

تعیین پارامترهای بهینه در استخراج و فرمولاسیون نوشابه فراسودمند چای سبز و تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی آن

محسن مختاریان^{۱*}، حمید توکلی‌پور^۲، شادی جعفری سواره^۱، مریم امیری^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار
*نویسنده مسئول (mokhtarian.mo@gmail.com)

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سبزوار

۳- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین

چکیده

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۸

واژه‌های کلیدی

چای سبز

فرمولاسیون

مدلسازی رئولوژیکی

نوشابه فراسودمند

در این تحقیق بهینه‌سازی فرآیند استخراج عصاره چای سبز با هدف بیشینه کردن بازده استخراج مواد جامد و کمینه نمودن کدورت نمونه توسط روش سطح پاسخ انجام گرفت. اثرات دو فاکتور دمای فرآیند استخراج در سه سطح دمایی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان استخراج عصاره در سطوح ۵، ۶۲/۵ و ۱۲۰ دقیقه با کمک طرح مرکب مرکزی بر روی پارامترهای بازده استخراج مواد جامد و کدورت بررسی گردید. بررسی نتایج نشان داد شرایط بهینه برای استخراج عصاره چای سبز، دمای فرآیند استخراج ۵۲/۳۳ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان استخراج عصاره ۲۴/۷ دقیقه تعیین گردید. در شرایط بهینه شاخص‌های بازده استخراج مواد جامد و کدورت به ترتیب ۱۳۰/۳۷ گرم در هر کیلوگرم و ۸۴/۶۲ درصد گزارش شد. نتایج ارزیابی حسی فرمولاسیون‌های مختلف نشان داد نوشیدنی فرموله شده با سوکرالوز (یعنی فرمولاسیون F_۲) بالاترین امتیاز آماری را در بین سایر فرمولاسیون‌ها کسب نمود. بررسی خواص رئولوژیکی نوشیدنی فراسودمند چای سبز نشان داد که رابطه آرنیوس توانست با همبستگی بالایی ویسکوزیته و چگالی را به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۹۷۵ و ۰/۹۶۱۴ برازش نماید.

مقدمه

سلامت انسان در مورد مصرف چای سبز گزارش شده است. در ابتدا چای سبز در قرن ۱۷ از هند به ژاپن صادر شده است. با توجه به مطالعات انجام شده، پیش‌بینی شد که در حال حاضر ۲/۵ میلیون تن برگ چای در سرتاسر جهان تولید می‌گردد، که در این بین، چای سبز حدود ۲۰ درصد تولید جهانی چای را به خود اختصاص داده که عمدتاً در آسیا، برخی بخش‌های شمال آفریقا، ایالت متحده آمریکا و اروپا مصرف می‌گردد (Chacko et al., 2010). مقایسه بین

چای یکی از پرمصرف‌ترین و مهم‌ترین نوشیدنی‌های مطبوع بعد از آب در جهان به شمار می‌رود. چای از برگ‌های جوان گیاه کاملیا سیننسیس (*Camellia sinensis*) تهیه شده و در بخش‌های مختلف جهان به صورت‌های مختلف سبز، سیاه و اوولونگ^۱ مصرف می‌گردد (Iwasaki et al., 2010). در میان انواع چای، بیشترین اثرات سلامتی بخش بر

برخی ترکیبات شیمیایی چای سبز با چای سیاه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه درصد ترکیبات موجود در چای سبز و سیاه و دم شده (Chacko *et al.*, 2010)

ترکیبات (درصد وزن خشک)	نوع چای	
	چای سبز	چای سیاه
پروتئین	۱۵	۱۵
آمینو اسیدها	۴	۴
فیبر	۲۶	۲۶
کربوهیدراتها	۷	۷
چربیها	۷	۷
رنگدانهها	۲	۲
مواد معدنی	۵	۵
ترکیبات فنولیک ⁺	۵	۳۰
ترکیبات فنولی اکسیدشده [‡]	۲۵	۰

* زمان دم کردن ۳ دقیقه

⁺ به ویژه فلاونوئید

[‡] به ویژه تئاروبیگین و تئافلاوین

و (+) گالوکاتچین^{۱۵} (GC) می‌باشند (Zaveri, 2006). لازم به ذکر است که بیشترین خصوصیات شفابخش و دارویی چای سبز مربوط به کاتچین‌های گروه «پی^{۱۶}» «پی^{۱۶}» می‌باشد. همچنین بسیاری از اثرات فراسودمند بیان شده در مورد چای سبز به فراوان‌ترین کاتچین یعنی (-) اپی‌گالوکاتچین-۳-گالات (۶۵ درصد کل محتوی کاتچین) وابسته بوده (کمترین مقدار ترکیبات پلی‌فنلی مربوط به کاتچین و گالوکاتچین می‌باشد) به طوری که عنوان شده است که یک فنجان چای سبز حاوی ۲۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم از اپی‌گالوکاتچین-۳-گالات می‌باشد (Chacko *et al.*, 2010; Iwasaki *et al.*, 2010; Zaveri, 2006). به علاوه، کاتچین‌های موجود در چای سبز دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به ویتامین C و E بوده و قدرت گیرندگی رادیکال آزاد^{۱۷} آن‌ها به ترتیب $ECG < EGCG < EGC < EC$ کاتچین می‌باشد (Zaveri, 2006). گروهی از محققین اظهار داشتند که میزان ترکیبات کاتچینی موجود در چای سبز خیلی بالاتر از چای سیاه و اوولونگ بوده، که این به دلیل اختلاف فرآوری برگ‌های چای پس از برداشت می‌باشد (Zaveri, 2006). در فرآوری چای سبز

در سال‌های اخیر، اثرات سودمند مصرف چای سبز نظیر جلوگیری از سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی^۱، ضد التهاب^۲، آنتی‌آرتریت^۳ (ضدورم مفاصل)، ضدباکتریایی^۴، آنتی‌آنژیوتنیک^۵، ضد اکسیداتیو^۶، ضد ویروس^۷، محافظت از سیستم عصبی^۸ و اثرات کاهش‌دهنده کلسترول^۹ مورد توجه قرار گرفته است. اثرات مهم سلامتی بخش چای سبز عمدتاً به میزان ترکیبات فنولی موجود در آن بستگی دارد. به ویژه فلاونول و فلاونول که ۳۰ درصد وزن برگ تازه خشک شده را تشکیل می‌دهد. کاتچین‌های پلی‌فنلی مختلفی در چای سبز وجود دارد. این ترکیبات شامل، (-) اپی‌کاتچین^{۱۰} (EC)، (-) اپی‌کاتچین-۳-گالات^{۱۱} (EGC)، (-) اپی‌گالوکاتچین^{۱۲} (EGCG)، (-) اپی‌گالوکاتچین-۳-گالات^{۱۳} (EGCG)، (+) کاتچین^{۱۴}

- 1- Cardiovascular
- 2- Anti-inflammatory
- 3- Anti arthritic
- 4- Antibacterial
- 5- Antiangiogenic
- 6- Anti-oxidative
- 7- Antiviral
- 8- Neuroprotective
- 9- Cholesterol-lowering
- 10- (-) Epicatechin (EC)
- 11- (-) Epicatechin-3-gallate (EGC)
- 12- (-) Epigallocatechin (EGC)
- 13- (-) Epigallocatechin-3-gallate (EGCG)
- 14- (+) Catechin

15- (+) Gallocatechin (GC)

16- Epi

17- Radical scavenger

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

در این تحقیق بسته‌های ۱۰۰ گرمی چای سبز شرکت تولیدی شاهسونند از بازار محلی تهیه و در ظروف درب بسته به آزمایشگاه انتقال یافت. قبل از شروع آزمایشات عمل پاک‌سازی برگ چای سبز از مواد زائد و باقی‌مانده مواد خارجی انجام گرفت.

