مجله دانشگاه علوم پزشکی نیشابور
https://jnums.nums.ac.ir/

ارزش‌افزایی ضایعات پوست آلوی سیاه در قالب اقتصاد چرخشی: راهبردها و سیاست‌های تجاری‌سازی شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی:خلاصه سیاستی

تکتم محمدی مقدم[1,2]

۱- مرکز تحقیقات سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

۲- مرکز تحقیقات بیماری‌های غیرواگیر، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

نوع مقاله : پژوهشی اصیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۰۹

***نویسنده مسئول:**

تکتم محمدی‌مقدم، مرکز تحقیقات سلامت محیط کار، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

پست الکترونیک:

Mohammadit1@nums.ac.ir

چکیده

مقدمه:

دفع سالانه بیش از ۱۰ هزار تن ضایعات فرآوری آلو در نیشابور، علاوه بر پیامدهای زیست‌محیطی، موجب اتلاف منابع ارزشمند فنولی و ترکیبات زیست‌فعال می‌شود. ازاین‌رو، این مطالعه با هدف سنتز شواهد فنی و ارزیابی گزینه‌های سیاستی تجاری‌سازی شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) تدوین شد. در این راستا، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رفتار رئولوژیکی، محتوای بیواکتیو، آزمون‌های میکروبی-ایمنی و ارزیابی حسی حاصل از بررسی‌های تجربی و بهینه‌سازی سطح پاسخ تلفیق و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که فرمولاسیون حاوی ۵۰ درصد پوره پوست آلو و فاقد پکتین تجاری، با تکیه بر پکتین بومی پوست میوه، رفتار جریان شبه‌پلاستیک، محتوای فنولی بالا و عدم حضور باقیمانده سموم و فلزات سنگین، بالاترین امتیاز پذیرش حسی (۱۷/۸از ۹) را کسب کرد؛ مزیتی که در مقایسه با نقطه بهینه مدل‌سازی ریاضی (۶۲/۴۰ درصد پوره و ۲/۰ درصد پکتین)، بهای تمام‌شده را به میزان محسوسی کاهش می‌دهد. با این حال، انتقال این دستاورد از مقیاس آزمایشگاهی به صنعتی مستلزم اجرای هم‌زمان سه راهبرد سیاستی است: ۱) راه‌اندازی خط تولید پایلوت نیمه‌صنعتی با مشارکت تعاونی‌ها در منطقه خور نیشابور، ۲) تدوین ضوابط استاندارد و پروانه ساخت ویژه فرآورده‌های جانبی غذایی توسط سازمان غذا و دارو، و ۳) استقرار شبکه لجستیک زنجیره سرد جهت ذخیره‌سازی فصلی پوره. پیاده‌سازی این نقشه راه سه ساله، علاوه بر مهار چالش‌های زیست‌محیطی، بسترساز خلق ارزش‌افزوده پایدار در صنایع تبدیلی کشور خواهد بود.

کلیدواژه‌ها:

ارزش‌افزایی ضایعات، پوست آلوی سیاه، شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه)، اقتصاد چرخشی، تجاری‌سازی.

مقدمه

افزایش ضایعات حاصل از فرآوری میوه‌ها یکی از چالش‌های مهم صنایع غذایی است؛ زیرا بخش‌هایی مانند پوست، هسته و بافت‌های جداشده، باوجود برخورداری از ظرفیت بالقوه تغذیه‌ای و زیست‌فعال، اغلب به‌عنوان پسماند دفع می‌شوند. دفع نامناسب این مواد می‌تواند به اتلاف ترکیبات ارزشمند، افزایش بار زیست‌محیطی و تحمیل هزینه‌های اضافی به واحدهای تولیدی منجر شود. ازاین‌رو، حرکت از الگوی خطی تولید، مصرف و دفع به‌سوی اقتصاد چرخشی، نیازمند شناسایی راهکارهایی برای بازگرداندن این مواد به چرخه تولید و تبدیل آن‌ها به محصولات غذایی با ارزش افزوده است(۱،۳).

پوست میوه‌ها، ازجمله پوست آلو، می‌تواند حاوی ترکیبات زیست‌فعال مانند ترکیبات فنولی و سایر مواد دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باشد. بااین‌حال، این ظرفیت در بسیاری از فرایندهای صنعتی به‌طور کامل استفاده نمی‌شود. بهره‌گیری از پوست آلو در تولید فرآورده‌های غذایی می‌تواند ضمن کاهش حجم پسماند، زمینه تولید محصولاتی با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی مطلوب را فراهم کند. با وجود این، استفاده از این مواد در زنجیره غذایی نیازمند توجه هم‌زمان به کیفیت ماده اولیه، آماده‌سازی بهداشتی، ترکیب فرمولاسیون، ویژگی‌های محصول نهایی و پذیرش مصرف‌کننده است(۱،۳).

