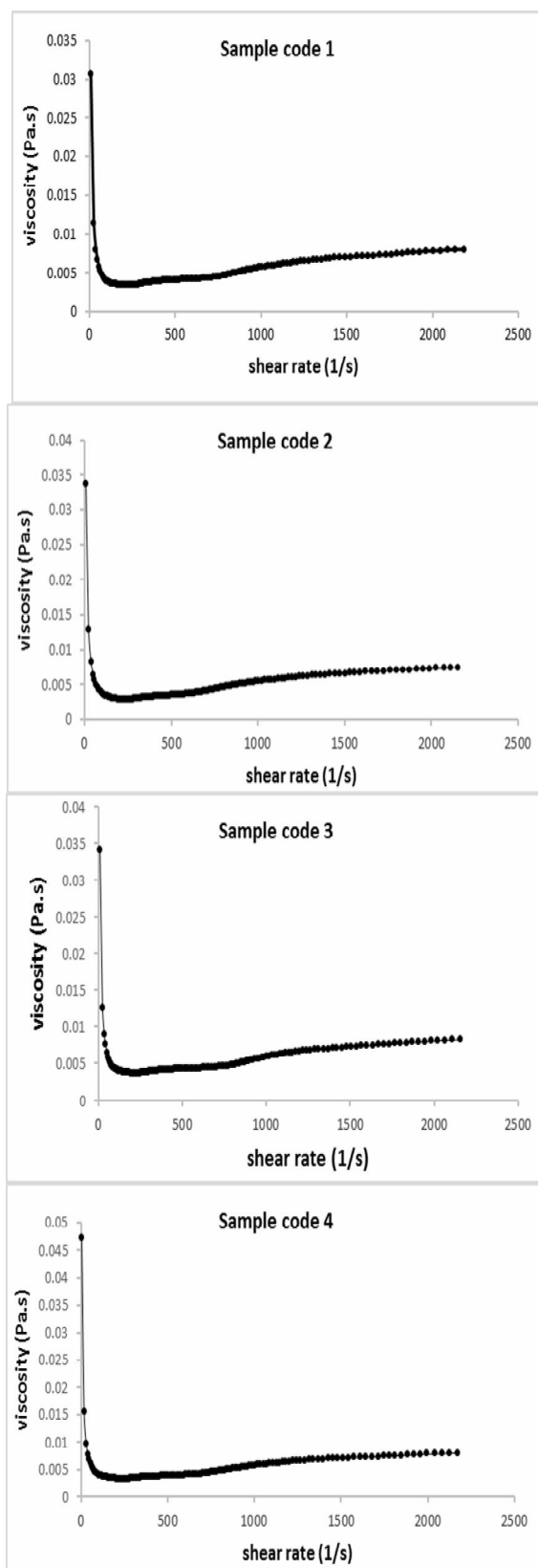


Fig 4 Flow behavior of the selected formulations of functional peach juice beverage

آب‌میوه‌های شفاف، عموماً یک رفتار نیوتونی است این در حالی است که انواع پالپی مانند آب‌هلو یا آب پرتقال، رفتار سودوپلاستیک یا رقیق‌شونده با برش از خود نشان می‌دهند [۲۸]. گزارش شده است که تلفیق ماکرومولکول‌هایی مانند پروتئین آب‌پنیر باعث تغییر رفتار آب میوه از سیال نیوتونی به سیال سودوپلاستیک می‌شود. گودرزی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که آب‌سیب‌های تلفیق‌شده با پروتئین بکر یا هیدرولیز شده آب‌پنیر از رفتار جریان‌ی یک سیال سودوپلاستیک پیروی می‌کنند و علت آن را به شکستن شدن آگرگیت‌های پروتئینی در نتیجه افزایش آهنگ برش و در پی آن، کاهش مقاومت آگرگیت‌های کوچکتر به نیروی برشی نسبت دادند [۳]. کاسترو و همکاران (۲۰۰۹) نیز عنوان داشتند که نوشیدنی‌های آب‌پنیر تلفیق‌شده با اولیگوفرکتوز، دارای یک رفتار سودوپلاستیک می‌باشند [۲۶]. البته همسو با یافته‌های پژوهش جاری، یاداو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که با افزایش غلظت پروتئین‌های آب‌پنیر اندیس جریان نوشیدنی انبه پروتئینه افزایش یافت. با افزایش غلظت پروتئین آب‌پنیر از ۳ به ۴ درصد، افزایش اندیس جریان به قدری شدید بود که باعث تغییر رفتار نوشیدنی از یک سیال سودوپلاستیک به یک سیال دایلاتانت شد [۲۹]. لازم به ذکر است که بین گرانروی و شاخص‌های رفتار جریان‌ی نمونه‌های برگزیده از جمله اندیس قوام و اندیس جریان، تفاوت‌هایی بسیار جزئی دیده شد که عملاً قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