بهینه‌سازی فرآیند استخراج عصاره چای سبز

به منظور بهینه‌سازی اثر دما و زمان استخراج بر بازده استخراج عصاره و کدورت برگ‌های چای سبز خشک، از روش سطح پاسخ^۵ استفاده گردید. در فرآیند بهینه‌سازی استخراج عصاره چای سبز، دمای استخراج (X_1) و زمان استخراج (X_2) به عنوان متغیرهای مستقل فرآیند، در حالی که بازده استخراج عصاره (Y_1) و کدورت (X_2) به عنوان متغیرهای پاسخ انتخاب شدند. برای تجزیه تحلیل آماری از طرح مرکب مرکزی^۶ شامل ۱۳ آزمایش با ۳ تکرار در نقاط مرکزی، استفاده گردید. مقادیر کد شده و واقعی متغیرهای مستقل مورد استفاده در این فرآیند در جدول ۲ ارائه شده است.

جهت آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری Design Expert نسخه ۶/۰۱ استفاده گردید. داده‌های تجربی توسط یک مدل چند جمله‌ای درجه دوم مدلسازی گردید. این مدل به صورت زیر می‌باشد:

مدل (۱)

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^3 \beta_{ki} x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{kii} x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{kij} x_i x_j + \varepsilon_k$$

در این معادله β_{kn} ضرایب ثابت مدل و X_i متغیرهای مستقل مورد استفاده در فرآیند بهینه‌سازی می‌باشد. ارزیابی بهترین مدل توسط آزمون فقدان برازش^۷ تعیین شد.

برگ‌های تازه چای جهت غیر فعال کردن آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز^۱ در معرض بخار قرار گرفته و سپس خشک می‌گردد به طوری که در این فرآیند ترکیبات پلی‌فنلی به شکل مونومری محافظت می‌شوند. درحالی‌که، چای سیاه از تخمیر برگ‌های چای تهیه شده که منجر به ایجاد ترکیبات پلی‌مری نظیر تئاروبیگین^۲ و تئافلایون^۳ می‌گردد. چای اوولونگ یک یک فرآورده نیمه تخمیری بوده که حاوی مخلوطی از پلی‌فنل‌های مونومری با وزن مولکولی بالا (تئافلایون) می‌باشد. انواع چای تولیدی بیان شده در فوق، دارای مقادیر مشخصی کافئین (۳-۶ درصد) بوده که شرایط مختلف فرآوری سبب تغییر آن نمی‌گردد (Zaveri, 2006). هم‌چنین گروهی از محققین ایرانی، اثر باکتریوسیدی عصاره‌های چای سبز و سیاه را روی باکتری هلیکوباکتریلوری^۴ بررسی نمودند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت چای (به‌خصوص چای سبز) در کاهش ناقلین این عامل و کاهش زخم‌های معده می‌باشد (شعاع حسنی و همکاران، ۱۳۸۸). به طور کلی، افزایش توجه به فواید سلامتی بخش این محصول منجر به قرار گرفتن چای سبز در گروه نوشیدنی‌های با خصوصیات فراسودمند و عملگر شده است (Sinija & Mishra, 2008). در فرآیند تولید نوشیدنی فراسودمند چای سرد آماده برای مصرف، فرآیند اصلی شامل استخراج عصاره چای و فرموله کردن عصاره چای با اسیدها، طعم‌دهنده‌ها، پایدارکننده‌ها (نظیر پکتین، صمغ عربی، غیره) و شکر یا شیرین کننده‌های غیرمغذی و طبیعی است (نجفی و همکاران، ۱۳۸۵).

همچنین لازم به ذکر است که، رفتار رئولوژیکی سیالات (نوشیدنی‌ها) در بسیاری از بخش‌های کارخانجات صنعتی نظیر طراحی خط لوله‌ها و تعیین توان پمپ‌ها حائز اهمیت می‌باشند. به علاوه، پایداری محصول طی دوره انبارمانی و بافت (که در احساس دهانی مؤثر است)، از مهم‌ترین فاکتورهایی کیفی محصول بوده که تغییر رفتار رئولوژیکی محصول سبب تغییر آن می‌گردد. لذا با توجه به موارد فوق، اهمیت انجام این پژوهش ضروری به نظر می‌رسد.

5- Response Surface Methodology (RSM)
6- Central Composite Design (CCD)
7- Lack Of Fit (LOF)

1- Polyphenol oxidase
2- Thearubigins
3- Theaflavins
4- Helicobacter pylori

جدول ۲- مقادیر کد شده و واقعی فرآیند بهینه‌سازی استخراج عصاره چای سبز

مقادیر کد شده و واقعی متغیرهای فرآیند		متغیرها
پایین	بالا	
۴۰(-۱)	۱۰۰(+۱)	دمای استخراج (درجه سانتیگراد) (X_1)
۵(-۱)	۱۲۰(+۱)	زمان استخراج (دقیقه) (X_2)

جدول ۳- طرح بهینه‌سازی فرآیند استخراج عصاره چای سبز از برگ خشک چای سبز

پاسخ‌ها		متغیرهای مستقل		
Y_2 (%)	Y_1 (gkg ⁻¹)	X_2 (min)	X_1 (°C)	شماره آزمون
۸۵/۷۰	۱۱۴/۴۶	۵ (-۱)	۷۰ (۰)	۱
۹۱/۸۳	۱۴۸/۲۰	۵ (-۱)	۱۰۰ (۱)	۲
۷۶/۹۱	۹۱/۹۶	۵ (-۱)	۴۰ (-۱)	۳
۹۲/۲۵	۱۸۰/۴	۶۲/۵ (۰)	۷۰ (۰)	۴
۹۴/۶۲	۱۷۷/۶۶	۶۲/۵ (۰)	۱۰۰ (۱)	۵
۹۲/۰۴	۱۵۰/۰۶	۱۲۰ (۱)	۴۰ (-۱)	۶
۹۷/۲۷	۱۷۶/۱۸	۱۲۰ (۱)	۱۰۰ (۱)	۷
۸۷/۲۹	۱۱۴/۵	۶۲/۵ (۰)	۴۰ (-۱)	۸
۹۴/۸۴	۱۷۸/۵۰	۱۲۰ (۱)	۷۰ (۰)	۹
۹۳/۳۲	۱۷۳/۸۸	۶۲/۵ (۰)	۷۰ (۰)	۱۰
۹۳/۹۷	۲۰۱/۲۶	۶۲/۵ (۰)	۷۰ (۰)	۱۱
۹۳/۵۴	۱۷۶/۴۹	۶۲/۵ (۰)	۷۰ (۰)	۱۲
۹۲/۸۹	۱۷۲/۸۹	۶۲/۵ (۰)	۷۰ (۰)	۱۳

بازده استخراج مواد جامد از رابطه (۱) محاسبه گردید (Liang & Xu, 2003).

$$ESY(gkg^{-1}) = \frac{V.C}{W} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، V ، حجم عصاره بدست آمده از دم کردن چای (L)، C ، غلظت مواد جامد ($g L^{-1}$) و W ، وزن چای خشک (g) می‌باشد.

