

بهینه‌سازی شرایط عملیاتی کدورت‌زدایی از شیره انگور رقیق‌شده با جاذب طبیعی پوست لیمو

امید احمدی

استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

دریافت: شهریور ۱۴۰۳ بازنگری: آبان ۱۴۰۳ پذیرش: آذر ۱۴۰۳

 <https://doi.org/10.30495/JACR1.1403.1129899>

چکیده

شیره انگور یکی از فراورده‌های غذایی و دارویی ارزشمند است که از عصاره طبیعی انگور به‌دست می‌آید. این ماده سرشار از مواد مغذی و منبع انرژی طبیعی است و ویژگی دارویی متفاوتی دارد. کدورت شیره انگور به وجود ذره‌های معلق، پلی‌ساکاریدها و مواد معلق در آن بستگی دارد. برای بهبود کیفیت شیره و کاهش کدورت آن، جاذب‌های طبیعی به‌کار می‌روند. در پژوهش حاضر، جاذب طبیعی پوست لیمو برای کاهش کدورت آن به‌کار گرفته شد. پس از پیش‌آزمایش‌های متفاوت، ۴۰ میلی‌لیتر از شیره انگور با 10°Bx با مقدار جذب اولیه ۲/۸۷۴ a.u. با ۲ گرم از جاذب طبیعی پوست لیمو و با روش سطح‌پاسخ در بازه دمای گرمادهی ۲۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس و سرعت هم‌زدن ۲۰۰ تا ۶۰۰ rpm فرایند برجذب به‌مدت ۴ ساعت انجام شد. پس از بهینه‌سازی، نتیجه‌ها نشان داد دمای ۳۵ درجه سلسیوس و دور همزن ۳۸۰ rpm مناسب‌ترین حالت در فرایند کدورت‌زدایی بود. در این حالت بیشترین درصد حذف با مقدار تقریبی ۵۸ درصد به‌دست آمد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از بریکس‌سنج، تفاوت نامحسوسی از بریکس نهایی با اولیه را نشان داد (۹ درصد کاهش). با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه DLS، میانگین اندازه ذره‌ها پیش و پس از فرایند برجذب به‌ترتیب ۵۰۰ و ۳۰۰۰ نانومتر و شاخص پراکندگی ۱ و ۰/۸۴۶ به‌دست آمد. همچنین، اثر جرم جاذب و زمان فرایند کدورت‌زدایی نیز بررسی شد که نسبت به‌حالت بهینه تفاوت چندانی نداشت.

واژه‌های کلیدی: جاذب طبیعی، پوست لیمو، شیره انگور، کدورت‌زدایی، بهینه‌سازی، طراحی آزمایش

مقدمه

آرامی برای مصرف انسانی تبدیل کرده است. با این حال، چالش‌های جدی در زمینه کیفیت و پایداری شیره انگور وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها کدورت است [۱]. کدورت شیره انگور به‌طور معمول ناشی از ذره‌های معلق، پروتئین‌ها و ترکیب‌های غیرمحلول در این فراورده است که تأثیرهای منفی بر

شیره انگور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و محبوب‌ترین فراورده‌های غذایی در بسیاری از فرهنگ‌ها شناخته می‌شود. غنای بالای این فراورده از نظر مواد مغذی، طعم خوشمزه و کاربرد گسترده آن در تهیه انواع خوراکی‌ها، آن را به یک گزینه

خوش طعمی و کیفیت ظاهری آن دارند [۲]. رنگ و کدورت به موازات طعم و مزه و شکل و اندازه یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حسی مواد غذایی را تشکیل می‌دهد و مصرف‌کننده ابتدا کیفیت را با رنگ ارزیابی می‌کند. تجربه به انسان القا کرده است که رنگ، با کیفیت و ویژگی‌های حسی رابطه مستقیم دارد [۳].

به‌طور معمول کدورت شیر انگور با روش‌های فیزیکی و شیمیایی حذف می‌شود [۴]. این روش‌ها می‌توانند هزینه‌های بالایی داشته باشند و به برخی از مواد شیمیایی مضر متکی باشند [۵]. به‌کارگیری جاذب‌های طبیعی به‌عنوان یک راهکار پایدار و مؤثر در این زمینه معرفی شده‌اند، به‌ویژه جاذب‌هایی که می‌توانند به خوبی با ذره‌های کدورت در شیر انگور واکنش نشان دهند [۶]. جاذب‌های طبیعی به‌دلیل زیست‌تخریب‌پذیری، تجدیدپذیری و هزینه پایین، گزینه مناسب‌تری نسبت به سایر جاذب‌ها هستند و تمایل بیشتری برای استفاده از آن‌ها وجود دارد [۷]. از جاذب‌های طبیعی می‌توان به پوست موز، پرتقال و لیمو اشاره کرد [۸]. ماده سفیدی که در بخش زیرین پوست پرتقال و لیمو وجود دارد پادسرطان است و می‌تواند برای جذب رنگ، کدورت و پکتین نیز استفاده شود [۹]. یکی از جاذب‌های طبیعی موردتوجه در سال‌های اخیر، پوست لیمو است که به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خود می‌تواند عملکرد خوبی در جذب ذره‌های معلق و کدورت شیر انگور داشته باشد [۱۰]. بررسی‌ها نشان داده است که فرایند جذب با پوست لیمو می‌تواند نتیجه‌های اثر بخشی را در حذف کدورت از نوشیدنی‌ها نشان دهد [۱۱]. پوست لیمو حاوی ترکیب‌هایی چون سیترون و فلاونوئیدها است که می‌تواند به کاهش کدورت شیر کمک کند. افزون‌براین، استفاده از پوست لیمو به‌عنوان یک جاذب طبیعی به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار مناسب است و به کاهش ضایعات کشاورزی کمک می‌کند [۱۲].

کاهش کدورت با جاذب‌های طبیعی به‌وسیله فرایند بر جذب^۱ انجام می‌گیرد که فرایند جداسازی مناسبی در صنعت

است و در آن برخی از اجزاء از سیال به سطح یک جاذب جامد منتقل می‌شود. به‌طور معمول ذره‌های ریز جاذب در بستر ثابتی نگه‌داشته شده و سیال به‌صورت پیوسته از میان بستر عبور داده می‌شود. با سیر شدن این بستر حاوی جاذب، توانایی جداسازی آن کاهش می‌یابد [۱۳]. بهینه‌سازی شرایط زدودن کدورت و به‌کارگیری روش‌های طبیعی و اقتصادی یکی از نیازهای پایه در صنعت فراوری شیر انگور بشمار می‌آید [۱۰]. دما، زمان، جرم جاذب، pH، غلظت و عامل‌های دیگر هر کدام اثرگذاری ویژه‌ای بر فرایند نهایی کدورت‌زدایی دارند [۱۴ و ۱۵].