۳-۸- ویژگی‌های حسی

نگاهی به نتایج ارزیابی حسی (شکل ۵) نشان می‌دهد که تفاوت بین مطلوبیت ویژگی‌های مختلف حسی نمونه‌های برگزیده از الگوی تقریباً یکسانی پیروی می‌کنند. بدین معنی که نمونه کد ۳ و ۱ نمره ارزیابی حسی (طعم، بو و احساس دهانی) مشابه‌ای دریافت کردند و هر دو از مطلوبیت کمتری از دو نمونه دیگر برخوردار بودند. همچنین، بالاترین نمره ارزیابی حسی برای تمامی پارامترها به نمونه کد ۲ و پس از آن به نمونه کد ۴ تعلق گرفت.

1. Yadav

است که سه نمونه کد ۱، ۳ و ۴ نیز اختلاف معنی‌دار آماری از لحاظ میزان پذیرش کلی نداشتند.

۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، فرمولاسیون‌های مختلفی از نوشیدنی فراسودمند بدون شکر هلو با استفاده از پروتئین آب‌پنیر، استویا و اینولین تولید شد. آن‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، پروتئین آب-پنیر و اینولین بریکس را به نحو چشم‌گیری افزایش دادند ولی استویا از تاثیر معنی‌داری بر آن برخوردار نبود. در حالیکه پروتئین‌های آب‌پنیر به صورت چشمگیری باعث افزایش رسوب شدند، افزایش اینولین، کاهش معنی‌دار آن را به همراه داشت. البته هر دو، به گونه مشابهی باعث افزایش کدورت شدند. استویا نیز از تاثیر معنی‌داری بر رسوب و کدورت برخوردار نبود. با استفاده از روش سطح پاسخ، ۴ فرمولاسیون بهینه با هدف دستیابی به کمترین رسوب انتخاب شدند که در بین آنها، فرمولاسیون کد ۲ (پروتئین آب‌پنیر: ۱/۲۸، استویا: ۰/۰۸، اینولین: ۷/۳۴) بهترین نتایج را (رسوب: حدود ۱۰٪) نشان داد. رفتار جریان‌های همه نمونه‌های بهینه، یک رفتار غلیظ شونده با برش بود. با این حال، تفاوت‌های بسیار جزئی نیز بین گرانروی و شاخص‌های رفتار جریان‌ی (اندیس قوام و اندیس جریان) آنها مشاهده شد. بین ویژگی‌های حسی نمونه‌های برگزیده نیز تفاوت معنی‌دار آماری دیده نشد اگرچه، نمونه کد ۲ بالاترین نمره پذیرش کلی را کسب کرد.

۵- منابع

- [1] Siro, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456-467.
- [2] Nongonierma, A. B., & FitzGerald, R. J. (2015). The scientific evidence for the role of milk protein-derived bioactive peptides in humans: A Review. *Journal of Functional Foods*, 17, 640-656.
- [3] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., & Emam-Djomeh, Z. (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *International journal of dairy technology*, 68(1), 70-78.

البته لازم به ذکر است که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین مطلوبیت حسی (به استثنای پذیرش کلی) چهار نمونه برگزیده مشاهده نشد. در ارتباط با برتری طعم نمونه کد ۲ و ۴، علت را می‌توان به غلظت بیشتر استویا در این نمونه‌ها نسبت داد. مطلوبیت کمتر طعم نمونه ۴ نسبت به ۲ نیز احتمالاً به دلیل حضور پررنگ‌تر پروتئین آب‌پنیر در فرمولاسیون این نمونه می‌باشد. تاثیر منفی آب‌پنیر و مشتقات آن بر طعم آب‌میوه‌ها، بیشتر بوسیله پوناگایاراسی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) [۳۰] امیر خمیریان و همکاران (۱۳۹۶) [۱۹] و گودرزی و همکاران (۲۰۱۵) [۳] نیز گزارش شده است. البته در ارتباط با مطلوبیت بو، انتظار بر کسب نمره کمتر برای نمونه حاوی پروتئین بیشتر بود که اینگونه نشد. با این حال، با توجه به معنی‌دار نبودن آماری تفاوت‌های مشاهده شده، اختلاف بین نمرات ارزیابی بو را می‌توان نادیده انگاشت. در مورد احساس دهانی نیز، نمونه کد ۲ و ۴ و مشخصاً نمونه کد ۲، به دلیل محتوای بالاتر اینولین، نمرات ارزیابی حسی بالاتری کسب کردند. فورلان^۲ و همکاران (۲۰۱۱) نیز بهبود پذیرش حسی نوشیدنی آب‌پنیر حاوی مقادیر بالاتر اینولین را گزارش کردند [۳۱].

