

به نام خدا

مجله علمی - پژوهشی

علوم غذایی و تغذیه

فصل نامه دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات

مدیر مسئول: دکتر مهرداد قوامی

سر دبیر: دکتر مریم قراچورلو

هیات تحریریه:

دکتر پیمان مهستی، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر سیدضیاءالدین حسینی مظهری، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر وحید تقی خانی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

دکتر مهرداد قوامی، استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر سیدمهدهی سیدین اردبیلی، دانشیار مرکز پژوهش‌های غلات

دکتر مجید عمیدپور، استاد دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دکتر هوشنگ نیکوپور، دانشیار دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

دکتر مریم میزانی، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر مریم قراچورلو، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر سیدمحمدعلی موسویان، استاد دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی شیمی

دکتر حسین بهمنیار، استاد دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی شیمی

دکتر مهناز مظاهری اسدی، دانشیار سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

دکتر سیروس قطبی، استاد دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

دکتر بابک غیائی طرزی، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر مسعود هنرور، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

دکتر انوشه شریفان، دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی

نشانی: تهران، میدان پونک، انتهای بزرگراه اشرافی اصفهانی، به سمت حصارک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

تلفن: ۰۶۰-۴۴۸۶۸۵۳۵ (داخلی ۴۰۰۶۶)

پست الکترونیکی: ftn@srbiau.ac.ir

www.jftn.srbiau.ac.ir

تک شماره: ۲۵۰۰۰۰ ریال

تاییدیه درجه علمی - پژوهشی

به استناد مصوبات کمیسیون بررسی و تایید نشریات علمی دانشگاه آزاد اسلامی و براساس رای هفدهمین جلسه مورخ ۱۳/۱۱/۸۳ کمیسیون مذکور مجله

علوم غذایی و تغذیه (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات) حائز شرایط دریافت درجه علمی - پژوهشی شناخته شد.

مجله علوم غذایی و تغذیه از سال ۱۳۸۶ در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) نمایه سازی می گردد.

مجله علوم غذایی و تغذیه از تاریخ ۱۳۸۹/۳/۱ حائز رتبه علمی - پژوهشی از کمیسیون نشریات علوم پزشکی کشور شده است.

این نشریه در پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی به نشانی www.SID.ir نمایه می شود.

فهرست

سال بیست و یکم، شماره ۲، (پیاپی ۸۲) بهار ۱۴۰۳

- ۳ راهنمای تهیه مقاله
- ۵ هیدروژناسیون روغن سویا با تکنیک پلاسما سرد با ترکیب گازی هیدروژن - نیتروژن
ضحی چهاردهی سیرتی، مریم قراچورلو، حمیدرضا قمی مرزدشتی، رضا عزیزی نژاد
- ۱۹ بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در دسر شیری فراسودمند
حای ژل آلتوورا
شمیم برنده، مرجانه صداقتی
- ۳۱ استفاده از مایکروویو به‌عنوان پیش‌تیمار قبل از خشک‌کردن برش‌های پرتقال توسط پرتو فرسرخ
فخرالدین صالحی، مریم تشکری، کیمیا ثمری
- ۴۷ بررسی ویژگی‌های ضداکسیدانی و ضدباکتریایی عصاره اناریجه (*Froriepia subpinnata*) درون‌پوشانی شده با
مالتودکسترین-کنسانتره آب پنیر
راحله عالی پور، عبدالله علیزاده کارسالاری، داریوش خادمی شورمستی
- ۵۹ مروری بر جایگاه فیبر در تغذیه، سلامت، کاربرد و روش‌های اصلاح آن در صنایع غذایی
مروا حسینی، پیمان رجایی
- ۷۳ بررسی کارایی پوست انار در حذف نیکل و کروم از پساب صنعت آبمیوه
نسرین هاشمی، مسعود هنرور، الهه قره خانی

راهنمای تهیه مقاله برای مجله علمی پژوهشی علوم غذایی و تغذیه

مجله تخصصی علوم غذایی و تغذیه مقاله‌های تحقیقی اصیل، یادداشت تحقیقاتی کوتاه با نوآوری برجسته و مقالات مروری شاخص در زمینه صنایع غذایی و تغذیه را که به زبان فارسی نوشته شده و قبلاً در مجلات داخل یا خارج کشور منتشر نشده است، با رعایت نکات زیر می‌پذیرد:

- ۱- مقاله بطور همزمان به جای دیگری برای انتشار فرستاده نشده باشد.
- ۲- مقاله مستند به نتایج پژوهش‌های نویسنده یا نویسندگان باشد.
- ۳- مقاله روی کاغذ A4 سفید با رعایت فاصله ۱ سانتی‌متر بین سطور و حاشیه ۲ سانتی‌متر در اطراف، و تحت نرم‌افزار Word 2003 با فونت B-Lotus شماره ۱۴ تایپ شده باشد. جهت کلمات انگلیسی از فونت Times New Roman شماره ۱۲ استفاده شود. تعداد صفحات مقاله بیشتر از پانزده صفحه نباشد.
- ۴- ارسال مقاله از طریق سایت مجله به آدرس (www.jftn.srbiau.ac.ir) انجام شود.

آدرس: تهران، میدان پونک، انتهای بزرگراه اشرفی اصفهانی، به سمت حصارک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، کد پستی ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵
تلفن: ۶۰-۴۴۸۶۸۵۳۵ (داخلی ۴۰۰۶۶)
پست الکترونیکی: ftn@srbiau.ac.ir

روش نگارش

صفحه عنوان: عنوان مقاله، نام کامل نویسنده یا نویسندگان، درجه علمی آنان و نشانی کامل پستی مشخص گشته و نویسنده مسئول مکاتبات معرفی گردد. عنوان مقاله باید خلاصه و بیان کننده موضوع تحقیق بوده و از ۲۰ کلمه بیشتر نباشد.

قسمت‌های مختلف مقاله شامل چکیده، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، یافته‌ها، بحث، نتیجه‌گیری، سپاسگزاری، منابع و چکیده انگلیسی، باید به ترتیب و به صورت زیر ارائه شود.

- چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی: در صفحه اول مقاله عنوان مقاله، چکیده فارسی و واژه‌های کلیدی نوشته شود. چکیده فارسی باید مجموعه فشرده و گویایی از مقاله، بصورت ساختار یافته شامل مقدمه، مواد و روش‌ها، یافته‌ها و نتیجه‌گیری و در کمتر از ۲۵۰ کلمه بوده و حاوی شرح روشن هدف‌های پژوهش و نتایج آن باشد. بهتر است تعداد واژه‌های کلیدی از ۵ مورد بیشتر نباشد و به ترتیب حروف الفبا مرتب شود.

- مقدمه: مقدمه حاوی مروری بر پژوهش‌های گذشته با استناد به مدارک منتشر شده قبلی و شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد و هدف بررسی را بوضوح روشن نماید. استناد به منابع در متن مقاله به سبک هاروارد (Harvard System: Author – Date Scheme) انجام شود. به این ترتیب که چنانچه یک اثر علمی بوسیله یک یا دو نفر نوشته شده باشد، نام خانوادگی نگارنده یا نگارندگان همراه با سال انتشار در پایان جمله و داخل پرانتز ذکر شود و توسط ویرگول از یکدیگر جدا شوند و در صورتیکه بوسیله بیش از دو نگارنده نوشته شده باشد نام خانوادگی نگارنده اول همراه با عبارت " و همکاران" برای منابع فارسی یا عبارت "et al." برای منابع لاتین و سپس سال انتشار آورده شود.

- مواد و روش‌ها: این قسمت شامل شرح کامل مواد یا وسایل بکار گرفته شده و روش آزمایش در بررسی باشد. بهتر است از ذکر کامل روش‌های اقتباس شده خودداری کرده و فقط به ارائه اصول و ذکر مآخذ اکتفا نمود.

- یافته‌ها: نتایج بدست آمده مطرح گردد.

- بحث: نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.
- جدول، نمودار و عکس: جدول‌ها، نمودارها و عکس‌ها باید در جای مناسب در داخل متن گنجانده شود. جدول‌ها بدون خطوط عمودی و با حداقل خطوط افقی باشند و اطلاعات آن‌ها نباید بصورت منحنی، جملات یا به نحو دیگری در مقاله تکرار شود. عنوان جدول باید مختصر و گویای ارتباط عوامل مورد بحث جدول باشد. توضیحات اضافی عنوان و متن جدول بصورت زیرنویس ارائه گردد. عکس‌ها، نمودارها و کارهای ترسیمی اصلی بوده و بصورت سیاه و سفید تهیه شوند. عکس‌ها باید واضح، مطالب آن خوانا و در صورت لزوم دارای واحد باشد. تمامی واحدها باید در مقیاس متریک (SI) ارائه گردد.
- نتیجه‌گیری: نتیجه‌گیری حاوی مطالب مختصر و گویا در رابطه با هدف و به عبارت بهتر جمع‌بندی کلی نتایج باشد.
- سپاسگزاری: از تامین کنندگان بودجه و امکانات کار و اشخاص دیگری که در انجام تحقیق کمک کرده‌اند می‌توان حداکثر در ۴ سطر سپاسگزاری کرد.
- منابع: تنظیم فهرست منابع مطابق شیوه‌ها راورد انجام شود. در تنظیم مراجع ابتدا منابع فارسی و سپس لاتین به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده و بصورت نام خانوادگی و نام نویسنده یا نویسندگان، سال انتشار، عنوان مقاله یا کتاب، نام مجله یا ناشر، شماره جلد و صفحات مقاله یا کتاب نوشته شود، مثال:
ملکی، م. و دخانی، ش. (۱۳۷۴). *صنایع غذایی*. جلد اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحات ۱۰۱ - ۳۳.
مهدی پور، ا.، صدراالاشرفی، س. م. و کرباسی، ع. ر. (۱۳۸۴). *بررسی بازاریابی محصول سیب زمینی در ایران*. مجله علوم کشاورزی، سال یازدهم، شماره ۳، صفحات ۱۳۲ - ۱۲۱.
- قاسمی افشار، پ. (۱۳۸۶). *تولید روغن سرخ کردنی بر پایه تالو اولئین*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
بی‌نام. (۱۳۷۳). روش اندازه‌گیری پایداری روغن‌ها و چربی‌های خوراکی در برابر اکسید شدن. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۷۳۴، چاپ اول.
- Belitz, H. D. & Grosch, W. (1999). *Food chemistry*. Springer, Berlin, pp. 307-314.
- Gunstone, F. D. (1986). *Chemical Properties, in The lipid Handbook*, edited by Gunstone, F. D., Harwood, J. L. & Padley, F. B. Chapman & Hall, London, pp. 449-484.
- Ahmed, I. A. & Robinson, R. K. (1999). The ability of date extracts to support the production of aflatoxins. *Food Chemistry*, 66 (3), 307-312.
- Noel, S. & Collin, S. (1995). Trans-2-nonenal degradation products during mashing. In *Proceeding of the 25 th European brewery convention congress* (pp. 483-490). Oxford: IRL Press.
- Sen Gupta, A. K. (1985). *Refining*. U. S. Patent 4, 533, 501.
- National Institutes of Health. (2002). Menopausal Hormone Therapy, <http://www.nih.gov/PHTindex.htm>
- عنوان مقاله، نام، نام خانوادگی و سمت نویسندگان، چکیده و واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی

هیدروژناسیون روغن سویا با تکنیک پلاسما سرد با ترکیب گازی هیدروژن - نیتروژن

ضحی چهاردهی سیرتی^a، مریم قراچورلو^{b*}، حمیدرضا قمی مرزدشتی^c، رضا عزیزی نژاد^d

^a دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^b استاد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^c دانشیار پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^d استادیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

۵

چکیده

مقدمه: به دلیل بالا بودن میزان اسیدهای چرب غیر اشباع در روغن سویا، احتمال اکسیداسیون در این محصول بالا و کاربرد آن در صنعت غذا محدود می‌باشد؛ لذا جهت افزایش پایداری اکسیداتیو و توسعه کاربردهای غذایی آن، فرایندهای اصلاحی متعددی مورد توجه قرار گرفته است که در این پژوهش فرایند هیدروژناسیون با استفاده از تکنولوژی نوین پلاسما سرد جهت تولید روغن نیمه هیدروژنه با اسیدهای چرب ترانس بسیار پایین، انجام شده است.

مواد و روش‌ها: اثر استفاده از پلاسما سرد تخلیه مانع دی الکتریک سطحی با استفاده از تیمار ۱۳ ساعته، ولتاژ ۱۵ کیلوولت و ترکیب گازی هیدروژن ۵۰٪ - نیتروژن ۵۰٪ بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن سویا مورد بررسی قرار گرفت. در بازه‌های زمانی مشخص از نمونه‌های تیمار شده نمونه برداری گردید و ترکیب اسیدهای چرب، اندیس یدی، ضریب شکست، محتوی کارتنوئید، نقطه ذوب، اندیس پراکسید، محتوی توکوفرول و استرول آن‌ها اندازه گیری شد.