در میان فرآورده‌های غذایی، شربت‌ها بستر مناسبی برای استفاده از پوره یا اجزای فرآوری‌شده میوه به‌شمار می‌روند؛ زیرا ویژگی‌هایی مانند مقدار مواد جامد محلول، اسیدیته، قوام و رفتار جریان آن‌ها تا حد زیادی از طریق فرمولاسیون و شرایط فرایند قابل تنظیم است. مقدار پوره پوست آلو و استفاده از ترکیباتی مانند پکتین می‌تواند بر رنگ، طعم، بافت، ویسکوزیته و پذیرش حسی محصول اثر بگذارد. بنابراین، ارزیابی یک فرآورده حاصل از ضایعات میوه باید فراتر از بررسی یک ویژگی منفرد باشد و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، فنولی یا آنتی‌اکسیدانی، ایمنی و حسی را به‌صورت تلفیقی دربرگیرد(۱،۳). با توجه به اهمیت این موضوع، سه مقاله حاصل از یک طرح پژوهشی درباره استفاده از پوست آلوی سیاه در تولید شربت و ارزیابی ویژگی‌های کیفی آن، مبنای بررسی حاضر قرار گرفتند. این مقالات از جنبه‌هایی مانند آماده‌سازی ماده اولیه، طراحی فرمولاسیون، شرایط تولید، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی، ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی، ایمنی و پذیرش حسی مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفتند. بررسی تلفیقی این منابع امکان شناسایی نقاط اشتراک و تفاوت روش‌ها، استخراج یافته‌های قابل اتکا و ارزیابی ظرفیت

تبدیل ضایعات پوست آلوی سیاه به محصولی با ارزش افزوده را فراهم می‌کند.

بر این اساس، هدف مقاله حاضر، مرور و تحلیل تطبیقی سه مقاله منتخب درباره ارزش‌افزایی ضایعات پوست آلوی سیاه از طریق تولید شربت است. در این مطالعه، یافته‌های گزارش‌شده در منابع از نظر روش‌های آماده‌سازی و تولید، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رفتار رئولوژیکی، شاخص‌های فنولی و آنتی‌اکسیدانی، ملاحظات ایمنی و نتایج ارزیابی حسی بررسی می‌شوند. همچنین، بر پایه شواهد موجود در این سه مقاله، ظرفیت فرمولاسیون‌های مختلف، امکان توسعه محصول در مقیاس پایلوت و الزامات سیاستی مرتبط با بهره‌برداری از ضایعات میوه تحلیل خواهد شد. بنابراین، مقاله حاضر گزارش یک آزمایش جدید نیست، بلکه یک مطالعه تحلیلی مبتنی بر شواهد برای جمع‌بندی نتایج موجود و استخراج پیام‌های کاربردی برای ارزش‌افزایی ضایعات پوست آلو در چارچوب اقتصاد چرخشی است.

مواد و روش‌ها

طراحی و دامنه بررسی

برای تدوین این خلاصه سیاستی، شواهد استخراج‌شده از سه مقاله حاصل از طرح پژوهشی درباره شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) خور نیشابور مورد سنتز و تحلیل انتقادی قرار گرفت:

مطالعه اول(۱): بررسی آزمایشگاهی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی، حسی و رفتار جریان در دامنه‌های مختلف پوره (۴۰–۶۰٪) و پکتین (۰–۰٫۵٪).

مطالعه دوم (۲): سنجش شاخص‌های ایمنی بهداشتی (بقایای سموم ارگانوفسفره، فلزات سنگین و بار میکروبی) و ارزیابی پذیرش مصرف‌کننده در مقیاس ۱۰۰ نفر.

مطالعه سوم (۳): بهینه‌سازی فرمولاسیون با روش سطح پاسخ (RSM[1])، طراحی مرکزی مرکب با ۱۳ اجرای آزمایشی و ارزیابی دقیق مدل‌سازی ریاضی و پارامترهای رئولوژیک.

مواد اولیه و آماده‌سازی

پوست آلوی سیاه از کارخانجات فراوری آلو در نیشابور تهیه شد .فرآیند تولید شامل آماده‌سازی پوره (سورت، شست‌وشو، همگن‌سازی و فیلتراسیون) و ترکیب با مواد افزودنی (آب، شکر، شربت گلوکز، پکتین و اسید سیتریک) تا دستیابی به بریکس نهایی ۷۰-۷۴٪ و pH اسیدی ۲/۷-۳/۰ بود. پایداری محصول طی ۲۴ ساعت استراحت در دمای محیط ارزیابی شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، آنتی‌اکسیدانی و حسی (با مشارکت ۱۳ ارزیاب آموزش‌دیده و ۱۰۰ مصرف‌کننده) بر اساس استانداردهای بین‌المللی تحلیل گردید(۱،۳). شکل ۱ فرایند تولید شربت فراسودمند غنی از

1- Response Surface Methodology (RSM)

ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) را نشان می دهد. برای تولید نمونه های شربت پوره پوست آلو در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد و پکتین در سه سطح صفر، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت.

آزمون‌ها

برای اطمینان از میزان ایمنی پوست آلوی سیاه فلزات سنگین، باقی‌مانده سموم ارگانوفسفره و آلودگی کپکی در آن بررسی شد.

بریکس، pH، اسیدیته و رطوبت نمونه‌های شربت اندازه‌گیری شد. خصوصیات آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی کل نیز اندازه‌گیری شد (۱،۳).

برای انجام آزمون‌های حسی ۱۳ ارزیاب آموزش‌دیده شامل ۶ مرد و ۷ زن در محدوده سنی ۲۰ تا ۴۰ سال، نمونه‌ها را با مقیاس هدونیک ۹نقطه‌ای ارزیابی کردند. رنگ، قوام، طعم، عطر، حلالیت، شیرینی و پذیرش کلی به‌عنوان صفات حسی بررسی شدند(۱). سپس فرمول منتخب توسط ۱۰۰ مصرف‌کننده عادی ارزیابی شد(۲).