پژوهش‌های بسیاری در زمینه استفاده از جاذب‌های طبیعی برای تصفیه، رنگ‌زدایی و کدورت‌زدایی مواد غذایی انجام شده است، ولی تمرکز ویژه بر استفاده از پوست لیمو برای کدورت‌زدایی شیر انگور تاکنون بررسی نشده است. در پژوهش حاضر، با به‌کارگیری پوست لیمو برای کدورت‌زدایی شیر انگور، سعی شد، کیفیت شیر انگور بهبود یابد. از این‌رو، پس از مطالعه منابع مشابه و پیشینه و بهره‌گیری از روش طراحی آزمایش، پژوهش در سه بخش اصلی انجام شد که شامل بهینه‌سازی دمای گرمکن و دور همزن برای حذف کدورت از شیر انگور با جاذب طبیعی پوست لیمو، بررسی اثر مقدار جاذب بر کدورت‌زدایی و بررسی اثر زمان فرایند بر جذب بر کاهش کدورت شیر انگور بود.

بخش تجربی

مواد

شیر انگور و میوه لیمو به‌عنوان ماده اولیه در پژوهش حاضر از بازارهای محلی شهرستان سنجند تهیه شد. آب دوبار تقطیر و یون‌زدوده خریداری شده از شرکت زلال طب شیمی، به‌عنوان ماده پایه برای رقیق‌سازی شیر انگور استفاده شد. کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ برای جداسازی جاذب طبیعی و نمونه کدورت‌زدایی‌شده، به‌کاربرده شد.

^۱. Adsorption

روش‌ها

آماده‌سازی شربت شیر انگور

شیره انگور تهیه‌شده دارای غلظت و بریکس بالایی (تقریباً 75°Bx) بود. استفاده و ارزیابی ماده با بریکس بالا امکان‌ناپذیر است، به همین علت غلظت شیره انگور با آب مقطر کاهش داده شد و رقیق‌سازی انجام گرفت. با توجه به پژوهش‌های پیشین [۱۶]، غلظت در فرایند کدورت‌زدایی مقدار 10°Bx انتخاب شد و شیره انگور تا این مقدار رقیق شد.

جاذب طبیعی پوست لیمو

پوست میوه لیمو پس از جداسازی از آن گوشته آن به‌عنوان ماده اولیه برای ساخت جاذب طبیعی استفاده شد، به‌طوری که پس از خشک کردن آن در دمای 55°C درجه سلسیوس در آن آزمایشگاهی، با توجه به اینکه جاذب‌های مورد استفاده به‌طور معمول اندازه‌هایی بین 55 میکرومتر تا 10 میلی‌متر دارند، در پژوهش حاضر پوست لیمو خشک‌شده با الک‌های صنعتی به اندازه‌های یکسان $1/5$ میلی‌متر تبدیل شد.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

مهم‌ترین بخش پژوهش حاضر، بررسی آثار اصلی و اثر متقابل متغیرهای انتخاب‌شده برای بهینه‌سازی شرایط حذف رنگ و کدورت از شیره شربت انگور بود. از این رو، طرح آماری سطح‌پاسخ انتخاب شد. پژوهشگران متفاوتی نیز از این روش برای بهینه‌سازی مقادیر و کاهش تعداد آزمایش‌ها استفاده کرده‌اند [۱۷ تا ۱۹]. در این پژوهش، برای حذف رنگ و کدورت از شربت شیر انگور، متغیرهای عملیاتی متفاوتی شامل دمای گرمادهی گرمکن و دور همزن آن، زمان فرایند بر جذب، جرم جاذب و pH به‌طور کامل بر نتیجه نهایی اثرگذار بودند. از این رو، دو عامل دمای گرمادهی گرمکن و دور همزن برای بهینه‌سازی و طراحی آزمایش انتخاب شدند تا پایین‌ترین کدورت شیر انگور به‌دست آید.

مقدارهای ثابت مورد استفاده در طراحی آزمایش، حجم شربت شیر انگور (40 میلی‌لیتر)، جرم جاذب (1 گرم)، زمان فرایند بر جذب (4 ساعت) بودند که برای همه نمونه‌های طراحی آزمایش اعمال شدند. با توجه به در نظر گرفتن دو متغیر عملیاتی دمای گرمادهی با گرمکن همزن دار (گستره 20 الی 60 درجه سلسیوس) و دور همزن (گستره 200 الی 600 دور در دقیقه)، 13 آزمایش انجام شد که در هر ظرف به مقدار یکسانی شیر انگور و جاذب در مدت زمان ثابتی در تبادیل با یکدیگر بودند.

برای تعیین ویژگی‌های نهایی شیر انگور کدورت-زدایی‌شده، اثر دما و دور همزن بر مقدار حذف کدورت بررسی شد. برای این دو متغیر (دما و دور همزن)، تعداد آزمایش‌ها برای بهینه‌سازی با این روش و به‌کارگیری سامانه غیرکد، 13 بود که نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش، 5 بار تکرار شد. مزیت 5 بار تکرار آزمایش نقطه مرکزی، برای تکرارپذیر بودن و دستیافتن به نتیجه قطعی در آزمایش بود. برای طراحی آزمایش به روش سطح‌پاسخ، روش طرح مرکب مرکزی (CCD^1) به‌کار گرفته شد. برپایه این روش ضرایب به‌صورت یک معادله ریاضی نوشته و پاسخ پیش‌بینی شد (معادله ۱).

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 \quad (1)$$

که در آن Y متغیر وابسته (درصد حذف کدورت)، X_1 دما و X_2 دور همزن است. β_0 ضریب ثابت، ضرایب β_1 و β_2 اثرهای خطی (درجه اول)، β_{11} و β_{22} اثرهای مربعی (درجه دوم) و β_{12} اثرهای متقابل یا برهم‌کنش دما و دور همزن است. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل وردایی (ANOVA^2) و روش آماری آزمون t برای مقایسه داده‌ها به‌کار گرفته شد. در این مدل $P < 0.05$ به‌عنوان مقدارهای آماری معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود و جملاتی که دارای $P > 0.05$ باشند، به‌عنوان نتیجه‌های بی‌معنی و غیراثرگذار تلقی می‌شوند. مقدار $P < 0.05$ بدین

¹. Central Composite Design

². Analysis of Variance

بهینه‌سازی شرایط عملیاتی کدورت-زدایی از شیر انگور رقیق شده ...