یافته‌ها: نتایج حاصله نشان داد که در اثر استفاده از تیمار پلاسما سرد تخلیه مانع دی الکتریک سطحی ۱۳ ساعته، محتوی اسیدهای چرب غیر اشباع از ۵۸/۶۲٪ به ۴۰/۲۴٪، محتوی کارتنوئید از ۲۶/۳۸ ppm به ۶/۳۲ ppm، ضریب شکست از ۱/۴۶۷۲ به ۱/۴۴۰۰، اندیس یدی از ۱۲۹/۶۴ به ۱۰۰/۴۵، میزان استرول کل از ۲۶۳۶/۵۱ ppm به ۲۳۱۵/۸۶ ppm به طور معناداری کاهش و اندیس پراکسید از ۲/۴ به ۵/۸ meq O₂/kg oil و نقطه ذوب به ۷ °C افزایش یافتند (p<0.05). همچنین میزان اسیدهای چرب ترانس تولید شده به صورت بسیار جزئی (۰/۸۵٪) مشاهده گردید.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج بدست آمده از بررسی‌های صورت گرفته، می‌توان از تیمار پلاسما سرد بی‌دی سطحی به عنوان فناوری نوین جهت هیدروژناسیون روغن‌ها و احتمالاً رنگبری استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب ترانس، پلاسما سرد، خواص فیزیکوشیمیایی، روغن سویا، هیدروژناسیون

مقدمه

روغن سویا به دلیل در دسترس بودن، ارزان بودن و ویژگی‌های بسیار مطلوب، دومین روغن گیاهی پرمصرف در جهان است. این روغن حاوی حدود ۱۸-۲۰٪ اسیدهای چرب اشباع، ۲۲-۲۴٪ اسیدهای چرب تک غیر اشباع و ۵۸-۶۰٪ اسیدهای چرب چند غیر اشباع به ویژه اسیدهای چرب لینولنیک و لینولئیک می‌باشد (Subroto *et al.*, 2020). محتوای نسبتاً بالای اسیدهای چرب با دو و سه پیوند دوگانه منجر به کاهش پایداری اکسیداتیو و کوتاه نمودن مدت ماندگاری روغن سویا طی فرآوری و انبارداری می‌گردد (Indiarto & Qonit, 2020). از این رو جهت بهبود پایداری اکسیداتیو روغن سویا و توسعه کاربردهای غذایی آن، این روغن در صنعت تحت فرایندهای اصلاحی مختلفی (هیدروژناسیون جزئی، اینتراستریفیکاسیون، جزء به جزء کردن و مخلوط سازی) قرار می‌گیرد. در میان این روش‌ها، فرآیند هیدروژناسیون جزئی مدت زمان زیادی است که به صورت صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فرآیند هیدروژناسیون جزئی روغن‌های خوراکی یک فرآیند شیمیایی است که از طریق کاهش میزان اسیدهای چرب چند غیراشباعی منجر به بهبود پایداری اکسیداتیو و افزایش ماندگاری روغن سویا و از طریق افزایش تعداد اسیدهای چرب اشباع منجر به اصلاح خصوصیات فیزیکی روغن مانند افزایش نقطه ذوب و ایجاد بافت نیمه جامد مطلوب برای استفاده در تولید محصولات قنادی می‌گردد. در روش سنتی هیدروژناسیون جزئی، اسیدهای چرب غیراشباع با گاز هیدروژن در دمای بالا (۲۴۰-۱۵۰ °C)، تحت فشار بیش از ۱ اتمسفر و با حضور کاتالیزور نیکل (۰/۰۸-۰/۱-۰/۱٪) به مدت ۱-۴ ساعت واکنش می‌دهند. متأسفانه در نتیجه حضور کاتالیزورهای فلزی و شرایط دمایی بالا در این فرآیند سنتی چالش‌های غیر قابل اجتنابی ایجاد می‌گردد که از مهم‌ترین آن می‌توان به تشکیل اسیدهای چرب ترانس مضر (تقریباً ۲۵-۴۰٪) و سمیت کاتالیزور باقی مانده مورد استفاده، اشاره نمود (Adu *et al.*, 2019).

ایزومر موقعیتی ترانس، پایداری ترمودینامیکی و نقطه ذوب بالاتری نسبت به ایزومر سیس خود دارد و این امر

ثابت شده است که اسیدهای چرب ترانس می‌توانند منجر به بیماری‌های قلبی عروقی، فشار خون بالا و اضافه وزن در انسان گردند. در نتیجه در سال‌های اخیر، علاقه فزاینده‌ای جهت جایگزینی این فرآیند سنتی هیدروژناسیون کاتالیستی با فرایندهای جدید غیرحرارتی و بدون کاتالیزور ایجاد شده است.

یک فناوری جدید جایگزین هیدروژناسیون کاتالیستی، فناوری پلاسما است که یکی از فناوری‌های سبز است (Nayebzadeh *et al.*, 2019). پلاسما به حالت چهارم ماده بعد از حالت‌های جامد، مایع و گاز اشاره دارد که با افزایش انرژی مولکولی گاز، حالت ماده تغییر کرده و گازی از اتم‌ها شکل می‌گیرد که ذرات باردار، الکترون‌ها و یون‌های مثبت آزادانه در آن حرکت می‌کنند (Misra *et al.*, 2016). به منظور تولید پلاسما سرد از انواع روش‌های مختلف نظیر پلاسما ناشی از مایکروویو، فرکانس رادیویی، تخلیه تابش اتمسفری، تخلیه سد دی الکتریک، جت پلاسما و کرونا می‌توان استفاده نمود که روش رایج برای تولید پلاسما سرد در صنعت غذا تخلیه سد دی الکتریک (DBD)^۱ می‌باشد (Thirumdas *et al.*, 2017). DBD از نظر انعطاف پذیری، پیکربندی هندسی، پارامترهای عملیاتی، طراحی ساده، هزینه، ایمنی و ویژگی‌های منبع تغذیه مزایای متعددی دارد (Feizollahi *et al.*, 2021). دو شکل اصلی برای تولید DBD وجود دارد: DBD حجمی و DBD سطحی. DBD حجمی از دو صفحه موازی ساخته شده است که در آن‌ها پلاسما در یک حجم تولید می‌شود. DBD سطحی شامل دو الکترود است که در دو طرف یک پانل دی الکتریک تحت قرار دارند که در آن تخلیه بین الکترودهای تخلیه و دی الکتریک اتفاق می‌افتد.

به تازگی DBD حجمی به عنوان یک تکنیک جدید برای هیدروژناسیون روغن‌های خوراکی مورد مطالعه قرار گرفته است. یافته‌های موجود در این تحقیقات نشان داده‌اند که این تیمارها می‌توانند منجر به کاهش محتوی اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و افزایش اسیدهای چرب اشباع در روغن‌های پالم و سویا و در نتیجه تولید روغن به طور جزئی هیدروژنه گردند (Yepez & Keener, 2016; Yepez *et al.*, 2020; Puprasit *et al.*, 2020).

¹ Dielectric Barrier Discharge

الکترودها با هندسه و شکل دلخواه ایجاد می‌نماید. دلیل انتخاب مس نیز خاصیت رسانایی بالای آن می‌باشد که یک لایه قلع بر روی آن جهت جلوگیری از اکسید شدن الکترودها قرار گرفت. با توجه به بررسی‌های انجام شده الگوی الکترودها لانه زنبوری (شکل ۱) در PCB عملکرد بالایی در هیدروژناسیون روغن ایجاد می‌نماید (Sirati *et al.*, 2023). در این مطالعه نیز این الگو از الکترودها انتخاب گردید و با نرم افزار eagle طراحی گردید. سپس این الگو با روش ماژیک ضد اسید روی الکترودها پیاده سازی شد. اندازه PCB ۱۰ × ۱۰ cm با ضخامت ۱/۵ mm بود.

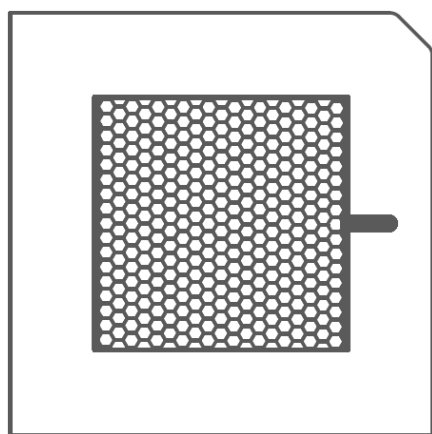


Figure 1- fabricated PCB with honeycomb pattern
شکل ۱- طراحی PCB شده با الگوی لانه زنبوری

- طراحی راکتور پلازما دی بی دی سطحی

راکتور پلازما با روش تخلیه دی بی دی سطحی به صورت شکل ۲ ساخته شد. از یک منبع تغذیه مدل DC PLUS ساخت ایران استفاده گردید که ولتاژ ورودی ۲۳۰ ولت (AC) در فرکانس ۵۰ هرتز را به ولتاژ خروجی ۱۵-۰ کیلوولت در فرکانس ۲۰-۶ کیلوهرتز تبدیل می‌کند. یک ظرف پلاستیکی پروپیلنی با ابعاد $220 \times 160 \times 70 \text{ mm}^3$ (حجم ۱/۶ لیتر) به عنوان محفظه انتخاب گردید. پتری دیش حاوی روغن در کف محفظه قرار گرفت. PCB ساخته شده بر روی درب ظرف سوار شد به گونه‌ای که الکترودها گودار به سمت و نزدیک سطح روغن (الکترودها پایینی) و الکترودها پلیت شکل به سمت درب ظرف (الکترودها بالایی) قرار گرفتند. الکترودها بالایی و الکترودها گودار به ترتیب به کابل‌های زمین و ولتاژ بالا متصل شدند (شکل ۲). جهت کنترل موثر دما یک هیت سینک^۲ به پی سی بی

سیستم به کار رفته در تمامی این مطالعات DBD حجمی بوده است و در مقابل از DBD سطحی تاکنون برای هیدروژناسیون روغن خوراکی استفاده نگردیده است. در DBD سطحی، میکرو تخلیه‌هایی که روی سطح دی الکترونیک ایجاد می‌شوند، منجر به یک پلازما هموزن تر نسبت به پلازما ایجاد شده توسط DBD حجمی می‌گردند. همچنین به دلیل سادگی ساخت، تولید پلازما در هوای محیط با مقادیر ولتاژ نسبتاً کم و با تجهیزات کم هزینه، توزیع یکنواخت گونه‌های خنثی فعال در کل سطح مواد و پتانسیل مقیاس پذیری بالا، DBD سطحی می‌تواند مناسب‌تر باشد (Breden *et al.*, 2018; Figueroa-Pinochet *et al.*, 2022). بنابراین هدف از این تحقیق امکان‌سنجی استفاده از تکنولوژی جدید پلازما سرد دی بی دی سطحی برای تولید روغن سویا به طور جزئی هیدروژنه شده حاوی مقادیر بسیار ناچیز اسید چرب ترانس است که این روغن تولید شده از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی قابل رقابت با روغن به طور جزئی هیدروژنه شده با روش سنتی باشد.

مواد و روش‌ها

روغن سویای خام از کارخانه روغن ورامین شماره یک (تهران، ایران) تهیه گردید و تا زمان شروع فرایند در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. همچنین مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند.

- آماده‌سازی نمونه روغن سویا

حجم مشخصی از روغن (۱۵g) در پتری دیش پلاستیکی (پلی پروپیلن) ریخته و پتری دیش در داخل محفظه پلازما قرار گرفت.

- طراحی الکترودها

در این مطالعه نوع DBD اعمال شده DBD سطحی بود که در آن دو الکترودها مسی در دو طرف یک دی الکترونیک فایبرگلاس قرار داده شد که به آن برد مدار چاپی یا PCB^۱ گفته می‌شود. فایبرگلاس قدرت دی الکترونیک خوبی در محدوده ولتاژ این تحقیق دارد و یک ماده به راحتی در دسترس است که بستر مناسب و آسانی برای ساخت

^۱ Printed Circuit Board

^۲ Heat Sink

تا چگونگی روند هیدروژناسیون توسط پلاسما سرد دی بی دی سطحی مشخص گردد.

- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نمونه روغن سویا هیدروژنه شده

- ترکیب اسیدهای چرب

برای تهیه متیل استر اسیدهای چرب، مخلوط ۱۰ mg روغن سویای خام، ۰/۵ml هگزان، ۲ml سود ۰/۰۱ نرمال در متانول خشک، به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب 60°C نگهداری شد و سپس معرف BF₃ به میزان ۳ml اضافه و ۱۰ دقیقه دیگر نیز در حمام آب 60°C نگهداری گردید. پس از گذشت مدت زمان عنوان شده ۲ml محلول نمک کلرید سدیم ۲۰٪ و ۱ml هگزان تحت جریان آب سرد به نمونه اضافه شد. در نهایت مخلوط حاصله سانتریفوژ گردید و لایه هگزانی حاوی متیل استر اسیدهای چرب جداسازی و برای آنالیز به دستگاه کروماتوگرافی گازی منتقل گردید (Bajaniya et al., 2015).