ارزیابی کدورت عصاره چای سبز

برای ارزیابی کدورت، ابتدا به منظور یکسان نمودن غلظت عصاره، غلظت ماده خشک عصاره نهایی تا سطح ($4/3 g/L$) رقیق گردید. کدورت‌سنجی عصاره چای سبز طبق روش پیشنهادی نجفی و همکاران (۱۳۸۵) با اندکی اصلاحات انجام گرفت. میزان تغییر کدورت بعد از مدت ۲۴ ساعت به روش اسپکتروفتومتری با اندازه‌گیری میزان جذب نور در طول موج ۸۰۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. سپس با

بازده استخراج مواد جامد^۱

برای استخراج ماده جامد محلول چای سبز از روش غیرمداوم استفاده گردید. بدین منظور نمونه‌های چای به وزن ۱۰ گرم با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در یک ارلن مجهز به درب (جهت جلوگیری از تبخیر) مخلوط و مطابق طرح بهینه‌سازی (جدول ۳)، تیمارهای دما و زمان استخراج اجرا شد. فرآیند استخراج در یک بن ماری (Windaus-Lauda، مدل E200، ساخت آلمان) مجهز به سنسور دما و پمپ جهت گردش آب، انجام شد. تفاله چای به وسیله کاغذ صافی واتمن شماره ۵۴۱ جداسازی شد. حجم عصاره استخراج شده به وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری و غلظت مواد جامد عصاره از طریق تبخیر ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره بدست آمده از چای خشک، در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آون (Memmert, model UNE 400 PA, Scheabach, Germany) تعیین شد. سپس

1- Extracted Solid Yield (ESY)

تعیین ویسکوزیته نوشیدنی رژیمی چای سبز

به منظور تعیین ویسکوزیته نوشیدنی رژیمی چای سبز از ویسکومتر جریان موئینه استفاده گردید. روش کار در ویسکومتر جریان موئینه بدین صورت است که زمان مورد نیاز برای عبور حجم استاندارد از سیال از داخل لوله موئینه‌ای با طول معلوم اندازه‌گیری می‌گردد. ویسکوزیته نوشیدنی رژیمی چای سبز در دامنه دمایی ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد با فواصل دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. سیال مرجع مورد استفاده در این پژوهش آب مقطر بود. سپس ویسکوزیته نمونه توسط معادلات زیر محاسبه گردید.

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \alpha t \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\frac{\mu}{\mu_{ref}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \cdot \frac{t}{t_{ref}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این معادلات، α ثابت کالیبراسیون ویسکومتر، μ ویسکوزیته نمونه (Pa.s)، μ_{ref} ویسکوزیته سیال مرجع (آب مقطر) (Pa.s)، t زمان ریزش یا جاری شدن نمونه (s)، t_{ref} زمان ریزش سیال مرجع (s)، ρ چگالی نمونه (kgm^{-3})، ρ_{ref} چگالی سیال مرجع (kgm^{-3}) و v ویسکوزیته سینماتیک ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) می‌باشد.

تعیین تابعیت ویسکوزیته با دما

جهت تعیین تابعیت ویسکوزیته با دما از رابطه آرنیوس استفاده شد و ثابت‌های معادله جهت مدل‌سازی محاسبه گردید.

$$\mu = \mu_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

با گرفتن لگاریتم طبیعی از دو طرف معادله (۴) داریم:

$$\ln \mu = \ln \mu_{\infty} + \ln \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این معادله، μ ویسکوزیته نمونه در دمای T (Pa.s)، μ_{∞} ویسکوزیته در دمای بی‌نهایت (Pa.s)، E_a انرژی فعالسازی (kJ/mol)، R، ثابت جهانی گاز (kJ/mol.K) و T، دمای مطلق (K) می‌باشد. با رسم نمودار $\ln \mu$ بر حسب دمای

توجه به قانون بی‌یرلامبرت^۱ میزان عبور نور (معیاری از سنجش کدورت) تعیین شد.

$$A = -\log \frac{I}{I_0} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$A = -\log T(\%) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادلات، I، شدت نور عبور کرده، I_0 ، شدت نور تابیده شده، T، شدت عبور نور^۲ و A، شدت جذب نور^۳ می‌باشد.

فرمولاسیون نوشیدنی رژیمی بدون گاز چای سبز سرد

به منظور فرمولاسیون نوشیدنی بدون گاز چای سبز سرد، ابتدا عصاره چای سبز در نقطه بهینه استخراج شد (بخش ۲-۲، جدول ۳)، سپس عصاره چای سبز به نسبت (۱:۱۰ w/v) با آب مقطر رقیق و با مقادیر مختلف شیرین‌کننده‌ها (شامل قرص شیرین‌کننده سوکرالوز، شکر و شیره خرما)، صمغ عربی (۰/۴ g/l)، اسید سیتریک بدون آب (۱/۲ g/l) و اسید آسکوربیک (۰/۸ g/l) فرموله گردید (جدول ۴). لازم به ذکر است که در این پژوهش از قرص شیرین‌کننده سوکرالوز [تولید شده در شرکت شکوه شاد شانجان (آی‌سودا)، ساخت ایران] استفاده گردید. این شیرین‌کننده از داروخانه خریداری گردید. طبق دستور شرکت سازنده هر قرص حاوی ۶/۵ میلی‌گرم سوکرالوز بوده و میزان شیرینی هر قرص معادل یک قاشق مربا خوری شکر (حدوداً ۵ گرم شکر) می‌باشد. در نهایت، بهترین فرمول توسط ارزیابی حسی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای با ارزیابی شاخص‌های طعم، بافت، آروما، رنگ و پذیرش کلی انتخاب گردید.

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بر روی نوشیدنی بدون گاز چای سبز شامل وزن مخصوص، چگالی و pH بود.

تعیین خواص رئولوژیکی نوشیدنی رژیمی چای سبز

- 1- Beer-Lambert law
- 2- Transmittance
- 3- Absorbance

مطلق (1/T) ویسکوزیته در دمای بی نهایت و انرژی فعالسازی تعیین می‌گردد.

ارزیابی آماری

در این تحقیق آزمایشات مربوط به فرمولاسیون نمونه در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. جهت مقایسه میانگین داده از آزمون دانکن استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها با کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۰۲ انجام گرفت.

نتایج و بحث

بهبودسازی فرآیند استخراج چای سبز

نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ نشان داد که اثرات خطی و درجه دوم پارامترهای، دما و زمان استخراج روی بازده استخراج مواد جامد (ESY) معنادار شد (جدول ۵). بررسی مقادیر F نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، پارامتر زمان استخراج (x_2) با مقدار ($F = 53/93$) بیشترین تأثیر را در روند بازده استخراج مواد جامد چای سبز داشت (جدول ۵).

جدول ۴- فرمولاسیون نوشیدنی بدون گاز چای سبز

نوع فرمولاسیون	ترکیب شیرین کننده	صمغ عربی (g)	اسید سیتریک (g)	اسید آسکوربیک (g)
F	شاهد (بدون شیرین کننده)	۰/۴۰	۱/۲	۰/۸۰
F _۱	شکر (۷۰g-بریکس ۷)	۰/۴۰	۱/۲	۰/۸۰
F _۲	شیره خرما (۷۰g)	۰/۴۰	۱/۲	۰/۸۰
F _۳	سوکرالوز (۱۴ قرص [*])	۰/۴۰	۱/۲	۰/۸۰
F _۴	سوکرالوز (۷ قرص) + شیره خرما (۳۵g)	۰/۴۰	۱/۲	۰/۸۰

^{*} میانگین وزن هر قرص سوکرالوز ۰/۰۵۵ گرم، حاوی ۶/۵ میلی‌گرم سوکرالوز و میزان شیرینی هر قرص معادل یک قاشق مربا خوری شکر (حدوداً ۵ گرم شکر) می‌باشد.

^{**} مقادیر گزارش شده، ترکیبات مصرفی در فرمول نهایی یک لیتر نوشیدنی فراسودمند چای سبز می‌باشد.