برای بررسی خصوصیات رئولوژیکی و رفتار جریان نمونه‌ها از ۷ مدل رئولوژیکی استفاده شد که از بین آن ها مدل قانون توان به عنوان بهترین مدل برای توصیف رابطه تنش برشی و سرعت برشی تعیین گردید.

جهت بهینه‌یابی و تعیین بهترین فرمولاسیون شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) از روش سطح پاسخ استفاده شد. طراحی شامل۱۳ اجرای آزمایشی بود و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های شیمیایی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبا فنولیک کل و رفتار رئولوژیکی بودند(۳).

داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی تحلیل شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی[1] در سطح معنی‌داری $P\leq0.05$ استفاده شد. همچنین برای بررسی ارتباط بین متغیرها از تحلیل حداقل مربعات جزئی استفاده شد(۱). برای بررسی اثر متغیرهای فرمولاسیون و بهینه یابی فرمولاسیون از روش سطح پاسخ استفاده شد(۳).

یافته‌ها

جدول ۱ نتایج کمی منتخب مطالعات شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) را نشان می‌دهد. تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داد ضایعات پوست آلو قابلیت تبدیل به شربتی با ویژگی‌های کیفی مطلوب را دارند. نتایج ارزیابی‌های ایمنی(۲) تأیید کرد که ماده خام (پوست آلو) و محصول نهایی فاقد آلودگی‌های مخاطره‌آمیز هستند. در تحلیل تطبیقی فرمولاسیون‌ها، تمایز فنی مشخصی میان رویکرد تجربی و مدل‌سازی ریاضی مشاهده

1- Tukey

می‌شود: در طرح فاکتوریل آزمایشگاهی(۱)، نمونه حاوی ۵۰٪ پوره و بدون افزودن پکتین تجاری، به دلیل تکیه بر پکتین بومی پوست آلو، ویسکوزیته مناسب و تعادل طعمی، بالاترین امتیاز پذیرش حسی (۱۷/۸ از ۹) را از سوی ارزیابان کسب کرد و به عنوان فرمولاسیون منتخب ارزیابی حسی و کاربردی معرفی شد. از سوی دیگر، در مدل‌سازی سطح پاسخ (RSM) (۳) با هدف بهینه‌سازی همزمان چند متغیر فیزیکوشیمیایی و کاهش چسبندگی بافتی، نقطه بهینه نظری در ۶۲/۴۰٪ پوره و ۲/۰٪ پکتین تعیین گردید. از دیدگاه اجرایی و سیاست‌گذاری صنعتی، فرمولاسیون ۵۰٪ پوره و بدون پکتین تجاری به دلیل کاهش هزینه‌های خرید هیدروکلوئید وارداتی، مصرف بیشتر ضایعات میوه و پذیرش حسی بالاتر، به عنوان فرمولاسیون پایه برای تجاری‌سازی و راه‌اندازی خط پایلوت اولویت دارد.

بحث

نتایج این مطالعه، بر پایه تلفیق شواهد موجود، نشان داد که پوست آلوی سیاه می‌تواند به‌عنوان ماده اولیه‌ای قابل‌استفاده برای تولید شربت با ویژگی‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی قابل‌قبول مطرح شود. تفاوت میان فرمولاسیون منتخب تجربی(۵۰٪ پوره و بدون پکتین)(۱) و نقطه بهینه حاصل از مدل‌سازی سطح پاسخ(۶۲/۴۰٪ پوره با ۲/۰٪ پکتین)(۳)، بیانگر تفاوت در اهداف و توابع هدف این دو رویکرد است. در مدل‌سازی ریاضی، دستیابی به یک موازنه هم‌زمان میان چندین پاسخ فیزیکوشیمیایی و کنترل سختی بافت، مستلزم استفاده از غلظت کمتر پوره به همراه افزودن اندکی هیدروکلوئید کمکی بوده‌است. با این حال، در آزمون‌های حسی تجربی، استفاده از ۵۰٪ پوره توانسته‌است بدون نیاز به هیدروکلوئید خارجی، قوام مطلوب را از طریق پکتین ساختاری موجود در بافت پوست آلو تأمین کند و بالاترین امتیاز مقبولیت کلی ارزیابان را به دست آورد(۱). از منظر سیاست‌گذاری صنعتی و انتقال فناوری، فرمولاسیون فاقد پکتین تجاری واجد مزیت‌های عملیاتی چشمگیری است؛ زیرا علاوه بر جذب حجم بیشتری از ضایعات باغبانی منطقه و همسویی مستقیم با اصول اقتصاد چرخشی، وابستگی خط تولید به افزودنی‌های وارداتی و هزینه‌بر را حذف می‌کند و حاشیه سود تولید در مقیاس پایلوت را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد.

افزایش پکتین باعث کاهش امتیاز شیرینی شد که به در دام افتادن بخشی از شکر در شبکه ژلی پکتین نسبت داده شد(۱). بنابراین، هرچند پکتین معمولاً برای کنترل قوام و ایجاد ساختار در فرآورده‌های میوه‌ای کاربرد دارد، افزودن آن در سطوح بررسی‌شده مزیت حسی مشخصی برای شربت پوست آلو ایجاد نکرد. این یافته از منظر اقتصادی نیز اهمیت دارد، زیرا حذف پکتین از فرمول منتخب می‌تواند هزینه مواد اولیه و پیچیدگی فرایند را کاهش دهد.