پیش از فرایند بر جذب با شکست‌سنج^۲ مدل Agato ساخت ژاپن ارزیابی شد. برای بررسی برگشت‌پذیر بودن اثر جاذب، پوست لیمو طبیعی انتخاب‌شده، در شرایط دمایی ۵۵ درجه سلسیوس در آن خشک و با هاون چینی پودر شد. سطح ویژه آن به روش BET با دستگاه JW-BK132F ارزیابی و با سطح ویژه نمونه اولیه مقایسه شد.

$$(2) \quad ((Y_1 - Y_2) / Y_1) \times 100 = \text{درصد حذف کدورت}$$

نتیجه‌ها و بحث

مدل سطح‌پاسخ

طراحی آزمایش انجام گرفته بر پایه طرح مرکب مرکزی و سطح‌پاسخ بود. دو متغیر مستقل در نظر گرفته‌شده شامل دمای گرمادهی با گرمکن و دور همزن بود. ۱۳ آزمایش انجام گرفته به همراه نتیجه‌های مربوط عملی و پیش‌بینی‌شده با مدل به‌دست‌آمده در جدول ۱ گزارش شده است. مقدار کدورت شیر انگور در طول موج ۶۲۵ نانومتر بررسی شد و مقدار ۲/۸۷۴ واحد جذب به‌دست آمد. درصد حذف کدورت با معادله ۲ محاسبه شد.

اعتبارسنجی متغیرهای مستقل در نظر گرفته‌شده در طراحی آزمایش نشان داد که برای اثر دما در حالت درجه اول درصد حذف کدورت شیر انگور معنی‌دار و مقدار p برابر با ۰/۰۰۱ بود، ولی دور همزن با مقدار p بالاتر از ۰/۱۳۷ اثرگذاری مستقیمی بر شیر انگور نداشت (جدول ۲). اثرهای درجه دوم برای درصد حذف معنی‌دار بود و مقدار p برای متغیر دما ۰/۰۰۰ و متغیر سرعت هم‌زدن ۰/۰۰۵ به‌دست آمد. اثرهای متقابل دو متغیر بر درصد حذف کدورت معنی‌دار نبود و مقدار p برابر با ۰/۷۰۲ بود. این نتیجه‌ها نشان داد متغیرهای در نظر گرفته‌شده به‌درستی انتخاب شده بودند.

معناست که مدل ارائه و استخراج شده با احتمال ۹۵ درصد پذیرفته می‌شود. مقدار R^2 نیز معیار خوبی برای ارزیابی مناسب بودن یک مدل است. هرچه مقدار این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، دلالت بر دقیق بودن مدل در پیش‌بینی رفتار متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دارد.

غریبالگری جرم جاذب مورد استفاده و زمان فرایند کدورت‌زدایی

پس از بهینه‌سازی شرایط عملیاتی شامل دمای گرمکن و دور همزن برای فرایند کدورت‌زدایی، برای بررسی اثر جرم جاذب، مقادیر وزنی متفاوتی از جاذب طبیعی پوست لیمو به مقدار ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و ۱۰ گرم به ۴۰ میلی‌لیتر شیر انگور رقیق‌شده افزوده شد و نمونه‌ها به‌صورت جداگانه بر گرمکن همزن‌دار با دور، دما و زمان بهینه به‌دست‌آمده از طراحی آزمایش قرار داده شد و مقدار کدورت با توجه به روش بیان‌شده اندازه‌گیری شد. پس از به‌دست آوردن بهترین جرم جاذب طبیعی مورد استفاده با بالاترین مقدار کدورت‌زدایی، زمان فرایند حذف کدورت و بر جذب در ۷ سطح متفاوت ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ ساعت ارزیابی شد. نمونه‌ها در دور و دمای بهینه به‌دست‌آمده از بخش بهینه‌سازی با طراحی آزمایش، بر روی گرمکن همزن‌دار قرار داده شدند و در نهایت زمان مناسب فرایند کدورت‌زدایی به‌دست‌آمد.

روش‌های تعیین مقدار کدورت و ویژگی‌های فیزیکی

مقدار جذب اولیه شیر انگور و همچنین، نمونه‌های به‌دست‌آمده بر پایه طراحی آزمایش، با روش جذب UV-Vis با دستگاه Jenway مدل ۶۷۰۵ در طول موج ۶۲۵ نانومتر برای بررسی مقدار کدورت، ارزیابی و با معادله ۲، درصد حذف آن گزارش شد. برای تعیین میانگین اندازه ذره‌ها از تجزیه پراکندگی نور دینامیکی^۱ (DLS) که روشی غیرمخرب و فیزیکی است، دستگاه Malvern ساخت انگلستان به‌کار گرفته شد. بریکس نمونه بهینه نهایی و مقایسه آن با نمونه اولیه،

¹. Dynamic Light Scattering

². Refractometer

جدول ۳ ضریب‌های چندجمله‌ای درجه دوم همراه با ضریب‌های برازشی برای هر متغیر وابسته در حذف کدورت از شربت شیر انگور

ضریب‌ها	غلظت (Y) (گرم بر میلی لیتر)
ثابت (b_0)	-۳۷,۵۰۰
اثرهای درجه اول خطی (b_1 و b_2)	۳,۱۶۵
	۰,۲۱۷
درجه دوم (b_{11} و b_{22})	-۸,۵۶۷
	-۲,۰۴۰
اثرهای متقابل (برهم کنش) (b_{12})	-۰,۰۴۳
R^2	۰,۹۴

پس از به‌دست‌آوردن ضریب‌های β (ضریب‌های ثابت، درجه اول، دوم و اثرهای متقابل) و قراردادن آن‌ها در معادله ۱، به‌راحتی می‌توان ارتباط بین متغیرهای مستقل (دما و سرعت هم‌زدن) و وابسته (درصد حذف کدورت) را ایجاد کرد و با معادله‌های به‌دست‌آمده به پیش‌بینی خروجی و عدددهای مربوط به متغیر وابسته دست یافت. اطمینان از نتیجه‌های به‌دست‌آمده وابسته به مقدار R^2 است که هرچقدر این عبارت نزدیک به ۱ باشد، نتیجه به‌دست‌آمده اطمینان بیشتری دارد. مقدار R^2 برای مدل به‌دست‌آمده برابر با ۰,۹۴ بود (جدول ۳) که نشان می‌دهد مدل‌های به‌دست‌آمده پیش‌بینی به‌نسبت دقیقی از خروجی داشته‌اند.

تأثیر عامل‌های موثر

پس از به‌دست‌آوردن نقاط و بازه‌های تأثیرگذار و یافتن ضریب تأثیر آن‌ها، نمودارهای خروجی متفاوت شامل متغیرهای تعیین‌شده در طراحی آزمایش، به‌صورت جداگانه رسم شد.