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ بر بازده استخراج مواد جامد چای سبز

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	مقدار F	احتمال P
مدل	۱۰۹۲۹/۹۶	۴	۱۲/۸۳	۰/۰۰۱۵
x_1	۳۵۲۹/۳۵	۱	۱۶/۵۷	۰/۰۰۳۶
x_2	۳۷۵۶/۰۰	۱	۱۷/۶۳	۰/۰۰۳۰
x_1^2	۱۱۵۰/۴۸	۱	۵/۴۰	۰/۰۴۸۶
x_2^2	۱۱۰۵/۸۳	۱	۵/۱۹	۰/۰۵۲۲
باقیمانده ها	۱۷۰۴/۱۶	۸	-	-
آزمون فقدان برازش	۱۱۵۶/۵۳	۴	۲/۱۱	۰/۳۴۳ ^{n.s}
خطای خالص	۵۴۷/۶۳	۴	-	-
کل	۱۲۶۳۴/۱۲	۱۲	-	-

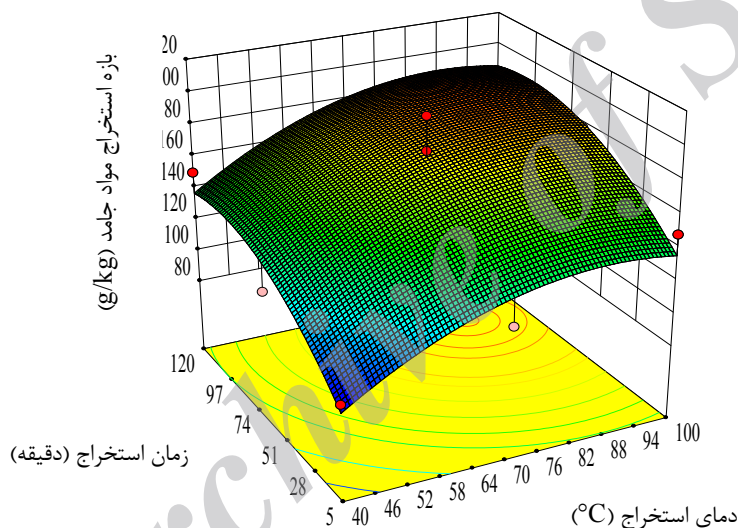
x_1 : دمای استخراج، x_2 : زمان استخراج.

جامد از ۱۲۰ به ۱۸۸/۹۴۱ گرم در هر کیلوگرم گردید. همچنین در رابطه با تأثیر زمان استخراج در روند بازده استخراج مواد جامد چای سبز نیز روند صعودی مشاهده گردید. به طوری که در یک دمای استخراج ثابت (مثلاً ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، افزایش زمان استخراج از ۵ تا ۹۷ دقیقه سبب افزایش میزان بازده استخراج مواد جامد از ۱۲۰ گرم در هر کیلوگرم تا ۱۶۸/۹۵۹ گرم در هر کیلوگرم گردید. نتایج مشابه

نمودار سه بعدی اثر همزمان دما و زمان استخراج بر بازده استخراج مواد جامد در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که از نمودار پیداست اثرات درجه دوم مدل، سبب حالت انحنا در مدل شد. نتایج نشان داد که افزایش دمای استخراج سبب افزایش بازده استخراج مواد جامد گردید. همان‌طور که در کانتور مشاهده می‌گردد، افزایش دما استخراج از ۵۰ به ۸۸ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش بازده استخراج مواد

دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۱۷ درصد کمتر از دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (Liang & Xu, 2003). همچنین محققین فوق در سال ۲۰۰۱ تأثیر pH را روی بازده استخراج مواد جامد عصاره بررسی نمودند. این محققین اظهار داشتند که بازده استخراج مواد جامد به شدت تحت تأثیر pH قرار دارد. نتایج نشان داد که در pH های اسیدی و نزدیک ۱/۵ بیشترین بازده استخراج مواد جامد مشاهده شد (Liang & Xu, 2001). همچنین نجفی و همکاران (۱۳۸۵ و ۱۳۸۷) مطالعاتی بر روی چای سبز و سیاه انجام دادند. نتایج این محققین نیز در مورد بازده استخراج مواد جامد عصاره، مطالب فوق را تأیید می‌نماید.

توسط Xu و Liang (۲۰۰۳) در مورد چای سیاه مشاهده گردید. این پژوهشگران فرآیند دم کردن و استخراج عصاره چای سبز را در دامنه دمایی ۲۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که در یک دمای ثابت طی عصاره‌گیری، میزان بازده استخراج مواد جامد افزایش یافت. به طوری که بیشترین میزان بازده استخراج مواد جامد در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که در مدت زمان استخراج مشخص (مدت ۲۰ دقیقه استخراج) میزان بازده استخراج مواد جامد عصاره در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۹ درصد کمتر از دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بود. به طور مشابه، در مدت استخراج ۳۰ دقیقه، میزان بازده استخراج مواد جامد عصاره در



شکل ۱- نمودار سه بعدی، اثر همزمان دما و زمان استخراج را بر بازده استخراج مواد جامد چای سبز

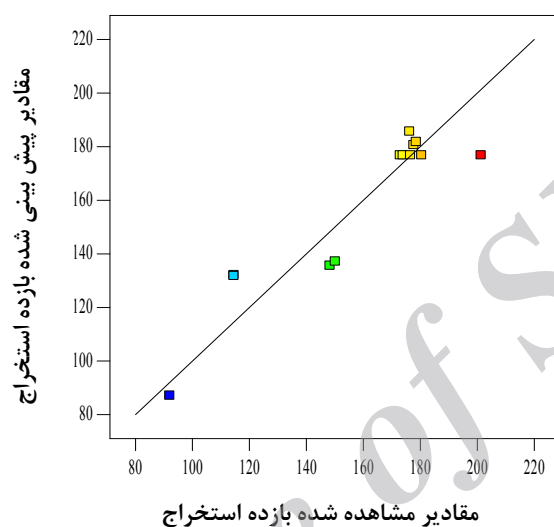
سبز، به ترتیب زمان و دمای استخراج و عبارات درجه دوم مدل (یعنی x_1^2 و x_2^2)، بیشترین تأثیر را داشت. با به کارگیری روش سطح پاسخ، پس از اصلاح و حذف متغیرهای بی‌تأثیر و حفظ متغیرهای مهم در مدل، معادله‌ی اصلاح شده (که نشان‌دهنده‌ی وجود ارتباط تجربی بین بازده استخراج مواد جامد و متغیرهای آزمایش است)، به دست آمد (جدول ۶). در روش سطح پاسخ مرحله‌ای به نام اعتبارسنجی^۱ وجود دارد، در این مرحله می‌بایست

از اطلاعاتی که می‌توان به وسیله آن برازش مطلوب داده‌ها را ارزیابی نمود، مقادیر R^2 ، R^2_{adj} ، SD (انحراف معیار) و C.V (ضریب تغییرات) می‌باشد که این مقادیر برای مدل‌سازی بازده استخراج مواد جامد چای سبز در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین برای اطمینان از کفایت مدل، از آزمون فقدان برازش استفاده گردید که با توجه به جدول تجزیه واریانس مربوط به بازده استخراج مواد جامد چای سبز، آزمون عدم برازش معنی‌دار نشد که بیانگر برازش مناسب مدل بود. با توجه به جدول ۵، مشاهده شد که از میان فاکتورهای مؤثر بر بازده استخراج مواد جامد چای

بازده استخراج مواد جامد توسط مدل، تأیید گردد. همبستگی بسیار خوب بین داده‌ها آزمایشی و مقادیر بدین منظور، داده‌های آزمایشی با داده‌های پیشگویی شده توسط مدل، مقایسه شد (شکل ۲). نتایج، بیانگر

جدول ۶- مقادیر ضرایب مدل برای پاسخ بازده استخراج مواد جامد چای سبز.