بریکس نسبتاً بالای شربت‌ها، در محدوده ۷۰٫۵۰ تا ۷۴٫۵۰ درصد، همراه با pH اسیدی در دامنه حدود ۲٫۷۰ تا ۳٫۰۲، نشان‌دهنده تولید محصولی غلیظ و اسیدی است(۱،۳). در فرمول منتخب، بریکس ۷۳٫۲۵ درصد، pH برابر ۲٫۹۳ و اسیدیته ۵٫۱۱ درصد گزارش شد(۲). این ویژگی‌ها در شکل‌گیری طعم، قوام و پایداری فرمولاسیون شربت اهمیت دارند. بااین‌حال، pH پایین و بریکس بالا به‌تنهایی نمی‌توانند ایمنی میکروبی یا ماندگاری محصول را اثبات کنند؛ زیرا در مطالعات موجود، آزمون ماندگاری زمان‌مند، آزمون چالش میکروبی و ارزیابی جامع محصول نهایی در شرایط واقعی نگهداری گزارش نشده‌است.

از نظر رئولوژیکی، همه نمونه‌ها رفتار غیرنیوتنی و شبه‌پلاستیک داشتند و مدل قانون توان، رفتار جریان آن‌ها را به‌خوبی توصیف کرد(۱،۳). شاخص رفتار جریان در محدوده ۰٫۴۱ تا ۰٫۷۲ قرار گرفت که کمتر بودن آن از یک، بیانگر کاهش ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برش است. این ویژگی می‌تواند برای عملیات اختلاط، انتقال در خطوط لوله، پمپاژ و پرکنی اهمیت داشته‌باشد. بااین‌حال، این کاربردها در مقیاس صنعتی در مطالعات حاضر مستقیماً آزمون نشده‌اند و باید در مرحله توسعه نیمه‌صنعتی اعتبارسنجی شوند. افزایش پکتین، ضریب قوام و ویسکوزیته نمونه‌ها را افزایش داد(۱)؛ بنابراین، انتخاب سطح پکتین باید نه‌تنها بر پایه قوام مطلوب، بلکه با توجه به پذیرش حسی و الزامات فرایندی انجام شود.

افزایش سهم پوره پوست آلو با افزایش فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شربت همراه بود(۱،۳). فعالیت آنتی‌اکسیدانی در دامنه ۳٫۸۰ تا ۳۳٫۶۳ درصد و فنول کل در محدوده حدود ۰٫۲۸ تا ۱٫۰۳ میلی‌گرم معادل اسید گالیک در ۱۰۰ گرم گزارش شد(۱،۳). این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پوست آلو، علاوه بر کاهش ضایعات، می‌تواند ارزش ترکیبی محصول را افزایش دهد. با وجود این، نتایج آزمون آنتی‌اکسیدانی و فنول کل باید صرفاً به‌عنوان شواهد آزمایشگاهی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تفسیر شوند و مبنایی برای ادعاهای درمانی یا سلامت‌محور قطعی نیستند.

از نظر ایمنی، داده‌ها نشان داد که سرب، کادمیوم و جیوه در پوست آلوی سیاه شناسایی نشدند، باقی‌مانده سموم ارگانوفسفره ناچیز بود و شمارش کپک کمتر از ۱۰ CFU/g گزارش شد(۲). این یافته‌ها شواهد اولیه مثبتی درباره کیفیت ماده اولیه فراهم می‌کنند. بااین‌حال، ازآنجاکه این ارزیابی‌ها عمدتاً بر پوست آلو به‌عنوان ماده اولیه متمرکز بوده‌اند، برای تأیید ایمنی شربت نهایی باید آزمون‌های میکروبی، فلزات سنگین، باقی‌مانده سموم، پایداری شیمیایی و ماندگاری محصول در بسته‌بندی نهایی انجام شود.

در مجموع، شواهد موجود از ارزش‌افزایی پوست آلوی سیاه از طریق تولید شربت حمایت می‌کنند. فرمول حاوی ۵۰ درصد پوره و بدون پکتین، با توجه به پذیرش حسی بالا و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مناسب، گزینه‌ای قابل‌دفاع برای تولید آزمایشی است. بااین‌حال، پیش از توسعه صنعتی، انجام مطالعات ماندگاری، ارزیابی ایمنی محصول نهایی، آزمون در مقیاس نیمه‌صنعتی و بررسی پذیرش مصرف‌کنندگان در بازار هدف ضروری است.

شواهد و اقدامات سیاستی پیشنهادی

برای تبدیل این شواهد آزمایشگاهی به یک ارزش اقتصادی پایدار، سه گزینه سیاستی به شرح ذیل را می توان پیشنهاد نمود:

۱. حمایت از ایجاد خطوط پایلوت نیمه‌صنعتی در قطب تولید (خور نیشابور)؛

شرح: اعطای تسهیلات کم‌بهره و حمایت‌های تکنولوژیک از واحدهای فرآوری موجود در خور برای راه‌اندازی خط تولید پایلوت شربت از پوست آلو با فرمولاسیون منتخب (۵۰٪ پوره بدون پکتین تجاری).

مزایا: کاهش مستقیم ضایعات در مبدأ تولید، ایجاد اشتغال بومی، ارتقای درآمد باغداران و آزمون عملیاتی فرآیند در مقیاس صنعتی.