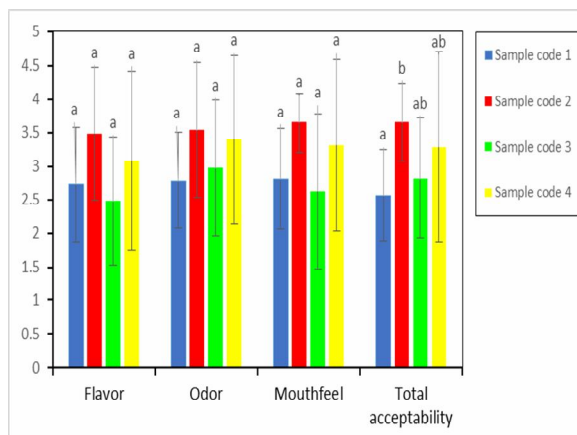


Fig 5 Sensory scores of the selected formulations of functional peach juice beverage. Different lowercase letters stand for significant differences between treatments ($p < 0.05$)

برتری نمونه کد ۲ (نمونه دارای بیشترین استویا و اینولین و کمترین پروتئین آب‌پنیر) در مطلوبیت طعم، بو و احساس دهانی (اگرچه از لحاظ آماری معنی‌داری نبود) در نهایت باعث برتری معنی‌داری پذیرش کلی آن نسبت به نمونه ۱ شد اگرچه با نمونه کد ۳ و ۴ اختلاف معنی‌دار آماری نداشت. لازم به ذکر

1. Punna-gaiarasi
2. Furlan

- [15] Jooyandeh, H., Goudarzi, M., Rostamabadi, H., & Hojjati, M. (2017). Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low-fat Iranian White cheese. *Food science & nutrition*, 5(3), 669-677.
- [16] Anonymous. (2011). Institute of Standards and Industrial Research of Iran. No 14345. Carbonated fruit juices, fruit nectars, fruit base drinks- Specifications and test methods. [In Persian].
- [17] Yousefi, A. R., Shahi, F. and Sheikhloie, H. (2016). Investigation of the steady shear flow behavior of Iranian peach concentrate: influence of concentration and temperature. *Innovative Food Technologies*, 3 (10), 11-22. [In Persian].
- [18] Meshkati, M. and Mortazavi, S.A. (2017). Optimization of formulation of fermented dairy beverage containing whey powder and commercial stabilizer using response surface design. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 66 (14), 39-47. [In Persian].
- [19] Khamirian, R.A., Jooyandeh, H., Hesari, J. and Barzegar, H. (2017). Optimization and investigation on physicochemical, microbial and sensory quality of permeate-based probiotic orange beverage. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 65 (14), 185-197. [In Persian].
- [20] Rahimi, M., Kalbasi Ashtari, A., Labbafi, M., Longnecker, M., & Khodayian, F. (2017). Characterization and sensory evaluation of a novel grapefruit beverage made with lactose free demineralized milk permeate. *Journal of food process engineering*, 40(1), e12313.
- [21] Koffi, E., Shewfelt, R., & Wicker, L. (2005). Storage stability and sensory analysis of UHT processed whey banana beverages. *Journal of food quality*, 28(4), 386-401.
- [22] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., & Emam-Djomeh, Z. (2012). Optimized preparation of ACE-inhibitory and antioxidative whey protein hydrolysate using response surface method. *Dairy Science & Technology*, 92(6), 641-653.
- [23] Djurić, M., Carić, M., Milanović, S., Tekić, M., & Panić, M. (2004). Development of whey-based beverages. *European Food Research and Technology*, 219(4), 321-328
- [24] Ahmadi, S. F., Nasirpour, A., Goli, S. A. H., & Riahi, E. (2018). Effect of heat treatment and solution preparation procedure
- [4] Beecher, J. W., Drake, M. A., Luck, P. J., & Foegeding, E. A. (2008). Factors regulating astringency of whey protein beverages. *Journal of dairy science*, 91(7), 2553-2560.
- [5] LaClair, C. E., & Etzel, M. R. (2009). Turbidity and protein aggregation in whey protein beverages. *Journal of food science*, 74(7), C526-C535.
- [6] LaClair, C. E., & Etzel, M. R. (2010). Ingredients and pH are key to clear beverages that contain whey protein. *Journal of Food Science*, 75(1), C21-C27
- [7] Lee, C. A., & Vickers, Z. M. (2008). The astringency of whey protein beverages is caused by their acidity. *International Dairy Journal*, 18(12), 1153-1156.
- [8] Teimouri, S., Abbasi, S., & Scanlon, M. G. (2018). Stabilisation mechanism of various inulins and hydrocolloids: Milk-sour cherry juice mixture. *International journal of dairy technology*, 71(1), 208-215.
- [9] Mensink, M. A., Frijlink, H. W., van der Voort Maarschalk, K., & Hinrichs, W. L. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate polymers*, 130, 405-419
- [10] Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., ... & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate polymers*, 147, 444-454.
- [11] Wouters, R. (2009). Inulin. Food stabilisers, thickeners and gelling agents, 180-197.
- [12] Tungland, B. C., & Meyer, D. (2002). Nondigestible oligo- and polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 1(3), 90-109.
- [13] Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., & Ah-Hen, K. (2012). Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food chemistry*, 132(3), 1121-1132.
- [14] Kroyer, G. (2010). Stevioside and Stevia-sweetener in food: application, stability and interaction with food ingredients. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 5(2), 225-229.