مدل نهایی	R^2	R^2_{adj}	SD	C.V. (%)
برای مقادیر کد شده $Y_1 (gkg^{-1}) = + 176.84 + 24.25 x_1 + 25.02 x_2 - 20.41 x_1^2 - 20.01 x_2^2$	۰/۸۶۵۱	۰/۷۹۷۷	۱۴/۶۰	۹/۲۳
برای مقادیر واقعی $Y_1 (gkg^{-1}) = - 41.70 + 3.98 x_1 + 1.19 x_2 - 0.022 x_1^2 - 0.006 x_2^2$				



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده بازده استخراج مواد جامد چای سبز

کدورت چای سبز معنادار شد. بررسی مقادیر F نشان داد که در بین اثرات خطی مدل سطح پاسخ، زمان استخراج (x_2) با مقدار ($F = ۱۶۶/۶۲$) بیشترین تاثیر را در روند تغییرات کدورت چای سبز داشت و پارامتر دمای فرآیند (x_1) در ادامه قرار گرفت (جدول ۷).

جدول ۷ نتایج آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ را بر میزان کدورت چای سبز نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول ۷، مشاهده می‌شود، کلیه اثرات خطی (یعنی x_1 و x_2)، جملات درجه دوم (یعنی x_1^2 و x_2^2) و اثر متقابل پارامترهای (x_1x_2) مورد بررسی بر میزان

جدول ۷- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ بر میزان کدورت چای سبز.

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	مقدار F	احتمال P
مدل	۳۲۷/۹۹	۵	۷۴/۲۹	۰/۰۰۰۱
x_1	۱۲۵/۸۳	۱	۱۴۲/۵۰	۰/۰۰۰۱
x_2	۱۴۷/۱۳	۱	۱۶۶/۶۲	۰/۰۰۰۱
x_1x_2	۲۳/۴۸	۱	۲۶/۵۹	۰/۰۰۱۳
x_1^2	۶/۴۰	۱	۷/۲۵	۰/۰۳۰۹
x_2^2	۱۳/۴۹	۱	۱۵/۲۸	۰/۰۰۵۸
باقیمانده‌ها	۶/۱۸	۷	-	-
آزمون فقدان برازش	۴/۴۷	۳	۳/۴۹	۰/۱۲۹۴ ^{n.s}
خطای خالص	۱/۷۱	۴	-	-
کل	۳۳۴/۱۷	۱۲	-	-

x_1 : دمای استخراج، x_2 : زمان استخراج.

متغیرهای بی‌تأثیر و حفظ متغیرهای مهم در مدل، معادله‌ی اصلاح شده به‌دست آمد (جدول ۸).

با توجه به جدول ۷ مشاهده شد که رابطه $x_1 < x_2 < x_1 x_2 < x_1^2 < x_2^2$ بین فاکتورهای مؤثر بر میزان کدورت چای سبز برقرار است. پس از اصلاح و حذف

جدول ۸- مقادیر ضرایب مدل برای پاسخ میزان کدورت چای سبز.

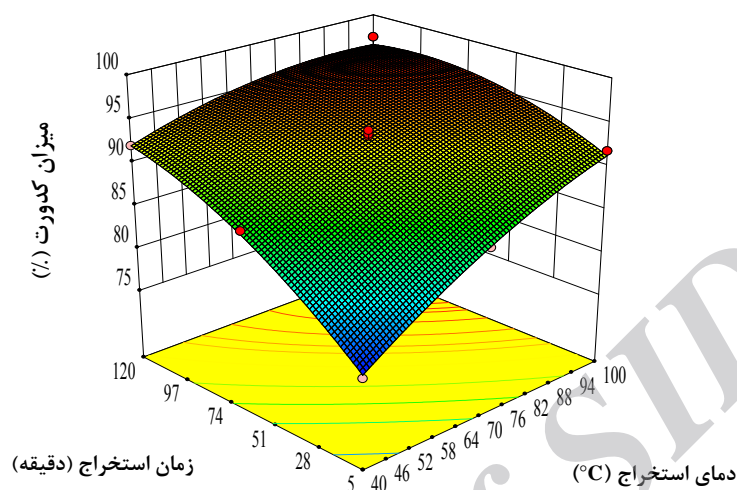
مدل نهایی	R^2	R^2_{adj}	SD	C.V. (%)
برای مقادیر کد شده				
$Y_2 (T_{800}) = + 92.99 + 4.58 x_1 + 4.95 x_2 - 2.42 x_1 x_2 - 1.52 x_1^2 - 2.21 x_2^2$	۰/۹۸۱۵	۰/۹۶۸۳	۰/۹۴	۱/۰۳
برای مقادیر واقعی				
$Y_2 (T_{800}) = + 59.88 + 0.477 x_1 + 0.268 x_2 - 0.0014 x_1 x_2 - 0.0017 x_1^2 - 0.00067 x_2^2$				

(۲۰۰۲)، نیز صحت نتایج به‌دست آمده را تایید نمود. آن‌ها همچنین نشان دادند که ترکیبات کرم چای سبز را کافئین، گالوکاتچین و اپی‌گالوکاتچین تشکیل می‌دهند. هم‌چنین Yin و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که ترکیبات اصلی در تشکیل کرم چای سبز، ترکیبات پلی‌فنلی (۲۹/۸۶-۷۸/۶۶ درصد) و کافئین (۱۰/۴۳-۲/۳۵ درصد) می‌باشد. به طوری که کاتچین‌های موجود در چای مهم‌ترین ترکیبات پلی‌فنلی بوده که در تشکیل کرم چای شرکت می‌نمایند (Yin et al., 2009). Rutter و همکاران (۱۹۷۱)، Rutter و Stainsby (۱۹۷۵) و Collier و همکاران (۱۹۷۲)، بیان نمودند که تشکیل کرم چای به دلیل برهمکنش کافئین-پلی‌فنل می‌باشد. Penders و همکاران (۱۹۹۸) بیان نمودند که با افزایش کرم چای، نور عبور داده شده از میان عصاره به وسیله این ذرات متفرق شده و ظاهری ابری و کدر به عصاره می‌دهد و سبب افزایش کدورت می‌گردد. نتایج Liang و Xu (۲۰۰۳) نیز این مطلب را تصدیق می‌نمایند. Penders و همکاران (۱۹۹۸) نشان داد که در غیاب کافئین، تشکیل کرم چای به دلیل عدم حلالیت ترکیبات پلی‌فنلی رخ می‌دهد. بنابراین نتایج مذکور با نتایج Roberts (۱۹۶۳)، که اظهار نمود فرآیند کافئین‌زدایی^۱ می‌تواند سبب بازدارندگی از تشکیل کرم چای گردد، در تضاد است. از طرف دیگر، نتایج تحقیقات Liang و Xu (۲۰۰۱)، نشان داد که میزان ترکیبات پلی‌فنلی موجود در چای که بر روی کرم چای تأثیر گذارند، به شدت تحت تأثیر pH می‌باشد.