برای آنالیز متیل استر اسیدهای چرب، از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به دکتور یونش شعله‌ای (مدل Hewlett Packard model 7673, Anondale-USA) با یک ستون موئینه (۳۰ m × ۰/۲۵ mm) پوشیده شده با ۰/۲ میکرومتر فاز سیانو پروپیل فینیل-بی سیانو پروپیل استفاده شد. دمای ابتدا ستون 130°C بود سپس با سرعت $3 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$ به 145°C افزایش یافته و پس از آن با سرعت $1/2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$ به 165°C افزایش یافت. آشکارساز و تزریق کننده، در دمای 250°C تنظیم شدند. گاز هلیوم به عنوان گاز حامل در نرخ جریان $1/2 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$ به کار برده شد. درصد نسبی اسیدهای چرب، با استفاده از مخلوط رفرنس استرهای متیله اسیدهای چرب ارزیابی گردیدند. همچنین میزان اسیدهای چرب اشباع (SFAs)، تک غیر اشباعی (MUFAs) و چند غیر اشباعی (PUFAs) با معادله‌های زیر محاسبه گردید (Rezaei et al., 2014).

$$\text{SFAs} = \text{C16:0} + \text{C18:0}$$

$$\text{MUFAs} = \text{C18:1-9t} + \text{C18:1-9c}$$

$$\text{PUFAs} = \text{C18:2-9t}, 12\text{t} + \text{C18:2-9c}, 12\text{c} + \text{C18:39c}, 12\text{c}, 15\text{c}$$

متصل گردید. کل ظرف به واسطه واشر تعبیه شده داخل سر ظرف با درب‌بندی ظرف آب‌بندی^۱ شد به گونه‌ای که امکان ورود و خروج هوا وجود نداشت. دو ورودی و خروجی گاز روی بدنه محفظه ایجاد گردید. ورودی با استفاده از شلنگ به کپسول گاز مورد نظر متصل شد و خروجی نیز گازها و گونه‌های فعال و اشتعال پذیر ایجاد شده را جهت کاهش خطر انفجار و ایجاد یک فشار اتمسفری به خارج از محفظه هدایت می‌کرد. تمامی آزمایشات زیر هود آزمایشگاهی انجام پذیرفت تا این ترکیبات گازی به محیط خارج از آزمایشگاه هدایت شوند (Sirati et al., 2023).

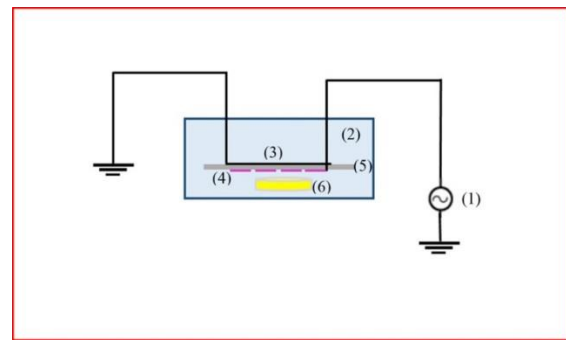


Figure 2- setup of the surface dielectric barrier discharge cold plasma. Source of power (1), plasma chamber (2), grounded electrode (3), high voltage electrode (4), dielectric barriers (5), and oil sample (6)

شکل ۲- ستاپ پلاسما دی بی دی سطحی: منبع تغذیه (۱)، محفظه پلاسما (۲)، الکترود گراند (۳)، الکترود ولتاژ بالا (۴)، مانع دی الکتریک (۵)، نمونه روغن (۶)

- طراحی آزمایش هیدروژناسیون پلاسما دی بی دی سطحی

۲۰g نمونه روغن سویای خام به مدت ۱۳ ساعت تحت تیمار پلاسما دی بی دی سطحی در فشار اتمسفری و دمای محیط، ترکیب گازی ۵۰٪ H₂ - ۵۰٪ N₂، ولتاژ ۱۵ kV کیلوولت و فرکانس ۶ kHz با توان دستگاه ۵۰w و دیوتی سایکل ۱۰٪ قرار گرفتند. تیمارها در بیج‌های ۲۰^۲ دقیقه‌ای انجام شدند. بعد از هر بیج نمونه‌های روغن به مدت ۱۵ دقیقه خنک شدند و سپس تیمار مجدداً تا بیج بعدی ادامه یافت. این روند تا ۱۳ ساعت ادامه پیدا کرد. از نمونه‌های تیمار شده در بازه‌های زمانی ۰، ۱/۵، ۳، ۵، ۹ و ۱۳ ساعت نمونه برداری گردید. سپس آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی بر روی نمونه‌های تیمار شده انجام پذیرفت

¹ Seal

² Batch

- اندیس یدی

اندیس یدی نمونه‌ها به طور مستقیم از ترکیب اسیدهای چرب بدست آمده بوسیله کروماتوگرافی گازی (GC) با به کار بردن فرمول زیر محاسبه گردید (Kmiecik et al., 2021).

$$IV = (0.95 \times \%C16:1) + (0.86 \times \%C18:1) + (1.732 \times \%C18:2) + (2.616 \times \%C18:3) + (0.785 \times \%C20:1) + (0.732 \times \%C22:1)$$

- نقطه ذوب

اندازه‌گیری نقطه ذوب نمونه‌های تولیدی براساس لوله موین و روش Motamedzadegan و همکاران (۲۰۲۰)، با کمی تغییرات صورت گرفت. بدین منظور، نمونه‌ها تا 10°C بالاتر از نقطه ذوبشان حرارت داده شدند و سپس لوله موین در داخل ظرف نمونه فرو برده شد تا روغن حدود ۱cm از لوله موین بالا رود. سپس انتهای لوله‌های موین حاوی نمونه در بن ماری آب یخ فرو برده شد تا روغن جامد شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت در دمای $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ قرار داده شد. پس از گذشت این زمان لوله موین به دماسنج متصل و در یک بشر که حاوی آب مقطر با دمای حداقل 10°C کمتر از نقطه ذوب احتمالی نمونه است، قرار داده شد. دمای حمام با نرخ $0.5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{min}}$ افزایش یافت. زمانی که اولین لغزش نمونه به سمت بالا در لوله موین مشاهده گردید، به عنوان نقطه ذوب لغزشی نمونه در نظر گرفته شد (Motamedzadegan et al., 2020).

- ضریب شکست

ضریب شکست نمونه‌های مورد بررسی توسط رفرکتومتر (VEE GEE Scientific Abbe Refractometer Model C10, Vernon Hills, USA) در دمای 20°C اندازه‌گیری شد (Mukhametov et al., 2023).

- محتوای کاروتنوئید

به منظور بررسی محتوای کاروتنوئید نمونه‌ها از اسپکتروفتومتری و روش Corbu و همکاران (۲۰۲۰) با کمی تغییرات انجام پذیرفت. بدین منظور ۱ گرم از نمونه با ۱۰۰ میلی‌لیتر سیکلوهگزان به حجم رسانیده و سپس جذب محلول حاصله با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل PG Instrument Limited, model T80 plus, England)

در طول موج ۴۴۵ نانومتر در سلول کوارتز ۱ سانتی‌متری در مقابل سیکلوهگزان (به عنوان شاهد) اندازه‌گیری شد. محتوای کاروتنوئید نمونه‌های روغن بر حسب بتا کاروتن ($\frac{mg}{kg}$) مطابق با معادله ۱ محاسبه گردید (Corbu et al., 2020).

$$\text{معادله ۱} = \frac{V \times (AS - AB)}{0.2610 \times L \times W} = \text{محتوای کاروتنوئید}$$

V حجم به کار برده از نمونه (mL)، AS جذب نمونه‌ی تیمار شده، AB جذب نمونه شاهد، ۰,۲۶۱۰ ضریب خاموشی کاروتنوئید در سیکلوهگزان ($\frac{100 \text{ mL}}{\text{g} \times \text{cm}}$)، L طول سل کوارتز (cm)، W وزن نمونه (g)

- اندیس پراکسید

۵g از نمونه روغن در محلول اسید استیک-ایزواکتان حل شد و به آن محلول پتاسیم یدید اشباع اضافه گردید. سپس مخلوط حاصل با محلول تیوسولفات سدیم و محلول نشاسته به عنوان شناساگر تا بی رنگ شدن رنگ آبی تیترا شد. آزمایش فوق بدون روغن برای شاهد تکرار شد. مقدار پراکسید با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد:

$$\text{معادله ۲} = \frac{(S - B) \times N \times 1000}{W} = \text{اندیس پراکسید}$$

که S حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای نمونه‌های روغن (mL)، B حجم تیوسولفات سدیم مصرفی برای نمونه شاهد (mL)، N نرمالیت محلول تیوسولفات سدیم، W وزن نمونه مورد استفاده جهت اندازه‌گیری اندیس پراکسید (g). اندیس پراکسید به صورت میلی‌اکی والان پراکسید یا اکسیژن فعال موجود در یک کیلوگرم از نمونه روغن و یا چربی بیان می‌شود (Ghahjaverestani et al., 2022).

- محتوای استرول

تعیین میزان استرول تیمار ۱۳ ساعته بوسیله کروماتوگرافی گازی مجهز به ستون HP5 و آشکارکننده شعله‌ای طبق استاندارد ملی به شماره ۱۶۳۲۴ صورت پذیرفت.

- محتوای توکوفرول

شناسایی و تعیین میزان توکوفرول تیمار ۱۳ ساعته با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)

هیدروژناسیون روغن سویا با تکنیک پلاسما سرد با ترکیب گازی هیدروژن - نیتروژن

دارای آشکارساز uv-visible طبق استاندارد ملی شماره ۷۲۱۱ صورت پذیرفت.

- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق همه آزمون‌ها در سه تکرار بر پایه طرح کاملا تصادفی و در قالب آزمایش فاکتوریل انجام گرفتند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد. جهت مقایسه آماری ویژگی‌های روغن تولیدی از تجزیه واریانس یک طرفه (One-Way-ANOVA) استفاده گردید و سپس برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد و مقایسه‌های آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام پذیرفت. همچنین تمامی نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار ارائه گردیدند.

یافته‌ها

در جدول ۱ تغییرات در ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده در طی ۱۳ ساعت با ولتاژ ۱۵ kV و مخلوط گاز (۵۰٪ H₂ - ۵۰٪ N₂) نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که تاثیر فاکتور زمان بر روی تغییرات درصد ترکیب اسیدهای چرب در سطح ۹۵٪ معنی دار است. همچنین با استفاده از آزمون دانکن میانگین‌ها گروه بندی و مقایسه شدند.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد بیشترین محتوی اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (۵۸/۶۲٪) مربوط به نمونه شاهد می‌باشد و کمترین محتوی اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (۴۰/۲۴٪) مربوط به نمونه تیمار شده به مدت ۱۳ ساعت می‌باشد. در مقابل بیشترین محتوی اسیدهای چرب اشباع (۲۶/۰۴٪) و تک غیر اشباعی (۲۳/۱٪) مربوط به نمونه تیمار شده به مدت ۱۳ ساعت می‌باشد و کمترین محتوی اسیدهای چرب اشباع (۱۵/۹۶٪) و تک غیر اشباعی (۲۵/۳۶٪) مربوط به نمونه شاهد می‌باشد.

از زمان ۱/۵ ساعت، دو اسید چرب ترانس الایئیدیک اسید و لینوالاتیدیک اسید در مقادیر جزئی (۰/۲٪) شناسایی شدند و تا انتهای فرایند ۱۳ ساعته میزان آن‌ها تا حدود ۰/۸۵٪ افزایش یافتند.

در جدول ۲ تغییرات اندیس یدی نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده در طی ۱۳ ساعت با ولتاژ ۱۵ kV و مخلوط گاز (۵۰٪ H₂ - ۵۰٪ N₂) ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص شد بین میزان اندیس یدی نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده از لحاظ آماری تفاوت معنی داری وجود داشت (p<0/05). کمترین میزان اندیس یدی (۱۰۰/۴۵) مربوط به نمونه تیمار شده ۱۳ ساعته و بیشترین میزان اندیس یدی (۱۲۹/۶۴) مربوط به نمونه شاهد می‌باشد.