اثرهای دما و سرعت هم‌زدن بر درصد حذف شیر انگور متغیرهای مستقل در نظر گرفته‌شده که شامل سرعت هم‌زدن و دمای گرمکن هستند، اثرگذاری‌های متفاوتی بر

جدول ۱ طراحی آزمایش انجام‌گرفته و نتیجه‌های مربوط به هر کدام از متغیرهای مستقل به همراه نتیجه‌های پیش‌بینی‌شده با مدل

شماره آزمایش	متغیرهای مستقل		متغیرهای وابسته	
	دما (درجه سلسیوس)	سرعت هم‌زدن (دور در دقیقه)	درصد حذف کدورت	مدل
۱	۲۵	۵۴۰	۵۲,۷۶	۵۱,۵۴
۲	۵۵	۲۶۰	۳۴,۷۲	۳۶,۲۲
۳	۴۰	۴۰۰	۵۶,۳۱	۵۶,۴۵
۴	۴۰	۴۰۰	۵۶,۷۴	۵۶,۴۵
۵	۴۰	۴۰۰	۵۶,۴۹	۵۶,۴۵
۶	۵۵	۵۴۰	۳۱,۵۹	۳۲,۵۱
۷	۶۰	۴۰۰	۳۲,۶۷	۳۰,۳۰
۸	۲۵	۲۶۰	۵۳,۰۲	۵۱,۵۲
۹	۴۰	۴۰۰	۵۶,۰۷	۵۶,۴۵
۱۰	۴۰	۴۰۰	۵۶,۶۴	۵۶,۴۵
۱۱	۴۰	۲۰۰	۴۹,۶۲	۴۸,۵۷
۱۲	۲۰	۴۰۰	۴۳,۵۹	۴۴,۶۲
۱۳	۴۰	۶۰۰	۳۹,۹۱	۴۰,۵۲

جدول ۲ مقادیر p مربوط به رنگ‌زدایی از شیر انگور (اثرهای خطی، درجه دوم و برهم کنش)

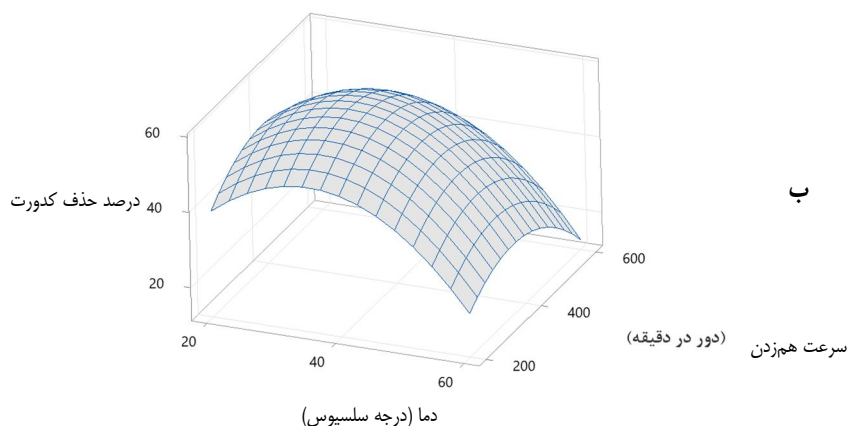
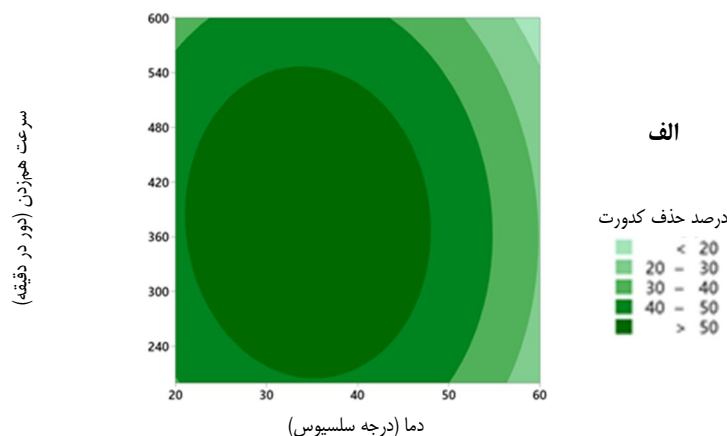
اثرها	متغیرهای مستقل	مقدار p
اثرهای درجه اول (خطی)	دما (X_1)	۰,۰۰۱
	سرعت هم‌زدن (X_2)	۰,۱۳۷
اثرهای درجه دوم	X_1^2	۰,۰۰۰
	X_2^2	۰,۰۰۵
اثرهای متقابل (برهم کنش)	$X_1 X_2$	۰,۷۰۲

یکی از اهداف کلی در بهینه‌سازی انجام گرفته، به‌دست‌آوردن رابطه کلی برای ارتباط پاسخ‌های در نظر گرفته‌شده (متغیرهای وابسته) با متغیر مستقل در نظر گرفته‌شده بود که تحت ضریب‌های معادله کلی درجه دوم به‌دست می‌آید. نتیجه‌های مربوط در جدول ۳ گزارش شده است.

درصد حذف کدورت شیر انگور با جاذب طبیعی پوست لیمو داشتند. این اثرها بر درصد حذف کدورت شیر انگور در نمودارهای متفاوت دو و سه بعدی سطح پاسخ در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱، در مقادیر ثابت و بالای سرعت هم‌زدن با افزایش دمای فرایند، درصد کدورت‌زدایی ابتدا افزایش و سپس کاهش محسوسی داشت. همچنین، در مقادیر پایین و ثابت هم‌زدن نیز روندی به‌تقریب مشابه قابل رویت است، به‌عبارتی هر چقدر دما افزایش پیدا کند، درصد حذف کدورت کاهش پیدا کرده است. در فرایند بر جذب، دما می‌تواند تأثیری بر ظرفیت جذب و کارایی جاذب داشته باشد. به‌طور کلی، در دماهای پایین، حرکت‌های مولکولی کاهش می‌یابد و این می‌تواند منجر به افزایش زمان تماس و بهبودی در جذب شود. به‌طور معمول دماهای پایین‌تر موجب حفظ ویژگی جاذب و بهبود جذب می‌شوند. بنابراین، برای بهینه‌سازی فرایند بر جذب، دماهای پایین‌تر به‌طور معمول نتیجه بهتری خواهند داد. به‌همین خاطر به‌نظر می‌رسد افزایش دمای فرایند تا حدی برای کدورت‌زدایی مطلوب و مناسب بود، ولی از بازه‌ای به بعد نتیجه عکس داشت. در مقادیر ثابت و پایین دما، افزایش سرعت هم‌زدن تأثیر آنچنانی در درصد حذف کدورت از خود نشان نداد و با درصد حذف کدورت به‌تقریب ثابت بود. به‌نظر می‌رسد در دماهای پایین مولکول‌های عامل کدورت موجود در شیر انگور از توان کافی برای حرکت و جذب بر سطح جاذب طبیعی پوست لیمو نداشته و به‌همین علت افزایش سرعت هم‌زدن، تأثیرگذار نبود، ولی در مقادیر ثابت و بالای دمای فرایند، افزایش دور هم‌زدن در بازه‌ای موجب افزایش و ادامه موجب کاهش درصد حذف کدورت شده بود. در فرایند بر جذب، هم‌زدن می‌تواند تأثیر زیادی بر سرعت و کارایی جذب داشته باشد. اگر دور هم‌زدن بالا باشد، این عامل می‌تواند منجر به افزایش تماس بین جاذب (پوست لیمو) و شیر انگور شود و به این ترتیب زمان جذب کوتاه‌تر می‌شود. با این حال، هم‌زدن بسیار زیاد هم می‌تواند به آسیب رساندن به ساختار جاذب و