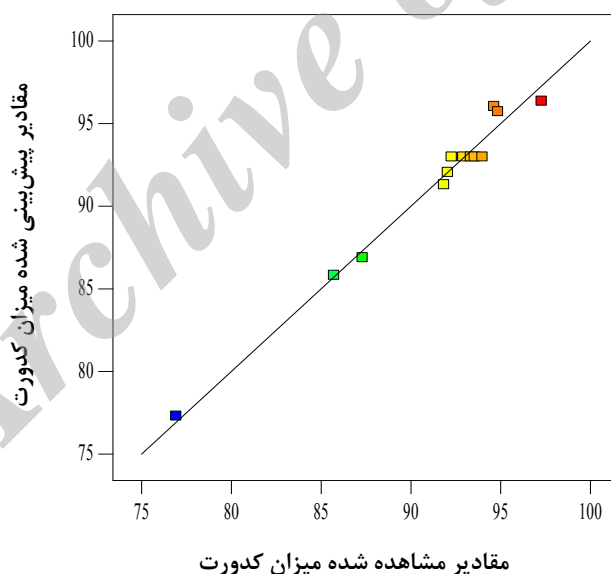
نمودار سه بعدی اثر همزمان دما و زمان استخراج بر میزان کدورت چای سبز در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که افزایش دمای استخراج سبب افزایش کدورت چای سبز گردید. به طوری که در یک زمان استخراج ثابت (فرضاً ۹۵ دقیقه) افزایش دمای استخراج از ۵۲ به ۹۵ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش کدورت چای سبز از ۹۲/۲۵ به ۹۶/۶۶ درصد گردید. هم‌چنین در رابطه با تأثیر زمان استخراج در روند کدورت چای سبز نیز روند صعودی مشاهده شد. به طوری که در یک دمای استخراج ثابت (مثلاً ۷۰ درجه سانتی‌گراد) افزایش زمان استخراج از ۶۰ تا ۱۲۰ دقیقه سبب افزایش کدورت چای سبز از ۹۲/۲۵ درصد تا ۹۵/۸۲ درصد گردید. تحقیقات نجفی و همکاران (۱۳۸۵ و ۱۳۸۸)، نتایج این تحقیق را تأیید می‌نمایند. این محققین اظهار نمودند که بین کدورت چای با کرم، همبستگی بالایی وجود دارد. آن‌ها توسط رگرسیون خطی همبستگی (r) ۰/۹۹۳ را بین کدورت و کرم به‌دست آوردند. هم‌چنین، نجفی و همکاران (۱۳۸۸) بیان نمودند که تنها برخی از ترکیبات موجود در چای سیاه باعث تشکیل کرم شده و زمانی که استخراج در دماهای پایین انجام می‌گیرد این ترکیبات در تفاله چای سیاه باقی می‌مانند. نتایج مذکور با نتایج Penders و همکاران (۱۹۹۸) و Liang و همکاران (۲۰۰۲) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند کافئین و تنافلاوین گالات‌ها مهم‌ترین این ترکیبات بوده و استرهای گالاته تنافلاوین به عنوان عامل اصلی تشکیل کرم در عصاره چای سیاه بوده و در دماهای پایین وارد عصاره نمی‌شوند (Liang et al., 2002). تحقیقات Liang و همکاران (Penders et al., 1998).

جهت تأیید مدل ارائه شده برای کدورت چای سبز، مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده مقایسه شد (شکل ۴). نتایج، بیانگر همبستگی بسیار خوب بین داده‌های آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده با مدل می‌باشد ($R^2=0/9815$).

به طوری که در pH معادل ۴/۹۰، بیشترین ترکیبات پلی‌فنلی (انواع کاتچین‌ها) مشاهده می‌گردد که این ترکیبات به شدت در تشکیل کرم چای مشارکت دارند.



شکل ۳- نمودار سه بعدی، اثر همزمان دما و زمان استخراج بر میزان کدورت چای سبز



شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده میزان کدورت چای سبز

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، فاکتورهای مهم در استخراج چای سبز شامل حداکثر بازه استخراج مواد جامد، حداقل میزان کدورت و حداقل زمان و دمای فرآیند استخراج می‌باشد. با در نظر گرفتن این موارد نقاط بهینه کلی شامل: میزان بازه استخراج مواد جامد

با توجه به آزمون‌ها و آنالیزهای انجام شده در پایان بایستی نقاط بهینه برای چای سبز تعیین گردد. نقطه بهینه نقطه‌ای است که در آن روند استخراج چای سبز در شرایط ایده‌آل بوده و تقریباً تمام فاکتورهای مورد بررسی در شرایط مطلوب باشد.

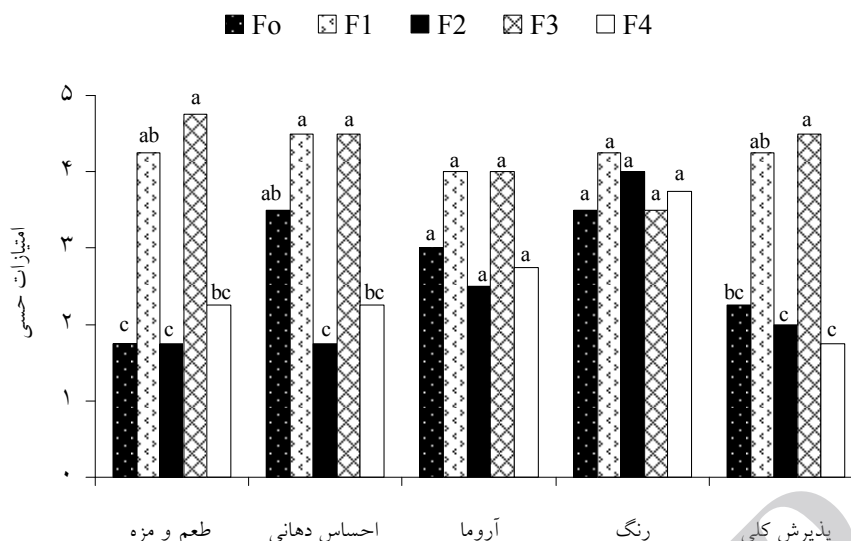
خصوصیات مورد ارزیابی به جز رنگ و آروما اختلاف معنادار مشاهده گردد ($p < 0.01$). در مورد طعم و مزه، فرمولاسیون F_3 بیشترین امتیاز آماری را در سطح احتمال ۹۹ درصد کسب نمود که اختلاف آماری معناداری با فرمولاسیون F_1 نداشت. همچنین کمترین امتیاز آماری در مورد فرمولاسیون های F_2 و F_4 کسب گردید که اختلاف آماری معناداری با فرمولاسیون F_4 مشاهده نگردد ($p < 0.01$). از طرف دیگر، از لحاظ احساس دهانی نوشیدنی رژیمی بدون گاز چای سبز، نتایج مشابه با ارزیابی طعم و مزه به دست آمد و فرمولاسیون های F_1 و F_3 بیشترین امتیاز را کسب نمودند. در مورد آروما، هیچ اختلاف آماری معناداری بین فرمولاسیون های مختلف مشاهده نگردد اگرچه فرمولاسیون های F_1 و F_3 با امتیاز آماری مشابه دارای بالاترین امتیاز حسی بودند ($p < 0.01$). همچنین نتایج نشان داد که در مورد رنگ نوشیدنی رژیمی فرموله شده چای سبز، هیچ اختلاف آماری معناداری بین فرمولاسیون های مختلف مشاهده نگردد. اگرچه فرمولاسیون F_1 به عنوان بهترین فرمولاسیون تعیین شد. در مورد پذیرش کلی، نتایج نشان داد که فرمولاسیون F_3 به عنوان بهترین فرمولاسیون بوده که نتایج ارائه شده در فوق نیز گویای این مطلب می باشد. در پایان برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نوشیدنی بدون گاز چای سبز (یعنی فرمولاسیون F_3) با ویژگی های فیزیکوشیمیایی استاندارد تدوین شده برای نوشابه های گازدار طعم دار بی رنگ مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه در جدول ۹ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد ویژگی های فیزیکوشیمیایی نوشیدنی بدون گاز چای سبز در محدوده استاندارد تدوین شده برای نوشابه های گازدار طعم دار بی رنگ قرار دارد.