جدول ۱- ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده با پلاسما سرد دی بی دی سطحی طی ۱۳ ساعت

Table 1- Fatty acid composition of raw soybean oil samples treated with DBD cold plasma over 13 hours

Fatty acid(%)	Time (h)					
	0	1.5	3	5	9	13
C16:0	12.20±0.1 ^a	11.55±0.3 ^a	11.66±0.1 ^b	12.01±0.1 ^b	14.57±0.1 ^c	17.8±0.1 ^d
C18:0	3.76±0.2 ^a	4.31±0.1 ^b	4.55±0.1 ^b	5.81±0.2 ^c	6.69±0.2 ^d	7.24±0.2 ^e
C18:1-9t	0.00	0.13±0.05 ^b	0.21±0.03 ^c	0.3±0.05 ^d	0.35±0.05 ^d	0.45±0.05 ^e
C18:1-9c	25.36±0.4 ^a	26.47±0.1 ^b	26.78±0.09 ^b	28.02±0.2 ^c	30.23±0.2 ^d	32.65±0.1 ^e
C18:2-9t,12t	0.00	0.07±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	0.15±0.08 ^c	0.27±0.07 ^d	0.4±0.09 ^e
C18:2-9c,12c	51.5±0.6 ^a	51.25±0.09 ^b	49.68±0.1 ^c	45.42±0.1 ^d	40.38±0.1 ^e	36.04±0.1 ^f
C18:3c,12c,15c	7.12±0.8 ^a	6.09±0.1 ^b	5.56±0.2 ^c	5.1±0.2 ^d	4.6±0.2 ^e	3.8±0.4 ^f
SFAs*	15.96	14.86	16.21	17.82	21.26	26.04
MUFAs**	25.36	26.6	26.99	28.32	30.58	33.1
PUFAs***	58.62	57.41	55.32	50.67	45.25	40.24
Total Trans	-	0.2	0.29	0.45	0.62	0.85

Different letters in a row indicate a significant difference (p < 0.05).

*:saturated fatty acids, **: monounsaturated fatty acids, ***: polyunsaturated fatty acids

حروف متفاوت در یک ردیف بیانگر تفاوت معنی دار می باشد (p < 0.05)

*: اسیدهای چرب اشباع، **: اسیدهای چرب تک غیراشباعی، ***: اسیدهای چرب چند غیراشباعی

نمونه تیمار شده تا ۱۳ ساعت تفاوت معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$).

میزان توکوفرول در زمان‌های ۰ و ۱۳ ساعت اندازه‌گیری شد همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد بین میزان توکوفرول نمونه شاهد و نمونه تیمار شده تا ۱۳ ساعت تفاوت معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$). میزان توکوفرول‌ها در نمونه شاهد بیشتر از نمونه تیمار شده می‌باشد به صورتی که میزان آلفا توکوفرول در نمونه ۱۳ ساعت تیمار شده غیر قابل تشخیص می‌باشد.

میزان استرول در زمان‌های ۰ و ۱۳ ساعت اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد بین میزان استرول نمونه شاهد و نمونه تیمار شده تا ۱۳ ساعت تفاوت معنی داری وجود دارد ($p < 0.05$). میزان استرول کل حدود ۱۲/۱۶٪ کاهش یافت که بیشترین کاهش برای دلتا-۵ اونا استرول سپس کمپسترول و استیگماسترول می‌باشد.

بحث

- ترکیب اسیدهای چرب

نمونه روغن خام سویا به مدت ۱۳ ساعت تحت تیمار پلاسما دی بی دی سطحی در ترکیب گازی $50\% N_2$ - $50\% H_2$ قرار گرفت. ترکیب اسیدهای چرب نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت در جدول ۱ آورده شده است. مطابق نتایج حاصله، فاکتور تغییرات زمان در فرایند هیدروژناسیون نمونه روغن سویا خام، بر تغییرات درصد اسیدهای چرب معنادار بود ($P < 0.05$)؛ بطوریکه محتوای اسیدهای چرب چند غیر

میزان ضریب شکست نمونه شاهد و نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده طی ۱۳ ساعت با ولتاژ ۱۵ kV و مخلوط گاز ($50\% H_2 - 50\% N_2$) در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که تاثیر فاکتور زمان بر روی ضریب شکست در سطح ۹۵٪ معنی دار است. همچنین با استفاده از آزمون دانکن میانگین‌ها گروه بندی و مقایسه شدند. بین نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده (به جز نمونه تیمار شده به مدت ۱/۵ ساعت) تفاوت معنی داری وجود داشت. بیشترین میزان ضریب شکست مربوط به نمونه شاهد می‌باشد و کمترین ضریب شکست مربوط به نمونه تیمار شده به مدت ۱۳ ساعت می‌باشد.

در جدول ۲ میزان کارتنوئید نمونه شاهد و نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده طی ۱۳ ساعت با ولتاژ ۱۵ kV و مخلوط گاز ($50\% H_2 - 50\% N_2$) ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که تاثیر فاکتور زمان بر روی میزان کارتنوئید در سطح ۹۵٪ معنی دار است. بیشترین میزان کارتنوئید (۲۶/۳۸ ppm) مربوط به نمونه شاهد می‌باشد و کمترین میزان کارتنوئید (۶/۳۲ ppm) مربوط به نمونه تیمار شده به مدت ۱۳ ساعت می‌باشد.

نقطه ذوب نمونه‌ها در زمان‌های ۰، ۵ و ۱۳ ساعت اندازه‌گیری شد و مشخص گردید (جدول ۲) با افزایش زمان تیمار، نقطه ذوب نمونه‌های تیمار شده نیز به طور معنی داری افزایش یافت ($p < 0.05$).

اندیس پراکسید در زمان‌های ۰ و ۱۳ ساعت اندازه‌گیری شد و در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد بین میزان اندیس پراکسید نمونه شاهد و

جدول ۲- خواص فیزیکیوشیمیایی نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده با پلاسما سرد دی بی دی سطحی طی ۱۳ ساعت
Table 3- Physicochemical properties of crude soybean oil samples treated with DBD cold plasma over 13 hours

Physicochemical properties	Time(hour)					
	0	1.5	3	5	9	13
Iodine index	129.64±0.6 ^a	127.49±0.6 ^b	123.66±0.8 ^c	116.11±0.9 ^d	107.99±1.1 ^e	100.45±1.2 ^f
Refractive index	1.4672±0.0 ^a	1.4668±0.0 ^a	1.4663±0.0 ^b	1.4655±0.0 ^c	1.4644±0.0 ^d	1.464±0.0 ^e
Carotenoid(ppm)	26.38±0.4 ^a	15.7±0.2 ^b	14.05±0.4 ^c	10.5±0.1 ^d	8.75±0.1 ^e	6.32±0.1 ^f
sliding melting point (°C)	-	0±0.0 ^a	-	1.3±0.6 ^b	-	7±0.8 ^c
Peroxide index (meq O ₂ /kg oil)	2.4±0.4 ^a	-	-	-	-	5.8±0.6 ^b

Different letters in a row indicate a significant difference ($p < 0.05$).
حروف متفاوت در یک ردیف بیانگر تفاوت معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$)

اشباعی از ۵۸/۶۲٪ در نمونه شاهد به ۴۰/۲۴٪ در نمونه تیمار شده ۱۳ ساعته کاهش یافت. از طرفی محتوای اسیدهای چرب اشباع و تک غیراشباعی به ترتیب از ۱۵/۹۶٪ به ۲۶/۰۴٪ و از ۲۵/۳۶٪ به ۳۳/۱٪ در طی تیمار ۱۳ ساعت افزایش یافتند. همچنین مطابق نتایج حاصله دو اسید چرب ترانس الئیدیک اسید و لینوالاتیدیک اسید به طور جزئی از زمان ۱/۵ ساعت مشاهده گردید که در طی مدت زمان ۱۳ ساعت به طور معناداری تا حدود ۰/۸۵٪ افزایش یافتند؛ ولی این مقدار کمتر از روش سنتی (۲۴٪) بود. علت ایجاد جزئی اسیدهای چرب ترانس در تکنولوژی بدون حرارت و بدون کاتالیزور را نیز می‌توان به انرژی فعالسازی پایین نسبت داد، همچنین شکستن پیوند کوالانسی قوی بین اتم‌های نیتروژن به انرژی زیادی نیاز دارد. نتایج مشابهی در خصوص تغییرات اسیدهای چرب اشباع، تک اشباعی و چند اشباعی توسط Yopez & Keener (۲۰۱۶)، گزارش شده است که بیان کردند با استفاده از پلاسما سرد اتمسفر با ولتاژ بالا هیچ اسید چرب ترانس قابل اندازه گیری شناسایی نشد. Wongjaikham و همکاران (۲۰۲۲)، نیز نتایج مشابهی در خصوص اسیدهای چرب ترانس در تحقیق تولید مارگارین کم چرب با هیدروژنه کردن جزئی روغن پالم با استفاده از روش پلاسما سرد مایکروویو ارائه کردند.

- اندیس یدی

فساد اکسیداتیو روغن‌ها با اندیس یدی ارتباط مستقیمی دارد به طوری که روغن‌های با اندیس یدی بالاتر مستعد فسادپذیری بیشتری می‌باشند. اندیس یدی غیراشباعیت روغن‌ها را هنگامی که باندهای دوگانه آن‌ها از نوع غیرمزدوج باشند، نشان می‌دهد. اندیس یدی یکی از شاخص‌های اصلی بررسی روند واکنش هیدروژناسیون می‌باشد زیرا که کاهش اندیس یدی نشان دهنده کاهش باندهای دوگانه اسیدهای چرب غیراشباع در روغن می‌باشد. اندیس یدی نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج حاصله، مدت زمان فرایند هیدروژناسیون نمونه روغن سویا خام، تغییرات اندیس یدی معنادار بود ($P < 0.05$)؛ بطوریکه با گذشت مدت زمان ۱۳ ساعت هیدروژناسیون، اندیس یدی نمونه‌ها از ۱۲۹/۶۴ به

۱۰۰/۴۵ کاهش یافت. اندیس یدی پایین به معنای محتوای چربی غیر اشباع پایین می‌باشد. در واقع اندیس یدی روغن خام سویا ضریب همبستگی مثبتی با مقدار اسید چرب لینولئیک و لینونیک (اسیدهای چرب چند غیراشباعی) دارد که با اشباع شدن این اسیدهای چرب و کاهش آن‌ها طی هیدروژناسیون، اندیس یدی نیز کاهش می‌یابد (Puprasit et al., 2020). Niveditha و همکاران (۲۰۲۳)، نتایج مشابهی در خصوص کاهش اندیس یدی در مطالعه تأثیر پلاسما سرد بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و خواص حرارتی روغن پالم ارائه کردند. همچنین نتایج در تطابق با نتایج پژوهش Kongprawes و همکاران (۲۰۲۱)، بهبود پایداری اکسیداسیون متیل استرهای اسید چرب مشتق شده از روغن سویا از طریق هیدروژناسیون جزئی با استفاده از پلاسما تخلیه سد دی الکتریک بود.

- ضریب شکست

ضریب شکست یکی از پارامترهای اصلی و فیزیکی مهم در ارزیابی کیفیت روغن است و بستگی به دما، درجه اشباع و مزدوج شدن، طول زنجیره اسید چرب و همچنین وزن مولکولی دارد. ضریب شکست نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت در جدول ۲ آورده شده است. مطابق نتایج حاصله، مدت زمان فرایند هیدروژناسیون، بر ضریب شکست نمونه‌های روغن سویا خام معنادار بود ($P < 0.05$)؛ بطوریکه با گذشت مدت زمان ۱۳ ساعت هیدروژناسیون، ضریب شکست نمونه‌ها از ۱/۴۶۷۲ به ۱/۴۴۰۰ کاهش یافت. علت کاهش ضریب شکست نمونه‌ها در طی تیمار ۱۳ ساعت را می‌توان به دلیل اشباع شدن باندهای دوگانه اسیدهای چرب و در نتیجه کاهش آن‌ها نسبت داد (Niveditha et al., 2023). نتایج در تطابق با نتایج Yopez و همکاران (۲۰۲۰)، در هیدروژناسیون روغن سویا با گاز هیدروژن توسط پلاسما سرد بود.

- محتوای کاروتنوئید

محتوای کاروتنوئید نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت در جدول ۲ آورده شده است. مطابق نتایج حاصله، مدت زمان فرایند هیدروژناسیون، بر این پارامتر معنادار بود ($P < 0.05$)؛

تطابق با نتایج Puprasit و همکاران (۲۰۲۲)، در فرآیند هیدروژناسیون بهبود یافته برای تولید مارگارین بدون تشکیل اسید چرب ترانس توسط پلاسمای سرد می‌باشد.

- اندیس پراکسید

مطابق نتایج حاصله در جدول ۲، اندیس پراکسید نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسمای سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت، در دو زمان شامل ۰ و ۱۳ ساعت مورد بررسی قرار گرفت که افزایش معناداری در اندیس پراکسید مشاهده گردید ($P < 0.05$)؛ بطوریکه اندیس پراکسید از ۲/۴ به ۵/۸ $\text{meq O}_2/\text{kg oil}$ طی تیمار ۱۳ ساعت افزایش یافت ولی با این حال این میزان کمتر از میزان توصیه شده استاندارد برای محتوای پراکسید (۱۰ میلی‌اکی‌والان بر کیلوگرم) در روغن‌های گیاهی بود. نتایج مشابهی در این خصوص توسط Gebremical و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیق اثرات پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک سطحی مولتی هالو^۱ در روغن بادام زمینی ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصله و مطالعات، پراکسیدها مخلوطی از ترکیبات فرار مانند آلدئیدها، هیدروکربن‌ها، کتون‌ها، استرها و الکل‌ها هستند و در واقع محصولات میانی اکسیداسیون روغن محسوب می‌شوند؛ بطوریکه تحت تأثیر عوامل زیادی نظیر اکسیژن، نوع روغن، ترکیب اسیدهای چرب، درجه غیر اشباعیت اسیدهای چرب و دما می‌باشند (Rodrigues *et al.*, 2016).