تغییر در ویژگی آن منجر شود. به همین دلیل، انتخاب دور هم‌زدن باید به‌گونه‌ای باشد که هم‌زمان با افزایش تماس، از آسیب به جاذب جلوگیری شود. به‌نظر می‌رسد با افزایش سرعت هم‌زدن سطح جاذب آسیب‌پذیرتر بوده و تحت تنش‌های فیزیکی قرار گرفته و در نهایت منجر به کاهش توانایی آن در کاهش کدورت شیر انگور می‌شود. در فرایند بر جذب پژوهش حاضر، شیر انگور به‌سطح جاذب (پوست لیمو) چسبیده و این چسبندگی به‌طور معمول به‌خاطر نیروهای واندروالس و نیروهای پیوندی بین مواد متفاوت است. بر جذب می‌تواند به دو شکل فیزیکی و شیمیایی باشد. در حالت فیزیکی، ذره‌های معلق از طریق نیروهای الکتروستاتیکی یا نیروهای واندروالس به سطح جاذب چسبیده و در نتیجه کدورت کاهش می‌یابد که افزایش تنش‌های به‌دست‌آمده از سرعت هم‌زدن بیشتر، پیوندهای ایجادشده را تحت الشعاع قرار داده که در نهایت منجر به کاهش درصد حذف کدورت می‌شود. با مقایسه اثر دو متغیر دما و سرعت هم‌زدن بر درصد حذف کدورت شیر انگور، دما عامل اثرگذاری بوده که با توجه به مقدار p (جدول ۲)، این مقدار هم در اثرهای خطی و هم درجه دوم معنی‌دار بود، در حالی که سرعت هم‌زدن فقط در اثرهای درجه دوم معنی‌دار و اثرگذار بود. در شکل ۱-الف که نمودار دو بعدی اثرهای متغیرهای مستقل بر درصد حذف کدورت شیر انگور را نشان می‌دهد، بیشینه و کمینه درصد حذف کدورت شیر انگور قابل مشاهده است. این شکل نقاط بیشینه درصد حذف کدورت (کمترین کدورت فراورده نهایی) را با مقدار بیشتر از ۵۰ درصد با رنگ سبز پررنگ در گستره تقریبی دمایی بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۵۰ درجه سلسیوس و گستره تقریبی سرعت هم‌زدن را بیشتر از ۲۰۰ و کمتر از ۵۴۰ دور در دقیقه، نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد هر دو عامل انتخاب‌شده بر حذف کدورت اثرگذار و کاهش و افزایش آن‌ها ارتباط مستقیمی بر کدورت نهایی فراورده داشته است. همچنین، بیشترین کدورت شیر انگور (کمترین درصد حذف کدورت) با مقدارهای کمتر از ۲۰ درصد حذف، در رئوس حدی

و یا به عبارتی در بیشترین دما (۶۰ درجه سلسیوس) و کمترین سرعت هم‌زدن (۲۴۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه) است.



شکل ۱ نمودارهای دو (الف) و سه بعدی (ب) سطح پاسخ برای درصد حذف کدورت شیر انگور برپایه متغیرهای دما و دور همزن

به حذف تقریبی ۵۸ درصد از کدورت شیر انگور می‌شد. این نتیجه‌ها بایستی راستی آزمایی و صحت‌سنجی می‌شد. در بخش بعد این موارد گزارش شده است.

بررسی ویژگی شیر انگور کدورت‌زدایی شده در شرایط بهینه پس از انجام آزمایش‌های مربوط به صحت‌سنجی طراحی آزمایش، نتیجه‌های حاکی از آن بود که با مقایسه نتیجه‌های پیش‌بینی شده و نتیجه‌های به‌دست‌آمده از انجام آزمایش‌ها، تفاوت معناداری بین داده‌های پیش‌بینی شده با نتیجه‌های آزمایشگاهی

بهینه‌سازی عامل‌های انتخاب‌شده برای حذف کدورت شیر انگور

پس از تحلیل نتیجه‌های به‌دست‌آمده از طراحی آزمایش، بررسی آماری و تحلیل‌های انجام‌گرفته از اثرهای دما و سرعت هم‌زدن بر درصد حذف کدورت، بهینه‌سازی عددی انجام گرفت. نقطه بهینه به‌دست‌آمده از طراحی آزمایش، مربوط به دمای گرمادهی تقریبی ۳۵ درجه سلسیوس و سرعت هم‌زدن تقریبی ۳۷۸ دور در دقیقه بود. به بیان دیگر، انجام فرایند برجذب با جاذب طبیعی پوست لیمو در این حالت، بایستی منجر

بهینه‌سازی شرایط عملیاتی کدورت-زدایی از شیر انگور رقیق شده ...

است. همان‌طور که در شکل‌های ۳-الف و ب مشاهده می‌شود، میانگین اندازه ذره‌های شیر انگور پیش از فرایند کاهش کدورت به‌طور تقریبی ۵۰۰۰ نانومتر بوده که پس از عملیات کدورت‌زدایی آن با جاذب طبیعی پوست لیمو مورد استفاده، میانگین اندازه ذره‌ها به‌طور تقریبی با کاهش ۱۰۰۰ نانومتر به مقدار میانگین ۴۰۰۰ نانومتر (۲۰ درصد کاهش) رسیده است. با کاهش کدورت، شیر انگور کاربردهای مناسب‌تر و بهتری خواهد داشت. همچنین، هم‌زمان با انجام تجزیه پراکندگی نور دینامیکی عامل مهم شاخص پراکندگی (PDI) نیز ارزیابی شد. نتیجه‌ها نشان داد که شیر انگور رقیق شده پیش از فرایند حذف کدورت دارای شاخص پراکندگی ۱ و پس از فرایند این شاخص ۰/۸۴۶ به‌دست آمد. شاخص پراکندگی عددی بدون بعد است که در بازه ۰ الی ۱ تعبیر می‌کند و این متغیر هرچقدر به ۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده توزیع مناسب ذره‌ها و یکنواختی آن‌ها است و برعکس هرچقدر به ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده غیریکنواختی و غیریکسان بودن ذره‌ها است. نتیجه‌ها نشان داد که پیش از فرایند بر جذب، به‌طور کامل ذره‌های معلق در محلول غیریکسان و غیریکنواخت بودند، در حالی که پس از فرایند بر جذب، ذره‌ها نسبت به حالت اولیه به‌تقریب یکنواخت بودند.