شواهد و تجارب مشابه (داخلی و بین‌المللی) :کارآمدی مدل استقرار پایلوت در مبدأ تولید، مشابه الگوی موفق فرآوری خوشه‌ای ضایعات مرکبات در اتحادیه اروپا) نظیر پروژه Citrusrinseذیل برنامه Horizon 2020 در کشورهای اسپانیا و ایتالیا(۴) و همچنین تجربه پایلوت‌های فرآوری ضایعات زرشک و زعفران در استان خراسان جنوبی است که نشان داد تمرکز خطوط نیمه‌صنعتی در قطب‌های کشاورزی باعث کاهش بیش از ۶۰ درصدی هزینه‌های ترابری و ضایعات ثانویه می‌شود(۵).

چالش‌ها و محدودیت‌ها :نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه برای تجهیزات جداسازی بهداشتی پوست و همگن‌سازها؛ فصلی بودن ماده خام.

۲. تدوین ضوابط بهداشتی و استاندارد ملی برای استفاده از ضایعات میوه‌ای در فرآورده‌های خوراکی؛

شرح: تدوین یک دستورالعمل جامع توسط سازمان غذا و دارو و سازمان ملی استاندارد برای فرآیند جمع‌آوری، نگهداری، پایش باقیمانده سموم و فلزات سنگین، و فرآوری صنعتی پوست آلو.

مزایا: شفاف‌سازی مسیر اخذ پروانه ساخت و نشان ایمنی (سیب سلامت)، تضمین سلامت مصرف‌کننده و رفع خلاء مقرراتی در کاربرد فرآورده‌های جانبی غذایی.

شواهد و تجارب مشابه (داخلی و بین‌المللی): این رویکرد انطباق کاملی با مقررات غذای جدید کمیسیون اروپا[1] (۶) و ضوابط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) دارد(۷)؛ جایی که تفکیک فرآورده‌های جانبی با درجه غذایی[2] از پسماندهای دامی و کمپوست، از طریق تعریف حد مجاز آلاینده‌ها و ارائه گواهی ایمنی صورت گرفته و مسیر تجاری‌سازی صنعتی را هموار ساخته‌است .

چالش‌ها و محدودیت‌ها: نیاز به پروتکل‌های نظارتی دقیق‌تر و افزایش هزینه‌های آزمون‌های آزمایشگاهی اولیه برای تولیدکنندگان.

۳. ایجاد شبکه یکپارچه زنجیره تأمین و مدل بازاریابی فرآورده‌های فراسودمند؛

شرح: پیوند شرکت‌های دانش‌بنیان، تعاونی باغداران شهر خور و صنایع نوشیدنی برای تأمین پایدار، برندسازی و تجاری‌سازی شربت غنی از فنول به عنوان نوشیدنی طبیعی و سلامت‌محور.

مزایا: ایجاد ارزش‌افزوده بالا، قابلیت برندسازی منطقه‌ای، و توسعه بازار مصرف داخلی و صادرات به کشورهای منطقه.

شواهد و تجارب مشابه (داخلی و بین‌المللی): این مدل تأمین و بازاریابی مبتنی بر تجربیات موفق داخلی در تشکیل شبکه یکپارچه بازیافت تفاله گوجه‌فرنگی و تفاله سیب در صنایع رب و آبمیوه شمال غرب کشور است. در عرصه بین‌المللی نیز ائتلاف‌هایی نظیر انجمن غذای بازیافتی [3] (۸) با ایجاد نشان تجاری معتبر[4]، توانسته‌اند با تغییر ادراک مصرف‌کنندگان و اعتمادسازی، سهم بازار محصولات بازیافتی باکیفیت را به‌طور چشمگیری ارتقا دهند. به‌منظور سنجش چندبعدی و توانمندسازی سیاست‌گذاران در انتخاب و اولویت‌بندی رویکردها، تحلیل مقایسه‌ای گزینه‌های سه‌گانه بر پایه ماتریس نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و چالش‌ها [5] در جدول ۲ ارائه شده‌است.

چالش‌ها و محدودیت‌ها: لزوم فرهنگ‌سازی و بسته‌بندی مناسب جهت غلبه بر نئوفوبیای مصرف‌کننده [6] نسبت به واژه ضایعات.

برای تحقق گزینه‌های سیاستی فوق، برنامه زمانی و تفکیک وظایف دستگاه‌های اجرایی می توان پیشنهاداتی را ارایه نمود که در جدول ۳ آورده شده‌است.

الزامات و چالش‌ها

۱. فصلی بودن تولید آلو: فرآوری آلو محدود به فصول خاصی از سال است؛ بنابراین تدوین روش‌های مناسب نگهداری خام

1 - Novel Food Regulation - EU 2015/2283
2 - Food-grade by-products

3 - Upcycled Food Association - UFA
4 - Upcycled Certified
5 - SWOC
6 - Consumer Neophobia

(مانند انجماد سریع) بدون افت ترکیبات فنولی ضروری است.

۲. کنترل بهداشت جمع‌آوری: به دلیل احتمال آلودگی ثانویه در زمان پوست‌گیری سنتی، تجهیز کارگاه‌ها به دستگاه‌های پوست‌گیری مکانیزه و بهداشتی الزامی است.