اگرچه روغن مورد استفاده در این بخش از تحقیق روغن خام سویا بود که به دلیل داشتن اسید لینولئیک بسیار بالا بسیار مستعد اکسید شدن توسط اکسیژن و دما است، اما نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در این تیمار پلاسمای سرد دی بی دی سطحی مقدار پراکسید به میزان کمی افزایش یافته است که این نتیجه را می‌توان با دلایل زیر توضیح داد:

قبل از تیمار با پلاسمای سرد دی بی دی سطحی، داخل محفظه تیمار با گاز هیدروژن خالص با نرخ جریان ۴ لیتر در دقیقه به مدت ۱ دقیقه برای حذف گاز اکسیژن پرچ شد. در واقع، یکی از اهداف حذف گاز اکسیژن، جلوگیری از تشکیل گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن بود که واکنش‌های اکسیداسیون را آغاز می‌کنند (پیز و همکاران، ۲۰۲۰).

بطوریکه با گذشت مدت زمان ۱۳ ساعت هیدروژناسیون، محتوای کاروتنوئید نمونه‌ها از ۲۶/۳۸ ppm به ۶/۳۲ ppm کاهش یافت. علت کاهش محتوای کاروتنوئید را می‌توان هیدروژنه شدن باندهای دوگانه کاروتنوئید در طی فرآیند هیدروژناسیون عنوان کرد (Amorim *et al.*, 2023; Fernandes *et al.*, 2019).

همچنین یک تغییر رنگ واضح در رنگ نمونه‌ها پس از تیمار پلاسمای سرد قابل مشاهده بود از آنجاییکه رنگ کاروتنوئیدها ناشی از سیستم‌های پیوند دوگانه مزدوج ساختار آن می‌باشد، اشباع شدن این پیوندها در طی فرآیند هیدروژناسیون نیز منجر به بی رنگ شدن آن‌ها می‌گردد. اما رنگدانه کلروفیل انحصاراً در مرحله رنگبری روغن بوسیله خاک رنگبری حذف می‌گردد و در مرحله هیدروژناسیون تغییری نمی‌کند. بنابراین بعد از هیدروژناسیون پلاسمای سرد دی بی سطحی، رنگدانه کاروتنوئید بی رنگ شده و رنگدانه‌های کلروفیل موجود در روغن مورد مطالعه منجر به تشدید رنگ سبز کلروفیلی در نمونه‌های روغن تیمار شده می‌گردد. این یافته‌ها پیشنهاد می‌کنند که پلاسمای سرد دی بی دی سطحی می‌تواند به طور موثری برای هیدروژناسیون روغن همراه با رنگبری کاروتنوئیدها به کار رود (Marshall and Olcott, 2010).

نقطه ذوب

به‌طور کلی یکی از اهداف اصلی هیدروژناسیون روغن سویا بالا بردن نقطه ذوب و افزایش دامنه کاربردی آن می‌باشد. نقطه ذوب یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی چربی‌ها جهت کنترل کیفی و ساخت محصولات چرب است. مطابق نتایج حاصله در جدول ۲، نقطه ذوب نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسمای سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت، در سه زمان شامل ۱/۵، ۵ و ۱۳ ساعت مورد بررسی قرار گرفت؛ که افزایش معناداری در میزان نقطه ذوب مشاهده گردید ($P < 0.05$)؛ بطوریکه بیشترین میزان نقطه ذوب (حدود 7°C) در نمونه تیمار شده ۱۳ ساعته مشاهده شد؛ علت این افزایش به دلیل محتوای بالای اسیدهای چرب اشباع در اثر هیدروژناسیون با تکنیک پلاسمای می‌باشد؛ که منجر به افزایش نقطه ذوب می‌گردد (Yepez *et al.*, 2020). نتیجه ارائه شده در

¹ Multihollow Surface Dielectric Barrier Discharge Plasma

هنگامی که فشار جزئی اکسیژن در فضای بالای ظرف (head space) پایین باشد، مقدار کمی اکسیژن می‌تواند در روغن حل شود و در نتیجه سرعت اکسیداسیون روغن کاهش می‌یابد (Zhang et al., 2021).

علاوه بر این دمای تیمار به عنوان یک عامل تسریع کننده اکسیداسیون در طی این تیمار پلاسما با طراحی بیج‌های ۲۰ دقیقه کنترل شدند. به گونه‌ای که پس از هر بیج ۲۰ دقیقه، نمونه‌های تیمار شده روغن به مدت ۱۵ دقیقه خنک شدند و سپس تیمار تا پایان بیج بعدی ادامه یافت. با اینحال افزایش اندک دما به دلیل اینکه فرایند هیدروژناسیون یک فرایند گرمازا می‌باشد، غیر قابل اجتناب می‌باشد.

همچنین این امر مشخص است که زمانی که باندهای دوگانه در اسیدهای چرب غیراشباع نمونه‌های روغن در طی تیمار دی بی دی سطحی هیدروژنه شوند، متعاقباً نمونه‌های روغن میزان کمتری از باندهای دوگانه در دسترس برای واکنش با اکسیژن خواهند داشت. بنابراین می‌توان گفت که احتمال رخداد اکسیداسیون با افزایش زمان تیمار کاهش می‌یابد با این حال، استراتژی‌های بیشتری، مانند افزودن آنتی‌اکسیدان و طراحی یک محفظه کاملاً مهر و موم شده برای جلوگیری از ورود اکسیژن، می‌تواند برای افزایش پایداری اکسیداتیو روغن مورد استفاده قرار گیرد (Yepez et al., 2020).

- توکوفرول

مطابق نتایج حاصله در جدول ۳، محتوای توکوفرول، نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت، در دو زمان شامل ۰ و ۱۳ ساعت مورد بررسی قرار گرفت که کاهش معناداری در این پارامتر مشاهده گردید ($P < 0.05$)؛ بطوریکه بیشترین و کمترین مقدار در انواع مختلف توکوفرول به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه ۱۳ ساعت بود؛ همچنین براساس نتایج و جدول ۳، بیشترین درصد کاهش مربوط به آلفا توکوفرول بود و سپس گاما توکوفرول حدود ۹۶٪ و در نهایت دلتا توکوفرول کمترین درصد کاهش یعنی حدود ۸۶٪ را داشتند.

در واقع توکوفرول‌ها مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی موجود در روغن‌های گیاهی هستند. نحوه عمل

آن‌ها عمدتاً به دلیل توانایی مهار انتشار رادیکال‌های آزاد از طریق اهدای هیدروژن از گروه فنلی خود به رادیکال‌های پراکسی به منظور تثبیت آن‌ها است. در سیستم‌های بیولوژیکی فعالیت آنتی‌اکسیدانی توکوفرول‌ها در مقابل پراکسیداسیون لیپیدها به صورت $\delta < \gamma < \beta < \alpha$ می‌باشد. همچنین توکوفرول‌ها خاصیت ضد پلیمریزاسیونی نیز دارند، مخصوصاً گاما توکوفرول بیشتر از آلفا توکوفرول این خاصیت را در روغن‌های سرخ کردنی نشان می‌دهد (Belitz et al., 2008).

آلفا توکوفرول نسبت به سایر توکوفرول‌ها سریع‌تر با رادیکال‌های پروکسی واکنش نشان می‌دهد و مصرف می‌شود در مقابل گاما توکوفرول اثربخشی بیشتری نسبت به آلفا توکوفرول در خاصیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد پلیمریزاسیونی دارند. راندمان بالاتر گاماتوکوفرول در مقایسه با آلفا توکوفرول مبتنی بر پایداری بالاتر گاما توکوفرول و محصولات مختلف واکنشی تشکیل شده در طول واکنش آنتی‌اکسیدانی است. دلتا توکوفرول نیز از گاما توکوفرول پایداری بیشتر دارد پس قاعدتاً مقدار بیشتری از آن بایستی در طی فرایندهای اتواکسیداسیون و پلیمریزاسیون باقی بماند که با توجه به بررسی داده‌های جدول ۳ می‌توان دریافت که در این تحقیق نیز روند تغییرات توکوفرول‌ها به همین صورت می‌باشد (Steel, 2005).

بنابراین این کاهش را می‌توان بدین صورت توجیه نمود که روغن سویا دارای اسیدهای چرب غیر اشباع بالایی است. بنابراین توکوفرول‌ها به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های اهداکننده هیدروژن در برابر رادیکال‌های لیپیدی عمل کنند. به طور کلی پایداری و اثربخشی توکوفرول‌ها در واکنش‌های اکسیداسیونی و پلیمریزاسیونی به ترتیب از آلفا توکوفرول تا گاماتوکوفرول افزایش می‌یابند. در این بخش از مطالعه نیز آلفا توکوفرول و گاماتوکوفرول سریعتر از دلتا توکوفرول مصرف یا تجزیه شدند. (Kasprzak et al., 2020) نتایج مشابهی در خصوص اثرات تیمار پلاسما بر پایداری اکسیداتیو روغن گیاهی ذرت توسط Na و همکاران در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است.

با توجه به مطالعات پیشین انجام شده می‌توان گفت پایداری حرارتی توکوفرول‌ها متفاوت است به گونه‌ای که پایداری حرارتی دلتا و بتا توکوفرول‌ها بیشتر از آلفا و گاما

هیدروژناسیون اشباع گردیده و میزان استرول‌ها کاهش می‌یابد ولی در خصوص استرول‌های فاقد باند دوگانه در زنجیره جانبی خود مانند کمپسترول دلیل کاهش آن‌ها طی تیمار هیدروژناسیون پلاسما می‌تواند مربوط به باز شدن حلقه سیکلوپروپان باشد (Kmiecik *et al.*, 2021).

بدین صورت که دلتا ۵ اونا استرول حاوی باند دوگانه در زنجیره جانبی خود می‌باشد که ممکن است طی فرایند هیدروژناسیون علاوه بر هیدروژنه شدن این باند دوگانه، به ایزومر موقعیتی خود یعنی دلتا ۷ اونا استرول نیز تبدیل شود. استیگما استرول نیز ممکن است در طی هیدروژناسیون دو ایزومر تولید کند و در صورت هیدروژنه شدن باند دوگانه موجود در زنجیره جانبی خود، بتاسیتوسترول تولید نماید، همچنین با هیدروژنه شدن حلقه سیکلوپروپان موجود در ساختار آن ممکن است، دلتا ۲۲ استیگماستنول ایجاد شود (Kmiecik *et al.*, 2020; Phillip *et al.*, 2002).

اما در خصوص کمپسترول فاقد باند دوگانه در زنجیره جانبی با باز شدن حلقه سیکلوپروپان در طی هیدروژناسیون تبدیل به کمپستانول می‌گردد.

بین میزان دلتا ۷ استیگماستول، دلتا ۷ اونا استرول و بتاسیتوسترول در نمونه تیمار نشده و تیمار شده تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما همانطور که در بالا ذکر گردید دلیل افزایش اندک غیر معنی دار دلتا ۷ اونا استرول و بتاسیتوسترول می‌تواند به ترتیب تبدیل دلتا ۵ اونا استرول به دلتا ۷ اونا استرول و استیگما استرول به بتاسیتوسترول در طی فرایند هیدروژناسیون باشد (Duttal & Appelqvist, 1996).

توکوفرول‌ها است و آلفا توکوفرول زودتر از سایر توکوفرول‌ها در اثر حرارت از بین می‌رود. بنابراین ممکن است بخشی از توکوفرول‌ها نیز در اثر تجزیه حرارتی از بین رفته باشند. گاما توکوفرول‌ها نسبت به آلفا توکوفرول پایداری گرمایی بیشتری دارند که این موضوع مطابق با مطالعات قبلی می‌باشد که در آن‌ها ثابت شده بود که میزان تجزیه حرارتی توکوفرول‌ها به ترتیب $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ است و در مطالعه ای دیگر گفته شده است که آلفا توکوفرول سریع‌تر از گاما توکوفرول مصرف می‌شود. بنابراین گاما توکوفرول ممانعت‌کننده بهتری برای پلیمریزاسیون نسبت به آلفا توکوفرول در طی ترمواکسیداسیون می‌باشد (Steel, 2005; Lampi, 1998).

در نهایت می‌توان گفت دلیل کاهش توکوفرول‌ها در طی فرایند هیدروژناسیون پلاسما، عمل کردن به نقش آنتی‌اکسیدانی خود جهت جلوگیری از پیشروی اکسیداسیون می‌باشد.