سطح ویژه جاذب پیش و پس از فرایند کدورت‌زدایی برای بررسی قابلیت استفاده دوباره

پیش از انجام فرایند بر جذب و کدورت‌زدایی از شیر انگور، سطح ویژه جاذب پوست لیمو ۴۸/۶۷ مترمربع بر گرم بود و پس از انجام فرایند کدورت‌زدایی در نقطه بهینه و خشک کردن جاذب بر پایه شرایط بیان شده در بخش پیشین، سطح ویژه جاذب با کاهش ۶۱/۴۳ درصد به مقدار ۱۸/۷۷ مترمربع بر گرم رسید. از این‌رو، قابلیت به‌کارگیری دوباره برای انجام فرایند کدورت‌زدایی را نداشت. دلایل بسیاری را می‌توان برای این پدیده در نظر گرفت که می‌توان به آلودگی و تجزیه، کاهش کارایی و نقص فیزیکی و تغییرهای شیمیایی آن اشاره کرد. افزون‌بر آن، فرایند تمیز کردن و احیای جاذب پوست لیمو به‌طور معمول هزینه‌بر و زمان‌بر است و مقرون به صرفه نیست.

سال هجدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳

وجود نداشت، به‌طوری که درصد حذف کدورت شیر انگور ۵۷/۳۱ به‌دست آمد که نسبت به نتیجه‌های پیش‌بینی شده به‌وسیله بهینه‌سازی با نرم‌افزار، خطای ۱ درصد مشاهده شد. بنابراین، مدل‌های به‌دست آمده تأیید شد و به‌درستی توانستند اثرهای متغیرهای مستقل را بر متغیر وابسته در گستره مورد نظر مشخص کنند. حالت ظاهری اشیره انگور رقیق شده پیش (الف) و پس (ب) از فرایند کدورت‌زدایی با جاذب طبیعی پوست لیمو در شکل ۲ نشان داده شده است.



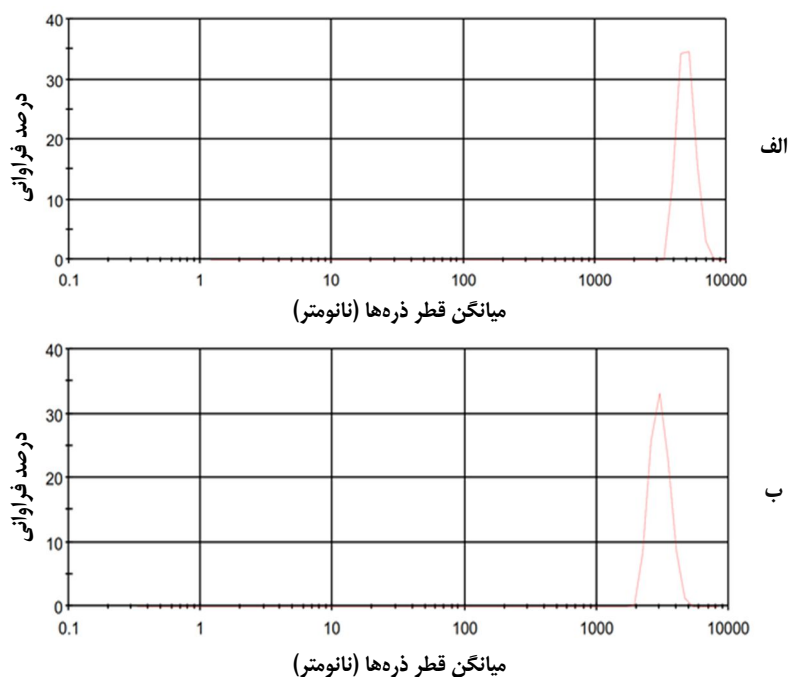
شکل ۲ شکل ظاهری اشیره انگور رقیق شده پیش (الف) و پس (ب) از فرایند کدورت‌زدایی با جاذب طبیعی پوست لیمو

بریکس نمونه کدورت‌زدایی شده و مقایسه آن با نمونه اولیه بریکس نمونه بهینه به‌دست آمده از طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری، اندازه‌گیری شد و مقدار ۹/۱°Bx به‌دست آمد، به‌نظر می‌رسد حذف به‌تقریب ۵۸ درصد کدورت از شیر انگور با جاذب طبیعی پوست لیمو، اثر معناداری بر بریکس نگذاشته و کاهش بسیار کمی در بریکس نمونه نهایی (۹ درصد) رخ داده است.

روش پراکندگی نور دینامیکی (DLS) برای بررسی میانگین اندازه ذره و شاخص پراکندگی

مقدار جذب نور عبوری در دو حالت نمونه شیر انگور پیش و پس از عملیات کدورت‌زدایی با فرایند بر جذب، ارزیابی شد که نتیجه‌های آن در شکل‌های ۳-الف و ب گزارش شده

نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)



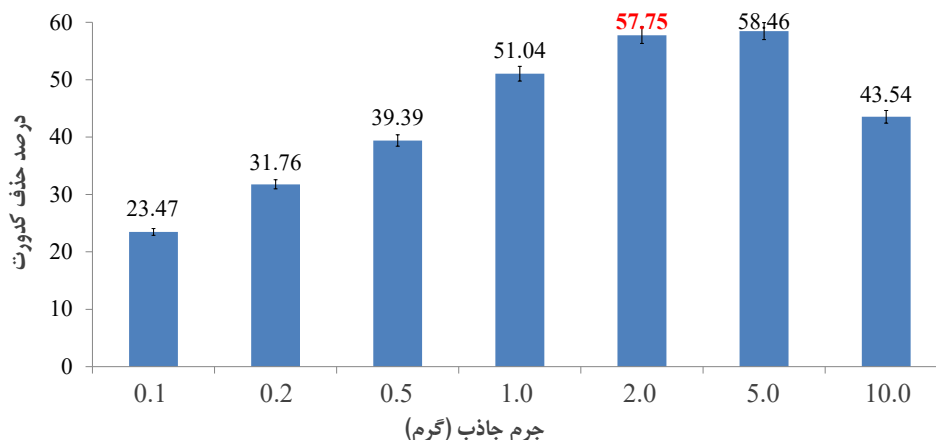
شکل ۳ پراکندگی نور دینامیکی (DLS) شیر انگور پیش (الف) و پس (ب) از فرایند کدورت زدایی