۳.مطالعات ماندگاری : مطالعات فعلی محدود به بازه کوتاه آزمایشگاهی هستند؛پایش تغییرات رنگ، آنتوسیانین‌ها و پارامترهای‌میکروبی در طول۱۲ماه نگهداری باید تکمیل‌شود.

محدودیت‌ها و موانع اجرایی

علی‌رغم توجیه فنی و سلامت محصول، پیاده‌سازی صنعتی این سیاست‌ها با چالش‌ها و موانع اجرایی زیر روبه‌رو است:

۱. تأمین فصلی و فسادپذیری ماده خام: فصل برداشت آلو محدود به ۲ تا ۳ ماه در سال است؛ از این رو حفظ کیفیت بهداشتی و میکروبی پوست آلو نیازمند زیرساخت‌های پایدار انجماد سریع یا خشک‌کردن با انرژی کم است که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را افزایش می‌دهد.

۲. فقدان ضوابط و سرفصل‌های پروانه ساخت ویژه بازیافت غذایی: در حال حاضر سازمان غذا و دارو و سازمان ملی استاندارد، دستورالعمل اختصاصی برای صدور مجوز استفاده از «پسماندهای فرآوری میوه» در خطوط غذایی انسانی ندارند و این خلأ قانونی زمان ورود محصول به بازار را طولانی می‌کند.

۳. عدم تکمیل آزمون‌های انبارداری زمان‌مند: پژوهش‌های پایه‌ای عمدتاً پایداری فیزیکی ۲۴ ساعته را سنجیده‌اند و شواهد انبارداری تسریع‌شده[1] و رفتارهای رئولوژیکی در دوره‌های نگهداری ۶ تا ۱۲ ماهه نیازمند آزمون‌های پایلوت صنعتی است.

۴. مقاومت روانی بازار: احتمال وجود ذهنیت منفی نسبت به واژه "ضایعات" در بین بخشی از مصرف‌کنندگان، نیازمند بازتعریف اصطلاحات در برچسب‌گذاری (نظیر "عصاره پوست میوه غنی از آنتی‌اکسیدان") و فرهنگ‌سازی است.

نتیجه‌گیری

شواهد علمی تأیید می‌کنند که شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه) یک فرآورده موفق با توجیه فنی، ایمنی بهداشتی، خواص رئولوژیک شبه‌پلاستیک و پذیرش حسی مطلوب است که پتانسیل بالایی برای تجاری‌سازی در چارچوب اقتصاد چرخشی دارد. بااین‌حال، شواهد فعلی برای ادعای سلامت محور گسترده یا عرضه صنعتی بدون بررسی‌های تکمیلی کافی نیست. گزینه سیاستی پیشنهادی، تولید آزمایشی کنترل‌شده در کارخانه‌های فرآوری آلو با استفاده از فرمول پایه ۵۰ درصد

1- Accelerated Shelf-life

پوره و بدون پکتین است. این مرحله باید شامل استانداردسازی ماده اولیه، کنترل فرایند حرارتی، ارزیابی محصول نهایی، آزمون‌های میکروبی و شیمیایی، مطالعه ماندگاری و ارزیابی حسی مصرف‌کنندگان و سپس تصمیم‌گیری مرحله‌ای درباره توسعه صنعتی باشد.

جدول۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی فرمولاسیون‌های شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه).

شاخص	دامنه یا مقدار گزارش‌شده	فرمول/نمونه مرتبط	منبع
سرب، کادمیوم و جیوه	شناسایی نشد	پوست آلوی سیاه	(۲)
کپک (CFU/g)	کمتر از ۱۰	پوست آلوی سیاه	(۲)
بریکس (٪)	۷۴.۵۰–۷۲.۷۵	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
pH	۳.۰۲–۲.۸۶	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
اسیدیته (٪)	۶.۱۱–۴.۰۵	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
رطوبت (٪)	۴۸.۹۴–۴۵.۸۴	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
شاخص رفتار جریان	۰.۷۲–۰.۴۱	فرمول‌های مختلف شربت	(۱,۳)
ضریب قوام ($Pa.s^n$)	۴۱.۷۸–۱.۱۶	فرمول‌های مختلف شربت	(۱,۳)
ویسکوزیته ظاهری (Pa·s)	۷۲.۷۸–۱۱.۰۹	فرمول‌های مختلف شربت	(۱,۳)
فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	۳۳.۴۷–۳.۸۰	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
ترکیبات فنولی کل (mg GAE)	۱.۰۳–۰.۲۸	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
پذیرش کلی	۸.۱۷–۶.۷۱ از ۹	فرمول‌های مختلف شربت	(۱)
بالاترین پذیرش کلی	۸.۱۷ از ۹	۵۰٪ پوره، بدون پکتین	(۱)
امتیاز طعم	۸.۵۰ از ۹	۵۰٪ پوره، بدون پکتین	(۱)

جدول ۲. ارزیابی تطبیقی گزینه‌های سیاستی شربت پوست آلو بر اساس ماتریسSWOC .