- استرول

مطابق نتایج حاصله در جدول ۴، میزان استرول، نمونه‌های روغن سویا تیمار شده با پلاسما سرد در طی مدت زمان ۱۳ ساعت، در دو زمان شامل ۰ و ۱۳ ساعت مورد بررسی قرار گرفت که کاهش معناداری در این پارامتر مشاهده گردید ($P < 0.05$)؛ بطوریکه بیشترین کاهش مقدار در انواع مختلف استرول به ترتیب مربوط به دلتا-۵ اونا استرول (۳۵/۴۶٪)، استیگما استرول (۲۳/۴۷٪)، کمپسترول (۲۳/۴۶٪) و براسیکااسترول (۲۲/۴۰٪) بود. علت این کاهش می‌تواند به دلیل وجود باند دوگانه در زنجیره جانبی ساختار استرول‌ها به جز کمپسترول باشد که در اثر

جدول ۳- تغییرات میزان توکوفرول نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده با پلاسما سرد دی بی دی سطحی طی ۱۳ ساعت
Table 4- Changes in the amount of tocopherol in crude soybean oil samples treated with DBD cold plasma over 13 hours

Type of tocopherol	Time (hour)	
	0	13
(ppm) Alpha tocopherol	190.2±2 ^a	ND
(ppm) Gamma tocopherol	1026.21±63 ^a	34.7±1.7 ^b
(ppm) Delta tocopherol	381.99±21 ^a	3 ^b ±50.67

Different letters in a row indicate a significant difference ($p < 0.05$).
حروف متفاوت در یک ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$)

این پژوهش به بررسی اثر استفاده از پلاسما سرد DBD سطحی بر کیفیت و هیدروژناسیون روغن سویای خام پرداخته شد. نتایج حاصله نشان داد که در اثر استفاده از پلاسما سرد DBD سطحی، اسیدهای چرب غیر اشباع، محتوای کاروتنوئید، ضریب شکست، اندیس یدی، محتوای توکوفرول، میزان استرول به طور معناداری کاهش و اسیدهای چرب اشباع، اندیس پراکسید و نقطه ذوب افزایش یافتند ($p < 0.05$). همچنین اسیدهای چرب ترانس به صورت خیلی جزئی مشاهده گردید. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده، می‌توان از تیمار ۱۳ ساعته پلاسما دی‌بی‌دی سطحی با ولتاژ ۱۵ کیلوولت و ترکیب گازی هیدروژن ۵۰٪ و نیتروژن ۵۰٪ به عنوان تکنیک و فناوری نوین در هیدروژناسیون و احتمالاً رنگبری روغن‌های گیاهی استفاده کرد و محصولی با میزان اسید چرب ترانس محدود در سبب غذایی ارائه نمود.

منابع

Adu-Mensah, D., Mei, D., Zuo, L., Zhang, Q. & Wang, J. (2019). A review on partial hydrogenation of biodiesel and its influence on fuel properties. *Fuel*, 251, 660-668. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.036>.

Amorim, D. S., Amorim, I. S., Chisté, R. C., Teixeira Filho, J., Fernandes, F. A. N. & Godoy, H. T. (2023). Effects of cold plasma on chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 112593. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112593>.

در مطالعات Kmiecik و همکاران (۲۰۲۰) و Phillip و همکاران (۲۰۰۲) نشان داده شده است که هیدروژناسیون صنعتی روغن‌های گیاهی می‌تواند باعث کاهش و اصلاح محتوی و ترکیب استرول‌ها به ویژه تبدیل استرول‌ها به همتایان اشباع شده خود، یعنی استانول‌ها گردد و در این مطالعات نیز کاهش در میزان استرول‌های حاوی باند دوگانه در زنجیره جانبی بیشتر از سایر استرول‌ها بود. همچنین تجزیه حرارتی و اکسیداسیون استرول‌ها عوامل دیگری هستند که منجر به تجزیه استرول‌ها به محصولات دیگر و در نتیجه کاهش آن‌ها می‌گردد. اکسیداسیون استرول‌ها به فاکتورهایی مانند دما، زمان فرایند، ترکیب اسیدهای چرب، نوع استرول‌های موجود (استری شده یا آزاد) بستگی دارد. به عنوان مثال Oehrl و همکاران، در طول ۲۰ ساعت حرارت دادن روغن با ترکیبات اسیدهای چرب مختلف، در دماهای 150°C و 180°C درجه‌سانتی‌گراد، تلفات بسیار شدید بتا سیتوسترول و کمپسترول را مشاهده نمودند (Oehrl *et al.*, 2001).

نتیجه‌گیری

امروزه، به علت افزایش نگرانی در مورد اکسیداسیون روغن‌های حاوی اسیدهای چرب چند غیر اشباعی و همچنین محدودیت کاربرد آن‌ها، هیدروژناسیون جزئی آن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است؛ اما از سوی دیگر به دلیل ایجاد میزان بالایی از اسید چرب ترانس در روش سنتی، استفاده از این روش محدود شده است. از این رو در

جدول ۴- تغییرات میزان استرول نمونه‌های روغن سویا خام تیمار شده با پلاسما سرد دی بی دی سطحی طی ۱۳ ساعت

Table 5- Changes in sterol content of raw soybean oil samples treated with DBD cold plasma over 13 hours

Type of sterol	Time (hour)	
	0	13
Total sterol (ppm)	2636.51±73 ^a	2315.86±62 ^b
Campesterol (ppm)	532.57±25 ^a	407.58±20 ^b
Stigma sterol (ppm)	511.21±32 ^a	391.22±20 ^b
Betasitosterol (ppm)	1334.86±68 ^a	1315.87±65 ^a
Delta 5 on a sterol (ppm)	76.45±7 ^a	49.34±5 ^b
Delta 7 on a sterol (ppm)	31.11±2 ^a	26.11±1 ^b
Brassica sterol (ppm)	24.50±1 ^a	19.01±0.9 ^b
Delta 7 stigmaterol (ppm)	67.23±8 ^a	55.20±2 ^a
Delta 5 and 24 Stigma Ostadi Atoll (ppm)	47.45±1 ^a	42.46±0.8 ^b
other (ppm)	11.07±0.7 ^a	9.07±0.6 ^b

Different letters in a row indicate a significant difference ($p < 0.05$).

حروف متفاوت در یک ردیف بیانگر تفاوت معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$)

- Bajaniya, V. K., Kandoliya, U. K., Bodar, N. H., Bhadja, N. V. & Golakiya, B. A. (2015). Fatty acid profile and phytochemical characterization of bael seed (*Aegle marmelos* L.) oil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 97-102.
- Breden, D., Idicheria, C. A., Keum, S., Najt, P. M. & Raja, L. L. (2018). Modeling of a dielectric-barrier discharge-based cold plasma combustion ignition system. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 47(1), 410-418. <https://doi.org/10.1109/TPS.2018.2882830>.
- Covaciu, F. D., Berghian-Grosan, C., Feher, I. & Magdas, D. A. (2020). Edible oils differentiation based on the determination of fatty acids profile and Raman spectroscopy—a case study. *Applied Sciences*, 10(23), 8347. <https://doi.org/10.3390/app10238347>.
- Feizollahi, E., Misra, N. N. & Roopesh, M. S. (2021). Factors influencing the antimicrobial efficacy of dielectric barrier discharge (DBD) atmospheric cold plasma (ACP) in food processing applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(4), 666-689. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1743967>.
- Fernandes, F. A., Santos, V. O. & Rodrigues, S. (2019). Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, 115, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.042>.
- Figuerola-Pinochet, M. F., Castro-Alija, M. J., Tiwari, B. K., Jiménez, J. M., López-Vallecillo, M., Cao, M. J. & Albertos, I. (2022). Dielectric Barrier Discharge for Solid Food Applications. *Nutrients*, 14(21), 4653. <https://doi.org/10.3390/nu14214653>.
- Gebremical, G. G., Emire, S. A. & Berhanu, T. (2019). Effects of multihollow surface dielectric barrier discharge plasma on chemical and antioxidant properties of peanut. *Journal of Food Quality*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3702649>
- Indiarto, R. & Qonit, M. A. H. (2020). A review of soybean oil lipid oxidation and its prevention techniques. *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29(6), 5030-5037.
- Kasprzak, M. (2020). The degradation of bioactive compounds and formation of their oxidation derivatives in refined rapeseed oil during heating in model system. *Lwt*, 123, 109078. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109078>.
- Kehili, M., Choura, S., Zammel, A., Allouche, N. & Sayadi, S. (2018). Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chemistry*, 246, 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.034>.
- Kmiecik, D., Fedko, M., Rudzińska, M., Siger, A., Gramza-Michałowska, A. & Kobus-Cisowska, J. (2021). Thermooxidation of phytosterol molecules in rapeseed oil during heating: The impact of unsaturation level of the oil. *Foods*, 50, 1-14. <https://doi.org/3390/foods10010050>
- Kongprawes, G., Wongsawaeng, D., Hosemann, P., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W. & Assabumrungrat, S. (2021). Improvement of oxidation stability of fatty acid methyl esters derived from soybean oil via partial hydrogenation using dielectric barrier discharge plasma. *International Journal of Energy Research*, 45(3), 4519-4533. <https://doi.org/10.1002/er.6121>
- Laguerre, M., Bayrasy, C., Panya, A., Weiss, J., McClements, D. J., Lecomte, J. & Villeneuve, P. (2015). What makes good antioxidants in lipid-based systems? The next theories beyond the polar paradox. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(2), 183-201. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.650335>.
- Laroque, D. A., Seó, S. T., Valencia, G. A., Laurindo, J. B. & Carciofi, B. A. M. (2022). Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. *Journal of Food Engineering*, 312, 110748. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110748>
- Misra, N. N., Pankaj, S. K., Segat, A. & Ishikawa, K. (2016). Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110748>
- Motamedzadegan, A., Dehghan, B., Nemati, A., Tirgarian, B. & Safarpour, B. (2020). Functionality improvement of virgin coconut oil through physical blending and chemical interesterification. *SN Applied Sciences*, 2, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03309-6>
- Mukhametov, A., Mamayeva, L., Kazhymurat, A., Akhlan, T. & Yerbulekova, M. (2023). Study of vegetable oils and their blends using infrared reflectance spectroscopy and refractometry. *Food Chemistry: X*, 17, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100386>
- Na, H., Mok, C. & Lee, J. (2020). Effects of plasma treatment on the oxidative stability of vegetable oil containing antioxidants. *Food chemistry*, 302, 125306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125306>.
- Nayebzadeh, H., Haghighi, M., Saghatoleslami, N., Alaei, S. & Yousefi, S. (2019). Texture/phase evolution during plasma treatment of microwave-combustion synthesized KOH/Ca12Al14O33-C nanocatalyst for reusability enhancement in conversion of canola oil to biodiesel. *Renewable Energy*, 139, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.122>
- Niveditha, N. V., Jadhav, H. B., Ahlawat, A., Kalaiwendan, R. G. T. & Annature, U. S. (2023). Effect of cold plasma processing on physicochemical characteristics and thermal properties of palm oil. *Future Foods*, 7, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100231>