۱۳۰/۳۷ گرم در هر کیلوگرم (g/kg)، میزان کدورت ۸۴/۶۲ درصد و به ترتیب زمان و دمای استخراج ۲۴/۷ دقیقه و ۵۲/۳۳ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین درجه تمایل (مطلوبیت^۱) به دست آمده ۰/۶۵ گزارش گردید.

فرمولاسیون نوشیدنی رژیمی چای سبز

ابتدا در راستای تعیین فرمولاسیون نوشیدنی، تعیین حد بهینه شیرین کننده ها ضروری می باشد. به منظور تعیین بهترین مقدار شیرین کننده ها (بر حسب گرم) از شکر به عنوان پایه فرمولاسیون استفاده گردید. به طوری که به صورت سعی و خطا مقادیر مختلف شکر به نمونه شاهد (نوشیدنی نهایی حاوی عصاره رقیق شده چای، صمغ عربی، اسید سیتریک و اسید آسکوربیک یعنی فرمول F_1) اضافه گردید، بهترین مقدار شکر برای شیرینی آن 70 g/l تعیین شد. در ادامه با مبنا قرار دادن مقدار بهینه شکر به عنوان پایه فرمولاسیون مقادیر سایر شیرین کننده ها (شیره خرما و قرص شیرین کننده سوکرالوز) اضافه گردید. لازم به ذکر است که در این پژوهش از قرص شیرین کننده سوکرالوز استفاده گردید. این شیرین کننده از داروخانه محلی خریداری شد. طبق نظر شرکت سازنده هر قرص حاوی $6/5$ میلی گرم سوکرالوز بوده و میزان شیرینی هر قرص معادل یک قاشق مربا خوری شکر (حدوداً ۵ گرم شکر) می باشد. با مبنا قرار دادن این فرض، مشخص گردید که ۷۰ گرم شکر معادل ۱۴ عدد قرص شیرین کننده سوکرالوز می باشد. با این فرض سایر فرمولاسیون ها تعیین گردید. نتایج ارزیابی حسی فرمولاسیون نوشیدنی رژیمی بدون گاز چای سبز در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می گردد در مورد همه

¹- Desirability



شکل ۵- نتایج تجزیه واریانس ارزیابی حسی نوشیدنی رژیمی چای سبز

جدول ۹- مقایسه برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نوشیدنی بدون گاز چای سبز و استاندارد تدوین شده نوشابه‌های گازدار طعم‌دار بی‌رنگ

میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده			
آزمون	نوشیدنی بدون گاز رژیمی چای سبز (تحقیق حاضر) و همکاران، (۱۳۸۵)	نوشابه چای سبز طعم‌دار (نجفی)	نوشابه گازدار طعم‌دار بی‌رنگ
وزن مخصوص در دمای ۲۰°C (-)	۰/۹۶۲۴	۱/۰۳۲	۱/۰۰۳۵ ± ۰/۰۰۵
چگالی در دمای ۲۰°C (kg.m ⁻³)	۹۶۲/۴	۱۰۳۲	۱۰۰۳/۵
کافئین (mg/l)	-	۱۰۵/۵۶	۰
غلظت یون هیدروژن (pH)	۳/۴۶	۳/۸۵	۳ ± ۰/۲
بنزوئیک اسید (mg/kg)	-	۱۰۰	حد اکثر ۱۵۰

بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نوشیدنی رژیمی چای سبز

همان‌طور که در بخش‌های فوق بیان گردید، در این پژوهش ویسکوزیته نوشیدنی رژیمی بدون گاز چای سبز به کمک ویسکومتر لوله موئین استوالد محاسبه گردید. مقادیر چگالی، ویسکوزیته مطلق و ویسکوزیته سینماتیک نوشیدنی رژیمی بدون گاز چای سبز در جدول ۱۰ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات ویسکوزیته مطلق و چگالی نوشیدنی چای سبز، با افزایش دما نزولی بوده به طوری که در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به کمترین مقدار خود می‌رسد. در مورد علت کاهش ویسکوزیته با دما می‌توان چنین بیان نمود که، در مایعات عامل

اصلی ویسکوزیته پیوستگی بین مولکولی یا به بیان دیگر نیروی جاذبه بین مولکولی ذرات بوده که مانع حرکت آزاد آن‌ها می‌شود. با افزایش دما فاصله بین مولکول‌ها افزایش یافته، بنابراین جاذبه بین مولکولی و در نهایت ویسکوزیته کاهش می‌یابد (قنبرزاده، ۱۳۸۸). همچنین در مورد تأثیر دما بر روی چگالی می‌توان چنین اظهار کرد که، افزایش دما سبب زیاد شدن فاصله بین مولکول‌ها و در نتیجه افزایش حجم مایعات شده و با توجه به رابطه چگالی ($\rho = m/V$) افزایش حجم در یک جرم مشخص از سیال، سبب کاهش چگالی می‌گردد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

جدول ۱۰- مقادیر ویسکوزیته مطلق و چگالی نوشیدنی رژیمی چای سبز در دماهای مختلف

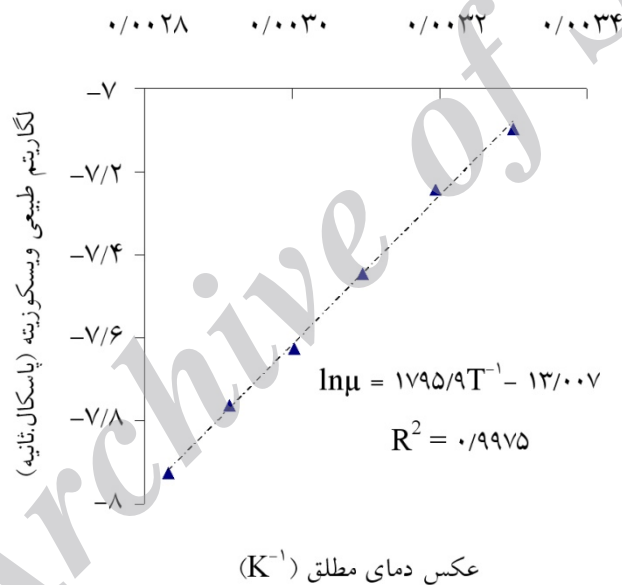
ویسکوزیته سینماتیک ($\times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	چگالی ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	ویسکوزیته مطلق ($\times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$)	درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$)
۰/۸۵۹۴	۹۶۲/۴	۸۲۷/۱۴	۳۰
۰/۷۴۴۹	۹۵۹/۶	۷۱۴/۸۹	۴۰
۰/۶۱۰۲	۹۵۷/۶	۵۸۴/۳۸	۵۰
۰/۵۱۱۲	۹۵۴/۰	۴۸۷/۶۹	۶۰
۰/۴۴۷۱	۹۵۲/۲	۴۲۵/۸۰	۷۰
۰/۳۸۲۱	۹۴۵/۸	۳۶۱/۴۲	۸۰

$$\ln \mu = \ln \mu_{\infty} + \ln \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \text{رابطه (۸)}$$

رابطه (۹)

$$\ln \mu = 1795.9T^{-1} - 13.007 \quad (R^2 = 0.9975)$$

تابعیت ویسکوزیته مطلق با دمای مطلق بر حسب معادله آرنیوس در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد، معادله آرنیوس توانست با دقت بالایی تابعیت ویسکوزیته با دمای مطلق را پیش‌بینی نماید ($R^2 = 0.9975$). بنابراین با توجه به رابطه آرنیوس (معادله ۸) داریم:



شکل ۶- تابعیت ویسکوزیته مطلق با عکس دمای مطلق بر حسب معادله آرنیوس

$$\ln \frac{\rho}{\rho_{\infty}} = \frac{E_a}{R \cdot T} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

رابطه (۱۱)

$$\ln \rho = 6.756 - 34.58T^{-1} \quad (R^2 = 0.947)$$

مقادیر انرژی فعال‌سازی، ویسکوزیته و چگالی در دمای بی‌نهایت در جدول ۱۱ ارائه شده است.