گزینه سیاستی	نقاط قوت	نقاط ضعف	فرصت‌ها	چالش‌ها و موانع
گزینه ۱: راه‌اندازی خط تولید پایلوت در قطب تولید (شهر خور)	• دسترسی ارزان و سریع به ماده خام تازه در مبدأ تولید• ارتقای مستقیم درآمد باغداران و ایجاد اشتغال بومی• کاهش بیش از ۶۰ درصدی هزینه‌های ترابری و ضایعات ثانویه	• وابستگی تولید به فصل برداشت محدود (۲ الی ۳ ماه)• نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه در تجهیزات سرمایشی و تبخیر• ظرفیت محدود خط پایلوت در مراحل آغازین	• هم‌افزایی با کارگاه‌های سنتی منطقه خور نیشابور• امکان جذب گرنت‌های توسعه‌ای معاونت علمی و جهاد کشاورزی• توسعه مدل اقتصاد چرخشی در سطح قطب‌های کشاورزی	• نوسانات قیمت حامل‌های انرژی در خطوط تبخیر• ریسک عدم تأمین پیوسته پوست آلو در سال‌های کم‌محصول• استهلاک تجهیزات ناشی از محیط‌های فرآوری اسیدی
گزینه ۲: تدوین استاندارد ملی و ضوابط بهداشتی فرآورده‌های جانبی	• رسمیت‌بخشی قانونی به کاربرد پسماند میوه در صنایع غذایی انسانی• تضمین سلامت عمومی با پایش دقیق فلزات سنگین و سموم• شفاف‌سازی و تسهیل صدور نشان سیب سلامت	• فرآیند زمان‌بر تصویب شیوه‌نامه‌ها در مراجع اداری دولتی• افزایش هزینه‌های اولیه کنترل کیفی و آزمایشگاهی برای تولیدکننده• پیچیدگی پایش یکنواختی در زنجیره تأمین	• انطباق با ضوابط روز بین‌المللی (نظیر Novel Food اتحادیه اروپا)• الگوبرداری و تعمیم ضوابط به سایر ضایعات باغبانی کشور• ارتقای اعتبار تجاری و علمی صنایع غذایی سلامت‌محور	• مقاومت اداری و حساسیت نهادهای نظارتی به واژه پسماند• دشواری بازرسی مستمر از کارگاه‌های محلی پوست‌گیری• تغییرات احتمالی مقررات در دوره‌های مدیریتی مختلف
گزینه ۳: ایجاد زنجیره تأمین و شبکه تجاری‌سازی محصول فراسودمند	• تضمین خوراک پایدار کارخانه از طریق قرارداد با تعاونی‌ها• ایجاد ارزش افزوده بالا از یک پسماند ارزان‌قیمت• ارتقای ارزش سبد محصولات صادراتی صنایع نوشیدنی	• پراکندگی جغرافیایی کارگاه‌های سنتی پوست‌گیری آلو• نیاز به بازآموزی و ارتقای سواد بهداشتی نیروی انسانی محلی• وابستگی شدید به ناوگان لجستیک زنجیره سرد	• بهره‌گیری از ظرفیت پلتفرم‌های بین‌المللی (مانند Upcycled Food)• تقاضای فزاینده بازار برای نوشیدنی‌های طبیعی و غنی از فنول• تجاری‌سازی محصول در قالب نشان جغرافیایی نیشابور	• نئوفوبیای مصرف‌کننده و بدبینی احتمالی به منشأ پسماندی محصول• ناپایداری حرارتی و نوری ترکیبات آنتوسیانین در شبکه توزیع• رقابت شدید با شربت‌های سنتتیک و ارزان‌قیمت بازار

جدول ۳. نقشه راه اجرایی و نهادی برای توسعه، تجاری‌سازی و عرضه شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه).

افق زمانی	بازه زمانی	اقدامات کلیدی اجرایی	نهاد راهبر و همکار	خروجی‌های عملیاتی و مورد انتظار
کوتاه‌مدت	**۶ ماه تا ۱ سال**	• تشکیل کارگروه مشترک دانشگاه، سازمان غذا و دارو و جهاد کشاورزی،• تدوین و ابلاغ پروتکل‌های بهداشتی جمع‌آوری، تفکیک و انجماد اولیه پوست در کارگاه‌های شهر خور،• امکان‌سنجی فنی و طراحی خط پایلوت نیمه‌صنعتی	نهاد راهبر: سازمان غذا و دارو،نهادهای همکار: دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، مدیریت جهاد کشاورزی نیشابور	• تدوین شیوه‌نامه بهداشتی تأمین ماده خام اولیه،• استقرار سازوکار لجستیک جمع‌آوری پسماند در مبدأ،• تدوین طرح توجیهی و نقشه فنی خط پایلوت
میان‌مدت	**سال اول تا سال دوم**	• راه‌اندازی فیزیکی و تجهیز خط تولید پایلوت نیمه‌صنعتی در قطب تولید (خور)،• آغاز و پایش آزمون‌های جامع ماندگاری ۱۲ ماهه[10] شامل ثبات رنگ، آنتوسیانین‌ها و آزمون‌های میکروبی،• اجرای ارزیابی بازارسنجی گسترده و آزمون پذیرش مصرف‌کننده[11]	نهاد راهبر: وزارت جهاد کشاورزی،نهادهای همکار: پارک علم و فناوری، دانشگاه علوم پزشکی نیشابور، تعاونی باغداران	• بهره‌برداری عملیاتی از خط پایلوت و تثبیت فرمولاسیون صنعتی،• تعیین دقیق دوره ماندگاری و شرایط بهینه بسته‌بندی،• گزارش مدون رفتار مصرف‌کننده و تمایل به خرید
بلندمدت	**سال سوم به بعد**	• طی مراحل قانونی و اخذ پروانه ساخت و نشان ایمنی و سلامت (سیب سلامت) از سازمان غذا و دارو،• ورود به شبکه توزیع و زنجیره خرده‌فروشی سراسری کشور و برندسازی ملی،• تدوین، تصویب و ثبت استاندارد ملی ویژه فراورده‌های جانبی غذایی حاصل از آلو	نهاد راهبر: سازمان غذا و دارو و وزارت صمت،نهادهای همکار: بخش خصوصی (سرمایه‌گذار صنعتی)، سازمان ملی استاندارد ایران	• ورود تجاری محصول به بازار مصرف با نشان سیب سلامت،• خلق ارزش افزوده اقتصادی برای زنجیره باغبانی منطقه،• تصویب سند استاندارد ملی و امکان الگوبرداری در سطح کشور