انتخاب مقدار جرم مناسب

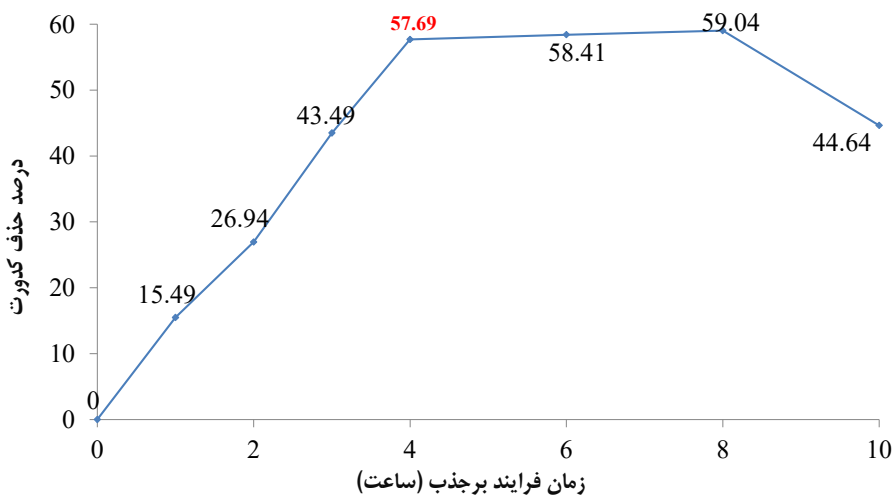
پس از فرایند بهینه سازی شرایط عملیاتی و به دست آوردن دمای گرمکن و سرعت هم زدن مناسب، با انتخاب مقادیر متفاوت وزنی از جاذب طبیعی پوست لیمو، مقدار حذف کدورت از شیر انگور در مدت ثابت ۴ ساعت، سرعت هم زدن ثابت ۳۸۰ دور در دقیقه، دمای فرایند ۳۵ درجه سلسیوس و مقدار حجمی ثابت ۴۰ میلی لیتر از شیر انگور، ارزیابی شد که نتیجه های آن در شکل ۴ قابل مشاهده است. حذف کدورت در مقادیر پایین وزنی جاذب (۰/۱ گرم) بسیار کمتر از حالت بهینه و برابر با ۳۳/۴۷ درصد بود و در مقادیر وزنی بالای جاذب نیز (۱۰ گرم) فرایند کدورت زدایی تفاوت معناداری با بخش بهینه سازی داشت و برابر با ۴۳/۵۴ درصد بود. در مقادیر پایین وزنی جاذب به دلیل سپردن جاذب طبیعی، جاذب ظرفیت جذب کافی برای ذره های

کدورت موجود در شیر را نداشت و در نتیجه نمی توانست به طور مؤثر کدورت را کاهش دهد. در مقدارهای وزنی بالای جاذب نیز به دلیل پراکندگی نامناسب بین جاذب، ممکن است جاذبها به طور یکنواخت پخش نشوند و برخی مناطق شیر بدون جاذب باقی بمانند. این عدم توزیع مناسب می تواند منجر به کاهش کارایی فرایند کدورت زدایی شود. به علت محدودیت انتقال جرم نیز ممکن است انتقال جرم بین ذره های کدورت و جاذب، کاهش یابد. در این حالت، ذره های عامل ایجاد کدورت در شیر انگور نمی توانند به جاذب نزدیک شوند و در نتیجه جذب انجام نمی شود. در مقدار وزنی ۵ گرم نسبت به ۲ گرم، افزایش جزئی در حذف کدورت مشاهده شد (۱/۲۱ درصد) که به نظر می رسد با ۲/۵ برابر کردن جرم جاذب، افزایش ۱/۲۱ درصد حذف کدورت مقرون به صرفه نباشد.

بهینه‌سازی شرایط عملیاتی کدورت-زدایی از شیر انگور رقیق شده ...



شکل ۴ اثر جرم جاذب طبیعی پوست لیمو بر فرایند کدورت‌زدایی از شیر انگور



شکل ۵ اثر زمان فرایند کدورت‌زدایی از شیر انگور با جاذب طبیعی پوست لیمو

انگور با جاذب طبیعی پوست لیمو از ابتدای فرایند کدورت‌زدایی و به ازای هر ساعت (در بازه ۰ الی ۴ ساعت)، به‌طور خطی توانایی حذف کدورت را از شیر انگور داشت و از مقدار ۱۵/۴۹ درصد پس از ۱ ساعت به ۵۷/۶۹ درصد پس از ۴ ساعت رسید. با مقایسه مقدار درصد حذف کدورت در ۴ و ۶ و ۸ ساعت این روند بسیار کند و در ۱۰ ساعت به‌طور کامل کاهشی شد. در ابتدای فرایند کدورت‌زدایی، پوست لیمو توانایی بیشتری برای جذب ذره‌های کدورت‌زای شیر انگور داشت، ولی در زمان فرایند بیش از حد طولانی پوست

زمان بهینه فرایند بر جذب

در ادامه با انتخاب ۲ گرم از جاذب طبیعی پوست لیمو از نتیجه‌های به‌دست‌آمده در بخش پیشین، به‌بررسی اثر زمان عملیات کدورت‌زدایی پرداخته شد و از زمان اولیه ۰ دقیقه با سطح‌های متفاوت در نظر گرفته‌شده در بخش مواد و روش‌ها و شرایط ثابت بیان شده در بخش پیشین، ارزیابی حذف انجام گرفت که نتیجه‌های آن در شکل ۷ گزارش شده است. با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده در شکل ۵، مقدار حذف کدورت از شیر

بیشتر از ۸ ساعت حذف کدورت کمتری رخ داد. افزایش جرم جاذب نیز تا ۲ گرم منجر به افزایش حذف کدورت و جرم‌های بیشتر منجر به کاهش حذف کدورت شد. طراحی آزمایش با روش سطح پاسخ نشان داد که نقاط پیشینه درصد حذف کدورت در گستره تقریبی دمایی بیشتر از ۲۰ و کمتر از ۵۰ درجه سلسیوس و گستره تقریبی سرعت هم‌زدن بیشتر از ۲۰۰ و کمتر از ۵۴۰ دور در دقیقه، بود. همچنین، دمای ۳۵ درجه سلسیوس و دور هم‌زن ۳۸۰ rpm مناسب‌ترین حالت در فرایند کدورت‌زدایی بود. در این حالت بیشترین درصد حذف با مقدار تقریبی ۵۸ درصد به‌دست آمد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از بریکس‌سنج، تفاوت نامحسوسی از بریکس نهایی با اولیه را نشان داد (۹ درصد کاهش). با توجه به نتیجه‌های به‌دست‌آمده از تجزیه DLS، میانگین اندازه ذره‌ها پیش و پس از فرایند برجذب به‌ترتیب ۵۰۰ و ۳۰۰ نانومتر و شاخص پراکندگی ۱ و ۰/۸۴۶ به‌دست آمد.