- Pankaj, S. K., & Keener, K. M. (2017). Cold plasma: Background, applications and current trends. *Current Opinion in Food Science*, 16, 49-52. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.07.008>
- Pankaj, S. K., Wan, Z., & Keener, K. M. (2018). Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, 7(1), 4. <https://doi.org/10.3390/foods7010004>
- Peng, P., Chen, P., Schiappacasse, C., Zhou, N., Anderson, E., Chen, D., ... & Ruan, R. (2018). A review on the non-thermal plasma-assisted ammonia synthesis technologies. *Journal of cleaner production*, 177, 597-609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.229>
- Puprasit, K., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W. & Assabumrungrat, S. (2022). Improved hydrogenation process for margarine production with no trans fatty acid formation by non-thermal plasma with needle-in-tube configuration. *Journal of Food Engineering*, 334, 111167. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111167>
- Puprasit, K., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W. & Assabumrungrat, S. (2020). Non-thermal dielectric barrier discharge plasma hydrogenation for production of margarine with low trans-fatty acid formation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102511. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102511>
- Rezaei, F., Bakhshi, D., Ghazvini, R. F., Majd, D. J. & Pourghayoumi, M. (2014). Evaluation of fatty acid content and nutritional properties of selected native and imported hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties grown in Iran. *Journal of applied botany and food quality*, 87. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.016>
- Rodrigues, N., Dias, L. G., Veloso, A. C., Pereira, J. A. & Peres, A. M. (2016). Monitoring olive oils quality and oxidative resistance during storage using an electronic tongue. *LWT*, 73, 683-692. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.002>
- Sirati, Z., Gharachorloo, M., Ghomi, H. & Azizinezhad, R. (2023). Production of partially hydrogenated soybean oil with low trans-fatty acids using surface dielectric barrier discharge cold plasma. *Food Science and Technology International*, 1-11. <https://doi.org/10.1177/10820132231186172>
- Subroto, E. & Qonit, M. A. H. (2020). Modification of soy protein for the production of bioactive peptides and their utilization. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 9(2), 3121-3127.
- Subroto, E., Pangawikan, A. D., Yarlina, V. P. & Isnaeni, N. F. (2020). Characteristics, purification, and the recent applications of soybean oil in fat-based food products: a review. *International Journal*, 8(7). <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/20872020>
- Suwal, S., Coronel-Aguilera, C. P., Auer, J., Applegate, B., Garner, A. L. & Huang, J. Y. (2019). Mechanism characterization of bacterial inactivation of atmospheric air plasma gas and activated water using bioluminescence technology. *Innovative food science & emerging technologies*, 53, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.007>
- Szabó, É., Csölle, I., Felső, R., Kuellenberg de Gaudry, D., Nyakundi, P. N., Ibrahim, K. & Lohner, S. (2023). Benefits and Harms of Edible Vegetable Oils and Fats Fortified with Vitamins A and D as a Public Health Intervention in the General Population: A Systematic Review of Interventions. *Nutrients*, 15(24), 5135. <https://doi.org/10.3390/nu15245135>
- Teasdale, S. B., Marshall, S., Abbott, K., Cassettari, T., Duve, E. & Fayet-Moore, F. (2022). How should we judge edible oils and fats? An umbrella review of the health effects of nutrient and bioactive components found in edible oils and fats. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(19), 5167-5182. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1882382>
- Thirumdas, R., Kadam, D. & Annapure, U. S. (2017). Cold plasma: An alternative technology for the starch modification. *Food Biophysics*, 12, 129-139. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9468-5>
- Wongjaikham, W., Kongprawes, G., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W., Hosemann, P. & Assabumrungrat, S. (2022). Production of low trans-fat margarine by partial hydrogenation of palm oil using nature-friendly and catalyst-free microwave plasma technique. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103107>
- Wongjaikham, W., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W. & Assabumrungrat, S. (2023). Review of Non-Thermal Plasma Technology for Hydrogenation of Vegetable Oils and Biodiesel. *Engineering Journal*, 27(5), 1-27. <https://doi.org/10.4186/ej.2023.27.5.1>
- Yepez, X. V. & Keener, K. M. (2016). High-voltage atmospheric cold plasma (HVACP) hydrogenation of soybean oil without trans-fatty acids. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38, 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.001>
- Yepez, X. V., Baykara, H., Xu, L. & Keener, K. M. (2021). Cold plasma treatment of soybean oil with hydrogen gas. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(1), 103-113. <https://doi.org/10.1002/aocs.12416>
- Yepez, X., Baykara, H., Xu, L. & Keener, K. (2020). Atmospheric Cold Plasma Treatment of Soybean Oil with Hydrogen Gas. *Authorea Preprints*. <https://doi.org/10.22541/au.159164063.35976485>

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم در دسر شیری فراسودمند حاوی ژل آلئوورا

شمیم برنده^a، مرجانه صداقتی^{b*}

^aدانش آموخته دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^bاستادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

چکیده

مقدمه: این تحقیق با هدف بررسی امکان تولید دسر شیری فراسودمند حاوی ژل آلئوورا با خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی قابل قبول انجام شد.

مواد و روش‌ها: برای تولید دسر شیری از ژل آلئوورا در چهار سطح ۰، ۳٪، ۶٪ و ۹٪ استفاده گردید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، آب‌اندازی و ویسکوزیته)، خصوصیات رئولوژیکی (آزمون نوسانی پویا)، خصوصیات حسی و زنده‌مانی باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم در طول ۲۰ روز نگهداری در یخچال مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل مشخص کرد افزودن ژل آلئوورا سبب کاهش pH نمونه‌های دسر شیری شد. حداکثر پایداری نمونه‌های دسر شیری در نمونه T3 که حاوی ۹٪ ژل آلئوورا بود، مشاهده شد. نتایج حاصل مشخص کرد در کلیه نمونه‌ها ویسکوزیته با افزایش غلظت ژل آلئوورا به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). اگرچه افزودن ژل آلئوورا، میزان زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم نمونه‌های تیمار را به طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد افزایش داد، در طول زمان نگهداری میزان زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم کاهش معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). در ارزیابی خصوصیات رئولوژیکی مشخص شد با افزایش غلظت ژل آلئوورا مدول ذخیره (G')، مدول ویسکوز (G'') افزایش و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) کاهش یافت. در ارزیابی حسی مشخص شد از نظر ارزیاب‌ها تیمار T2 (حاوی ۶٪ ژل آلئوورا) در بین تیمارهای مورد آزمون بیشترین مقبولیت را دارا بود. به نظر می‌رسد کاهش آب‌اندازی در تیمار دوم و ویسکوزیته بالاتر آن در مقایسه با سایر تیمارها در افزایش مقبولیت آن موثر بوده است. در حالیکه در تیمار T3 کاهش بیشتر pH و افزایش ویسکوزیته تاثیر منفی بر مقبولیت محصول از دیدگاه ارزیاب‌ها داشته است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل استفاده از ۶٪ ژل آلئوورا در دسر شیری سبب کاهش سینرسیس، افزایش ویسکوزیته، بهبود زنده‌مانی باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم شده و از نظر ارزیاب‌های خصوصیات حسی موجب افزایش مقبولیت در بین مصرف‌کنندگان می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پروبیوتیک، دسر شیری، زنده‌مانی، ژل آلئوورا

بررسی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتروم در دسرشیری فراسودمند حاوی ژل آلتورا

مقدمه

امروزه تمایل مصرف کنندگان برای مصرف دسرهای لبنی به عنوان مواد غذایی آماده مصرف و مغذی افزایش یافته است. دسرهای لبنی حاوی حداقل ۵۰ درصد شیر گاو تازه یا شیر بازسازی شده هستند که با مواد افزودنی مانند طعم دهنده‌ها، شیرین کننده‌ها، تغلیظ کننده‌ها و تثبیت کننده‌ها پس از عملیات حرارتی مانند پاستوریزه تهیه می‌شوند. مصرف کنندگان به طور فزاینده ای تمایل به مصرف دسرهای لبنی فراسودمند دارند که علاوه بر تامین نیازهای تغذیه ای سبب ارتقا سلامتی آنها شوند. لذا فرمولاسیون و تولید دسرهای لبنی فراسودمند حاوی باکتری‌های پروبیوتیک و ترکیبات پری بیوتیک مورد توجه قرار گرفته است (Champagne et al., 2018).

حضور میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک به عنوان یک شاخص کلیدی برای کیفیت محصولات پروبیوتیک در زمان مصرف مطرح است. به طور کلی، (cfu/g یا cfu/ml) 10^6 سلول پروبیوتیک به عنوان حداقل سطح و رضایت بخش در زمان مصرف پذیرفته شده است (Sidhu et al., 2020). با توجه به کاهش زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در محصولات لبنی در طول دوره نگهداری، استفاده از پری بیوتیک‌ها همراه با پروبیوتیک‌ها برای افزایش بقای باکتری‌های پروبیوتیک مفید می‌باشد (Alasti et al., 2016). استفاده از پریبیوتیک‌ها و ترکیبات پری بیوتیک در فرمولاسیون دسرها می‌تواند دسرهای شیری سین بیوتیکی تولید کند که اثرات مفیدی بر سلامت مصرف کنندگان دارد. لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکتریوم‌ها رایج ترین جنس‌های باکتری‌های پروبیوتیک مورد استفاده در صنعت غذا هستند. پری بیوتیک‌ها ترکیبات غیرقابل هضم، اما قابل تخمیر هستند که می‌توانند رشد و تکثیر باکتری‌های سلامتی‌بخش در سیستم گوارش را تقویت کنند (Rosa et al., 2021; Ghaderi-Ghahfarokhi et al., 2021). مطابق یافته‌های قبلی، دسرهای شیری سین بیوتیک دارای خواص ضد میکروبی، ضد سرطانی، ضد حساسیت و تقویت کننده سیستم ایمنی هستند (Shafi et al., 2019).

گیاه آلتورا با نام علمی *Aloe vera* به عنوان گیاه دارویی در نواحی گرم و خشک جنوب ایران کشت می‌شود

و با نام‌های صبر زرد یا شاخ بزی شناخته می‌شود. برگ‌های این گیاه شامل بخش مایع با ترشحات زردرنگ و تلخ مزه و بخش پارانشیمی گیاه یا بخش نیمه جامد می‌باشند (Emamifar et al., 2013). سلول‌های بافت پارانشیمی برگ‌های آلتورا حاوی ژلی ویسکوز و شفاف بوده که در فرمولاسیون محصولات غذایی و به عنوان پوشش خوراکی کاربرد دارند. ژل آلتورا حاوی ترکیبات مغذی و زیست فعال مانند آلکالوئیدها، آنتراکوئینون‌ها، آنزیم‌ها، گلیکوپروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و ویتامین‌ها می‌باشد (Sajadi and Bahramian, 2018). طبق مطالعات قبلی ژل آلتورا دارای خاصیت آنتی اکسیدانی، ضد باکتریایی، ضد ویروسی و ضد التهابی می‌باشد. علاوه، پلی ساکاریدهای فروکتان و آسمانان موجود در ژل آلتورا دارای خاصیت پری بیوتیکی بوده و سبب ارتقا رشد باکتری‌های پروبیوتیک می‌شوند (Quezada et al., 2017).

در تحقیقی خصوصیات شیمیایی، بافتی و حسی پنیر فراپالایش فراسودمند حاوی ژل آلتورا مورد بررسی قرار گرفت (Bahramian and Sajadi, 2018). همچنین در گزارشی خواص شیمیایی و باکتریایی ماست همزده پروبیوتیک کم چرب حاوی عصاره آلتورا ارزیابی شده است (Karami and Khodakarami, 2019). علاوه تاثیر ژل آلتورا به عنوان پوشش خوراکی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکی‌شیمیایی و حسی توت فرنگی تازه طی انبارداری مورد ارزیابی قرار گرفته است (Emamifar, 2013). اما تا کنون تحقیقی در زمینه تاثیر استفاده از ژل آلتورا بر خواص فیزیکی‌شیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده مانگی باکتری‌ها در دسر لبنی فراسودمند انجام نشده است لذا در مطالعه اخیر به این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، برگ گیاه آلتورا از بازار محلی و شیر خام از شرکت پگاه تهران تهیه شد. نشاسته ذرت، شکر و ژلاتین از شرکت گله‌ها تهیه شد. هیدروکسید سدیم (۹۹٪)، کلرید باریم، اسید سولفوریک، MRS Broth و MRS Agar از شرکت مرک (آلمان) خریداری گردید. باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم از شرکت شمس باوران سلامت نور تهیه گردید.

- آماده‌سازی ژل آلئوورا و باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم

گیاه آلئوورا از عطاری در شهر تهران تهیه و استخراج ژل در شرایط بهداشتی صورت پذیرفت. لذا برگ‌های گیاه آلئوورا با آب شسته شدند و برای مدت ۳۰ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم ۲٪ ضد عفونی و با آب مقطر شسته و خشک شدند. سپس برگ‌ها به شکل طولی بریده شده و ژل داخل برگ‌ها تخلیه شد. در ادامه ژل آلئوورا در مخلوط کن استریل (ترمومیکس، آلمان) به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت متوسط همگن شد و به صورت تازه مورد استفاده قرار گرفتند. برای آماده سازی باکتری، پودر لیوفیلیزه باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم به لوله آزمایش حاوی محیط کشت مایع MRS منتقل گردید و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت در جار بی هوازی گرمخانه گذاری شد. سپس سلول‌های میکروبی توسط سانتریفوژ یخچال دار با دور ۱۵۰۰ g و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شده و پس از شستشو با آب پیتون ۰/۱ درصد، جهت تلقیح در دسر شیری مورد استفاده قرار گرفت. تعداد باکتری‌های پروبیوتیک از طریق استاندارد نیم مک فارلند تعیین و به مقدار لازم به دسر شیری اضافه شد (Mehta et al., 2010; Sajadi & Bahramian, 2018).

pH نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار با استفاده از pH متر دیجیتال (Switzerland, Mettler Toledo) و اندازه گیری اسیدیته با تیتراسیون نمونه‌ها با محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ و فنل فتالین انجام شد (Aguilar-Raymundo & Velez-Ruiz, 2018).

- آزمون تعیین درصد سینرسیس و ویسکوزیته

برای ارزیابی درصد سینرسیس ۱۰ گرم از نمونه‌های دسر در ۲۷۹۰ g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ گردید و در ادامه درصد سینرسیس نمونه‌های دسر بر حسب درصد با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$S (\%) = \frac{V_d - V_s}{V_d} \times 100$$

S درصد سینرسیس V_d حجم اولیه دسر، V_s حجم سرم

ویسکوزیته نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه ویسکومتر بروکفیلد (USA, DVII)، در روزهای آزمون تعیین شد. اندازه گیری ویسکوزیته نمونه‌های دسر با استفاده از اسپیندل شماره ۴ در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با اعمال تنش برشی ($1/S$) (۱,۰ تا ۵,۰) انجام شد (Aguilar-Raymundo & Velez-Ruiz, 2018).