همچنین در این پژوهش با توجه به اهمیت چگالی در فرآیندهای انتقال حرارت طی فرآوری مواد غذایی و طراحی پمپ‌ها و سیستم‌های انتقال مایع، تابعیت چگالی بر حسب دما با معادله آرنیوس محاسبه شد. تابعیت چگالی با دما بر حسب رابطه آرنیوس به صورت زیر به‌دست آمد:

جدول ۱۱- مقادیر ویسکوزیته مطلق، چگالی و انرژی فعال سازی در نوشیدنی رژیمی چای سبز بر حسب دما

چگالی (kg.m^{-3})		ویسکوزیته مطلق ($\times 10^{-6}$ Pa.s)		E_a (kJ mol^{-1})	ویژگی فیزیکی
R^2	ρ_{∞}	R^2	μ_{∞}		
۰/۹۴۷۰	۸۵۹/۱۹۸	۰/۹۹۷۵	۲/۲۴۴	۱۴۹۳/۱۱	ویسکوزیته چگالی
				۲۸۷/۴۹۸	

نتیجه گیری

شکر فرموله گردید. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نوشیدنی فراسودمند فرموله شده با سوکرالوز (یعنی فرمولاسیون F_۳) به عنوان بهترین فرمولاسیون انتخاب گردید. بعد از تهیه نوشیدنی با توجه به اهمیت ویژگی‌های رئولوژیکی نوشیدنی طی فرآوری، ویسکوزیته چای سبز در دامنه دمایی بین ۳۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تابعیت ویسکوزیته و چگالی نوشیدنی فراسودمند چای سبز به خوبی با معادله آرنیوس بیان می‌شود.

هدف از این پژوهش تولید و فرمولاسیون نوشیدنی بدون گاز رژیمی چای سبز بود. بدین منظور ابتدا جهت تعیین بهترین دما و زمان استخراج عصاره چای سبز از روش سطح پاسخ استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهترین زمان و دما استخراج عصاره چای سبز به ترتیب ۲۴/۷ دقیقه و ۵۲/۳۳ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. جهت فرمولاسیون نوشیدنی چای سبز ابتدا عصاره چای سبز در نقطه بهینه استخراج و سپس با مقادیر مختلف از سوکرالوز، شیر خرم و

منابع

- ۱- قنبرزاده، ب، ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۷۵-۷۸.
- ۲- نجفی، ع، شکرانی، ر،، شاهی، م، و نوری، ل. ۱۳۸۵. بررسی امکان تولید نوشابه چای سبز سرد از برگ چای سبز، مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، سال دوم، شماره ۲ (پیاپی ۴)، صفحات ۱۱-۱.
- ۳- نجفی، ع، شاهی، م، شکرانی، ر، و علاءالدینی، ب. ۱۳۸۸. بررسی امکان تولید و پایداری نوشیدنی چای سرد از خاک چای سیاه، مجله الکترونیک فرآوری و نگهداری مواد غذایی، جلد اول، شماره اول، صفحات ۲۹-۱۳.
- ۴- شعاع حسنی، ع، ر، حمدی، ک، اردوزاده، ن، قائمی، ا، و محمدی، ع. ۱۳۸۸. اثر مهارکنندگی عصاره‌های اتیل استاتی چای سبز و سیاه بر هلیکوباکتریلوری عامل زخم‌های معده، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین، سال سیزدهم، شماره ۴ (پیاپی ۵۳)، صفحات ۱۸-۱۲.
- 5- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- 6- Chacko, S.M., Thambi, P.T., Kuttan, R., & Nishigaki, I. 2010. Beneficial effects of green tea: A literature review. *Journal of Chinese Medicine*, 5(13): 1-9.
- 7- Collier P.D., Mallows R., and Thomas P.E. 1972. Interactions between theaflavins and caffeine. *Phytochemistry*, 11: 867-873.
- 8- Iwasaki, M., Inoue, M., Sasazuki, S., Sawada, N., Yamaji, T., Shimazu, T., Willett, W.C., & Tsugane, S. 2010. Green tea drinking and subsequent risk of breast cancer in a population to based cohort of Japanese women. *Journal of Breast Cancer Research*, 12(5):1-10.
- 9- Liang, Y., & Xu, Y. 2001. Effect of pH on cream particle formation and solids extraction yield of black tea. *Journal of Food Chemistry*, 74: 155-160.
- 10- Liang, Y.R., Lu, J.L., & Zhang, L.Y. 2002. Comparative study of cream in infusions of black tea and green tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]. *Journal of Food Science and Technology*, 37: 627-634.

- 11- Liang, Y., & Xu, Y. 2003. Effect of extraction temperature on cream and extractability of black tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 37-45.
- 12- Penders, M.H.G.M., Scollard, D.J.P., Needham, D., Pelan E.G., & Davies, A.P. 1998. Some molecular and colloidal aspects of tea cream formation. *Journal of Food Hydrocolloids*, 12: 443-450.
- 13- Roberts E.A.H. 1963. The phenolic substances of manufactured tea. X.-the creaming down of tea liquors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14(10): 700-705.
- 14- Rutter, P. 1971. A phsico-chemical study of tea cream. PhD. thesis, Leeds University, England.
- 15- Rutter P., & Stainsby G. 1975. The solubility of tea cream. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26(4): 455-463.
- 16- Sinija, V.R., & Mishra, H.N. 2008. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules. *Journal of Food Engineering*, 86: 494-500.
- 17- Yin, J.F., Xu, Y.Q., Yuan, H.B., Luo, L.X., & Qian, X.J. 2009. Cream formation and main chemical components of green tea infusions processed from different parts of new shoots. *Journal of Food Chemistry*, 114: 665-670.
- 18- Zaveri, N.T. 2006. Green tea and its polyphenolic catechins: Medicinal uses in cancer and noncancer applications. *Journal of Life Sciences*, 78: 2073-2080.

Archive of SID

Determination of optimal parameters to extraction and formulation of functional drink from green tea and determining its physicochemical and rheological properties

Mohsen Mokhtarian^{1*}, Hamid Tavakolipour², Shadi Jafari Savareh¹, Maryam Amiri³

1- PhD. Student, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Sabzevar Branch, Sabzevar, Iran

* Corresponding author (mokhtarian.mo@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Sabzevar Branch, Sabzevar, Iran

3- PhD. Student, Department of Food Science and Industries, School of Industrial and Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran

Abstract

In this research, optimization of extraction process of green tea extract to maximize extracted solid yield and minimize turbidity of the samples was carried out using response surface methodology (RSM). The effects of two factors, extraction temperature in three levers 40, 70 and 100°C and extraction time in levers of 5, 62.5 and 120 minutes on extracted solid yield and turbidity were investigated by Central Composite Design (CCD). The result indicated that the optimum conditions for extraction of green tea extract, the extraction temperature 52.33°C and extraction time 24.7 minute were determined. At optimum point, extracted solid yield and turbidity were reported 130.37 g.kg⁻¹ and 84.62%, respectively. The result of sensory evaluation of different formulation showed that, drink formulated with sucralose (i.e. formulation F₃) in between the other formulations has the highest score among the other formulations. Surveying the rheological properties of functional drink green tea indicated that, Arrhenius plot relationship was able to fit viscosity and density with high correlation with R² equal 0.9975 and 0.9614, respectively.

Keywords: Formulation, Functional drink, Green Tea, Rheological modeling