به‌حالت اشباع رسید و دیگر نتوانست ذره‌های جدید را جذب کند. همچنین، زمان‌های طولانی ممکن است موجب تغییرهای شیمیایی یا فیزیکی در ساختار پوست لیمو شود. این تغییرها می‌توانند موجب کاهش کارایی جذب شده و ساختار جاذب را تجزیه و تغییر کنند. یا اینکه در طول زمان، ممکن است ذره‌های عامل کدورت به هم چسبیده شوند و توده‌های بزرگ‌تری را تشکیل دهند که با پوست لیمو به‌راحتی جذب نشوند و در نتیجه مقدار حذف کدورت کاهش یابد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، جاذب طبیعی پوست لیمو برای کدورت‌زدایی از شیر به‌کارگرفته شد. جرم جاذب، زمان فرایند کدورت‌زدایی، دمای گرمادهی، و دور هم‌زن بر حذف کدورت اثرگذاری متنوعی داشتند. با افزایش زمان فرایند برجذب تا ۴ ساعت، حذف کدورت افزایش و در بازه ۴ الی ۶ ساعت به تقریب حالت ثابتی ایجاد شد. همچنین، در زمان‌های

مراجع

- [1] Cosme F, Pinto T, Vilela A. Phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices: A chemical and sensory view. *Beverages*. 2018;4(1):22. doi: 10.3390/beverages4010022
- [2] Mazrou S, Messaoudi M, Begaa S, Innocent C, Akretche D. Clarification of the Algerian grape juice and their effects on the juice quality. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*. 2020;34(1):1-11. doi: 10.4314/bcse.v34i1.1
- [3] Igual M, Contreras C, Camacho M, Martínez-Navarrete N. Effect of thermal treatment and storage conditions on the physical and sensory properties of grapefruit juice. *Food Bioprocess Technology*. 2014;7:191-203. doi: 10.1007/s11947-013-1088-6
- [4] Li N, Wei Y, Li X, Wang J, Zhou J, Wang J. Optimization of deacidification for concentrated grape juice. *Food Science* Nutrition. 2019;7(6):2050-8. doi: 10.1002/fsn.3.1037
- [5] Kara IT, Yücel S, Arici M. Clarification of red grape juice by amine-functionalized magnesium silica aerogel. *Food Chemistry*. 2024;140132. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140132
- [6] Prommajak T, Leksawasdi N, Rattanapanone N. Tannins in fruit juices and their removal. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. 2020;19(1):76-90. doi: 10.12982/CMUJNS.2020.0006
- [7] Nyika J, Dinka MO. The potential of reusing fruit bio-adsorbents for water purification: a minireview. *Materials Today: Proceedings*. 2023. doi: 10.1016/j.matpr.2023.07.285
- [8] El Bouaidi W, Libralato G, Douma M, Ounas A, Yaacoubi A, Lofrano G, et al. A review of plant-based coagulants for turbidity and cyanobacteria blooms removal. *Environmental*

- Science Pollution Research. 2022;29(28):42601-15. doi: **10.1007/s11356-022-20036-0**
- [9] Haritha M, Raju G, Jacob AM, Thampi G. Remediation of waste water through natural coagulants such as lemon and banana peel. EDP Sciences, E3S Web of Conferences; 2024;529(03004):1-8. doi: **10.1051/e3sconf/202452903004**
- [10] Shirvani A, Mirzaaghaei M, Goli SAH. Application of natural fining agents to clarify fruit juices. Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety. 2023;22(6):4190-216. doi: **h10.1111/1541-4337.13207**
- [11] Zaidi NS. Potential of fruit peels in becoming natural coagulant for water treatment. International Journal of Integrated Engineering. 2019;11(1). doi: **10.30880/ijie.2019.11.01.017**
- [12] Nasser SA. The Addition of lemon peel powder affects the properties of yogurt. Journal of Food Dairy Sciences. 2022;13(4):65-70. doi: **10.21608/jfds.2022.136776.1055**
- [13] Aljohani H, Ahmed Y, Elshafey O, El-Shafey S, Fouad R, Shoueir K, et al. Decolorization of turbid sugar juice from sugar factory using waste powdered carbon. Applied Water Science. 2018;8:1-10. doi: **10.1007/s13201-018-0681-2**
- [14] Leite IR, Barbosa RD. Tannin extract for sugarcane juice clarification. Sugar Tech. 2021;23(3):682-91. doi: **10.1007/s12355-020-00923-x**
- [15] Ozyilmaz G, Gunay E. Clarification of apple, grape and pear juices by co-immobilized amylase, pectinase and cellulase. Food Chemistry. 2023;398:133900. doi: **10.1016/j.foodchem.2022.133900**
- [16] Ahdno H, Jafarizadeh-Malmiri H. Clarification of date syrup by activated carbon: investigation on kinetics, equilibrium isotherm, and thermodynamics of interactions. International Journal of Food Engineering. 2015;11(5):651-8. doi: **10.1515/ijfe-2015-0093**
- [17] Ahmadi O, Sayyar Z, Jafarizadeh Malmiri H. Optimization of Processing Time, Temperature, and Stirring Rate to Synthesize the Ag Nanoparticles Using Oregano Extract. Iran J Chem Chem Eng. 2023;42(10). doi: **10.30492/ijcce.2023.1971456.5676**
- [18] Mohammadi-Aghdam S, Ahmadi O. Optimization of operating conditions and the role of ultrasound waves in the green synthesis of silver nanoparticles using apple tree leaf extract. Journal of applied research in chemisry. 2023;17(1). doi: **10.30495/jacr.2023.1979194.2096**
- [19] Eshghi M, Kamali-Shojaei A, Vaghari H, Najian Y, Mohebian Z, Ahmadi O, et al. Corylus avellana leaf extract-mediated green synthesis of antifungal silver nanoparticles using microwave irradiation and assessment of their properties. 2021;10(1):606-13. doi: **10.1515/gps-2021-0062**