- [28] Abbasi, S. 2008. A Handbook of Elementary Rheology. Translated. Marz-e-Danesh Press
- [29] Yadav, D. N., Vishwakarma, R. K., Borad, S., Bansal, S., Jaiswal, A. K., & Sharma, M. (2016). Development of protein fortified mango based ready-to-serve beverage. *Journal of food science and technology*, 53(10), 3844-3852.
- [30] Punnagaiarasi, A., Elango, A., & Karthikeyan, N. (2017). Sensory analysis of whey-based watermelon beverage. *Scientific Research Forum*.
- [31] Furlán, L. T. R., Padilla, A. P., & Campderros, M. (2011). Development of a functional beverage formulation with high protein content, inulin and Stevia. *International journal of food engineering*, 7(3).
- on colloidal stability of whey protein sour cherry beverage. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 781-790.
- [25] Cruz A G, Sant'Ana A S, Macchione M M, Teixeira ^A M and Schmidt F L (2009) Milk drink using butter cheese (queijo manteiga) and acerola juice as a potential source of vitamin C. *Food and Bioprocess Technology* 2 368–373.
- [26] De Castro, F. P., Cunha, T. M., Barreto, P. L., AMBONI, R. D. D. M., & Prudencio, E. S. (2009). Effect of oligofructose incorporation on the properties of fermented probiotic lactic beverages. *International Journal of Dairy Technology*, 62(1), 68-74.
- [27] Abbasi, S. 2007. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Translated. Marz-e-Danesh Press

Optimization of Functional Peach Beverage Formulation and Study of Its Physicochemical and Sensorial Properties

Afshani, E. ¹, Beigmohammadi, Z. ^{2*}, Mirmajidi Hashtjin, A. ³

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Pharmacy, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Young Researchers and Elite Club, Tehran Medical Sciences, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: 2019/06/14 Accepted:2019/10/07)

The objective of present study was to develop a functional peach juice beverage. To this end, formulation ingredients of the beverage including whey protein concentrate (WPC) (1-5%), stevia (0.04-0.08%) as sugar replacer and inulin (4-8%) were optimized according to a central composite design (CCD) using response surface method. The results showed that the brix was profoundly promoted as the level of WPC or inulin increased but it was not affected by stevia. It was observed that while beverages with higher whey protein concentration had greater sedimentation tendency, inulin had a noticeably decreasing effect on it. However, they both significantly resulted in higher turbidity for the beverages. Moreover, stevia showed no significant effect on sedimentation degree and turbidity of the samples. Four optimum formulations including the sample with the least sedimentation (code 1), the sample with the least sedimentation and the most stevia (code 2), the sample with the least sedimentation and the most WPC (code 3) and the sample with the least sedimentation and the most stevia and WPC (code 4) were selected using response surface optimization. The results revealed that all the optimized samples had a shear-thickening behavior, albeit negligible differences were observed between their flow behavior indices. Similarly, the optimized samples did not significantly differ in terms of sensory attributes of flavor, odor and mouth feel; the sample code 2, however, received the highest score for total acceptability. In conclusion, the sample code 2 (WPC 1.19, Stevia 0.08 and inulin 7.34 % w/w) as the sample with the lowest sedimentation degree and the highest organoleptic quality could be introduced as the best sample.

Keywords: Peach juice, Whey protein concentrate, Stevia, Inulin, RSM

*Corresponding Author E-Mail Address: Beigmohammadi.zahra@gmail.com