10 - Shelf life
11- Consumer Sensory Panel



شکل ۱. فرایند تولید شربت فراسودمند غنی از ترکیبات فنولی (بر پایه پوست آلوی سیاه).

References

1. Mohammadi-Moghaddam T, Firoozzare A, Parak Z, MohammadNia M. Physicochemical properties, sensory attributes, and antioxidant activity of black plum peel sharbat as affected by pectin and puree concentrations. *Int J Food Prop*. 2020;23(1):665-676. doi:10.1080/10942912.2020.1754235.

2.Mohammadi Moghaddam T. Black plum peel syrup, a healthy drink for Arbaein pilgrims. *Mass Gather Med J*. 2024;1(1):e156532. doi:10.5812/mgmj-156532.

3.Morshedi A, Mohammadi-Moghaddam T. Black plum peel syrup as a potential health-promoting beverage for the elderly: optimization of physicochemical properties via response surface methodology (RSM). *Healthy Aging* Perspectives. 2026; Issue 1

4.European Commission (CORDIS). CITRUSRINSE: Industrial valorisation of citrus processing waste and by-products for the extraction of high-value natural ingredients. *Horizon 2020 Research and Innovation Programme*. Grant agreement ID: 635524; 2018

5.Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) & Agricultural Jahad Organization of South Khorasan. Technological initiatives on the valorization of barberry and saffron processing by-products and sorting residues for bioactive formulation development. Technical Report & Regional Pilot Project Documentation; 2023.

6.European Commission. Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 and repealing Regulation (EC) No 258/97. Official Journal of the European Union. 2015; L 327:1–22.

7.U.S. Food and Drug Administration (FDA). Human Food By-Products For Use As Animal Food / Food-Grade By-Products Guidance for Industry; Current Good Manufacturing Practice (CGMP). 21 CFR Part 117. College Park (MD): FDA; 2019.

8.Upcycled Food Association (UFA). The Upcycled Certified Standard: Official Certification Standard for Upcycled Ingredients and Products. Version 2.0. Denver (CO): UFA; 2022.

Journal of Neyshabur University of Medical Sciences

www. jnums.nums.ac.ir

Valorization of Black Plum Peel By-product within a Circular Economy: Strategies and Policies for Commercializing a Phenolic-rich functional syrup: A Policy Brief

Toktam Mohammadi-Moghaddam[1,2]

1- Workplace Health Research Center, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

2- Noncommunicable Diseases Research Center, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

Type of Article

Received: 2026/09/06

Accepted: 2026/10/31

***Corresponding Author:**
Toktam Mohammadi-Moghaddam,
Workplace Health Research Center,
Neyshabur University of Medical Sciences,
Neyshabur, Iran
TEL: +985143353211
Email:
mohammadit1@nums.ac.ir

A B S T R A C T (Maximum 250 words)

Introduction

The annual disposal of over 10,000 tons of plum processing waste in Neyshabur leads not only to substantial environmental burdens but also to the squandering of valuable phenolic and bioactive compounds. Accordingly, this study synthesized technical evidence and evaluated policy options for commercializing a phenolic-rich functional syrup derived from black plum peel. Physicochemical properties, rheological behavior, bioactive contents, microbial/safety profiles, and sensory evaluations from experimental investigations and response surface methodology (RSM) optimization were consolidated and analyzed. The results demonstrated that the empirical formulation containing 50% plum peel puree without commercial pectin achieved the highest sensory acceptability score (8.17 out of 9), underpinned by intrinsic fruit peel pectins, pseudoplastic flow behavior, high phenolic content, and non-detectable levels of heavy metals and pesticide residues. Compared with the mathematically modeled optimum (40.62% puree and 0.2% pectin), omitting commercial pectin significantly curtails production costs. Nonetheless, transitioning this innovation from laboratory scale to industrial application necessitates the synchronized execution of three strategic policy measures: (1) establishing a semi-industrial pilot production line in collaboration with agricultural cooperatives in the Khor region of Neyshabur; (2) formulating dedicated regulatory standards and manufacturing licenses for food-grade processing by-products by the Food and Drug Organization; and (3) deploying a cold-chain logistics network for the seasonal stabilization and storage of the puree. Implementing this three-year policy roadmap will mitigate regional environmental liabilities while fostering sustainable value addition across the country's agri-food processing sector.

Keywords

By-product value addition, Black plum peel, Phenolic-rich functional syrup, Circular economy, Commercialization

► *Please cite this article as. Mohammadi-MoghaddamT. Valorization of Black Plum Peel By-product within a Circular Economy: Strategies and Policies for Commercializing a Phenolic-rich functional syrup J Neyshabur Univ Med Sci2026;13(3)*