- آزمون نوسانی پویا

برای ارزیابی خصوصیات رئولوژیکی دسر شیری از دستگاه رئومتر (MCR52, Anton Paar, GmbH, Germany) در برگزیده صفحات موازی (قطر ۵۰ میلی متر و فاصله صفحات ۵ میلی متر) استفاده شد. خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌های دسر شیری در روز بیستم نگهداری ارزیابی شد. نمونه دسر روی صفحه پایینی قرار داده شد و صفحه بالایی روی نمونه دسر قرار گرفت. آزمون روبش فرکانس با اعمال فرکانس در محدوده ۱ تا ۱۰۰ هرتز انجام شد. مدول ذخیره (G')، مدول اتلاف (G'') و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) برای ارزیابی خصوصیات رئولوژیکی استفاده گردید (Soleimani et al., 2019).

- شمارش باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم

برای شمارش باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلانتاروم با استفاده از سرم فیزیولوژی از نمونه‌های دسر سریال رقت

- روش تهیه دسر شیری

برای تهیه دسر شیری از شیر تازه (۳ درصد چربی)، ۲۰ گرم شکر، ۵ گرم ژلاتین، ۷ گرم نشاسته و غلظت‌های مختلف ژل آلئوورا (۰، ۳٪، ۶٪ و ۹٪) استفاده شد. ابتدا شیر کامل با شکر، ژلاتین و ژل آلئوورا در غلظت‌های مختلف مخلوط شده و در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد با همزن مغناطیسی (ایکیا، آلمان) در ۲۵۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شدند. در ادامه مخلوط در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شده و تا ۴۰ °C خنک شدند. نمونه‌های دسر با باکتری لاکتوباسیلوس پلانتاروم (10^8 CFU/ml) تلقیح و پس از کاهش دمای مخلوط به ۱۵ °C در ظروف پلاستیکی ۲۰۰ میلی لیتری ریخته شده و به مدت ۲۰ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Aguilar-Raymundo & Velez-Ruiz, 2018).

- اندازه‌گیری pH و اسیدیته

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتروم در دسر شیری فراسودمند حاوی ژل آلتوورا

نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) انجام شد و رسم نمودارها نیز با نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ انجام پذیرفت.

یافته‌ها

- تعیین pH در نمونه‌های دسر شیری

شکل ۱ مقدار pH نمونه‌های مختلف دسر لبنی را در طول دوره نگهداری نشان می‌دهد. نتایج حاصل مشخص کرد افزودن ژل آلتوورا باعث کاهش غیر معنی‌دار pH در نمونه‌های تیمار گردید ($p > 0.05$). همچنین طبق نتایج حاصل pH نمونه‌های دسر شیری در طول زمان کاهش معنی‌داری داشت ($p < 0.05$).

- تعیین سینرسیس در نمونه‌های دسر شیری

درصد سینرسیس نمونه‌های مختلف دسر شیری در طول دوره نگهداری در شکل ۲ نشان داده شده است. درصد سینرسیس نمونه‌های دسر شیری افزایش معنی‌داری در طول دوره نگهداری داشت ($p < 0.05$). نمونه T3 حاوی ۹٪ ژل آلتوورا در روز اول نگهداری با $0.3 \pm 24.3\%$ سینرسیس پایدارترین نمونه دسر شیری، و نمونه شاهد در روز بیستم نگهداری با $0.5 \pm 55.2\%$ سینرسیس ناپایدارترین نمونه دسر شیری بودند. نتایج حاصل مشخص کرد حضور ژل آلتوورا در نمونه‌های دسر شیری تاثیر معنی‌داری بر کاهش سینرسیس و افزایش پایداری نمونه‌های دسر شیری داشت ($p < 0.05$).

تهیه شده و نمونه‌ها با استفاده از روش پور پلیت، در محیط کشت MRS آگار حاوی ونکومایسین (10 mg/L) کشت داده شدند. پلیت‌ها به مدت ۷۲ ساعت در انکوباتور CO_2 دار در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد گرمخانه گذاری و نتایج شمارش به صورت Log CFU/g گزارش شدند (Shao et al., 2015).

- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی توسط ۱۲ نفر ارزیاب آموزش دیده (شامل ۶ زن و ۶ مرد، متخصص علوم غذایی، ۲۵ تا ۳۵ ساله) به روش امتیازدهی از لحاظ ویژگی‌های طعم، رنگ، بو، بافت و پذیرش کلی انجام شد. امتیازات شامل بیشترین نمره یعنی ۵ به منزله عالی بودن نمونه و ۱ کمترین نمره نشان دهنده ضعیف بودن نمونه بود. ارزیابی حسی نمونه‌های دسر حاوی ژل آلتوورا در طول دوره ۲۰ روزه نگهداری نمونه‌ها انجام شد (Ghafarloo et al., 2020).

- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق تاثیر افزودن ژل آلتوورا بر دسر شیری بر اساس طرح کاملا تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. کلیه داده‌های این پژوهش، با استفاده از آزمون K-S از نظر توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها به ترتیب با روش ANOVA و آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ توسط

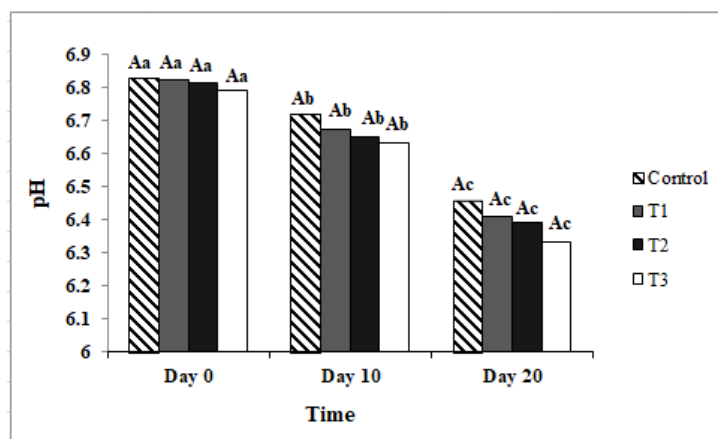


Figure 1- The pH of milk dessert samples during storage time (Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel)).

Means with differences small letters in the same sample represent significant differences at days of exams ($p < 0.05$) and capital letters in the same day indicate significant differences at treatments ($p < 0.05$).

شکل ۱- میزان pH نمونه‌های دسر شیری (شاهد (۰٪ ژل آلتوورا)، T₁ (۳٪ ژل آلتوورا)، T₂ (۶٪ ژل آلتوورا) و T₃ (۹٪ ژل آلتوورا)) در طول زمان نگهداری.

ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری کاهش می‌یابد. در سرعت‌های برشی پایین‌تر با تغییر در سرعت برشی، ویسکوزیته کاهش ناگهانی داشت در حالیکه در سرعت‌های برشی بالاتر، این کاهش ملایم‌تر بود. در سرعت‌های برشی پایین، تفاوت بین ویسکوزیته ظاهری تیمارها و نمونه شاهد وابسته به غلظت ژل آلئورا بود. نمونه‌ها با غلظت بالاتر ژل آلئورا تفاوت ویسکوزیته بیشتری را در مقایسه با نمونه شاهد داشتند در حالیکه در سرعت‌های برشی بالاتر، تفاوت بین ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های تیمار و شاهد کاهش یافت.

- تعیین ویسکوزیته در نمونه‌های دسر شیری

تغییرات ویسکوزیته نمونه‌های مختلف دسر شیری در روز بیستم نگهداری در شکل ۳-a مشخص شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد با افزایش غلظت ژل آلئورا ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری افزایش معنی‌دار خواهد داشت ($p < 0.05$). نمونه T3 با ۹٪ ژل آلئورا بیشترین میزان ویسکوزیته (۲۴۷۸ mPas) و نمونه شاهد کمترین میزان ویسکوزیته (۱۸۳۱ mPas) را به خود اختصاص دادند. شکل ۳-b نمایانگر تاثیر سرعت برشی بر ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری است و با افزایش سرعت برشی

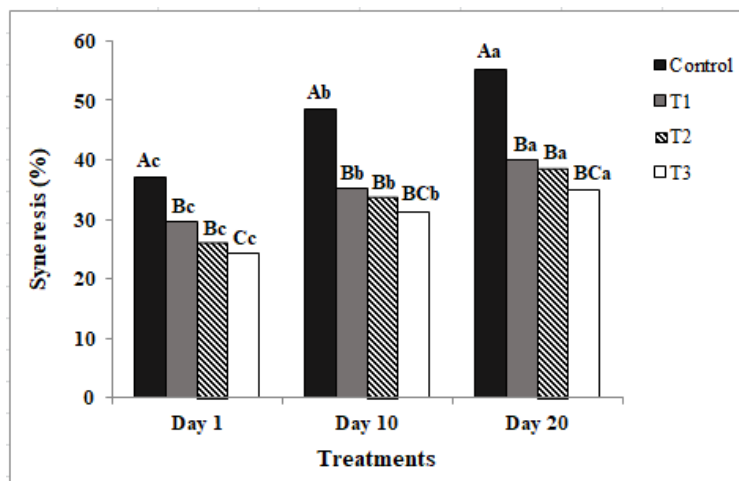


Figure 2- The syneresis of milk dessert samples during storage time (Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel)).

Means with differences small letters in the same sample represent significant differences at days of exams ($p < 0.05$) and capital letters in the same day indicate significant differences at treatments ($p < 0.05$).

شکل ۲- میزان سینرسیس نمونه‌های دسر شیری (شاهد (۰٪ ژل آلئورا)، T1 (۳٪ ژل آلئورا)، T2 (۶٪ ژل آلئورا) و T3 (۹٪ ژل آلئورا)) در طول زمان نگهداری.

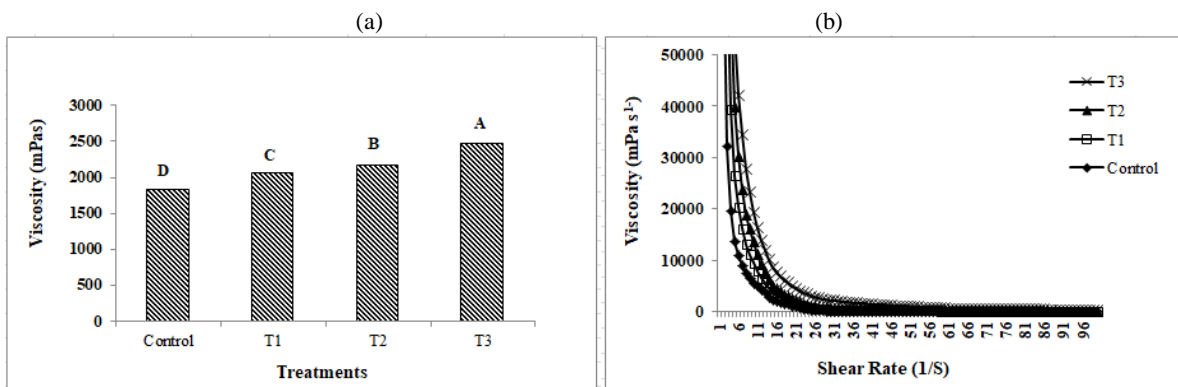


Figure 3- a) The viscosity of milk dessert samples on 20th day of storage (Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel)) b) Flow curves of milk dessert samples.

شکل ۳- a) میزان ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری (شاهد (۰٪ ژل آلئورا)، T1 (۳٪ ژل آلئورا)، T2 (۶٪ ژل آلئورا) و T3 (۹٪ ژل آلئورا)) b) اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری در روز بیستم نگهداری.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتروم در دسر شیری فراسودمند حاوی ژل آلتورا

- تعیین خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌های دسر شیری

مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G') در واقع مقدار انرژی ذخیره شده در مواد غذایی یا انرژی قابل بازیافت در هر سیکل تغییر شکل بوده و در واقع قدرت شبکه را مشخص کرده و با واحد پاسکال (Pa) گزارش می‌شود (Soleimani et al., 2019). شکل ۴-a تغییرات مدول ذخیره (G') را در فرکانس‌های مختلف برای نمونه‌های دسر شیری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، میزان G' با افزایش فرکانس در تمامی نمونه‌های دسر شیری افزایش یافت و در هر فرکانسی در دسرهای شیری با افزایش غلظت ژل آلتورا میزان G' افزایش یافت به صورتیکه نمونه تیمار T3 که حاوی ۹٪ ژل آلتورا بودند بیشترین میزان G' را به خود اختصاص دادند. مدول ویسکوز یا مدول افت (G'') میزان انرژی که در هر سیکل تغییر شکل رها می‌شود و یا مقدار انرژی گسترش یافته در هر سیکل آزمون را مشخص کرده و خواص جریان یافتگی نمونه را در حالت ساختاری مشخص کرده و واحد آن پاسکال (Pa) است (Soleimani et al., 2019). شکل ۴-b تغییرات میزان G'' را در فرکانس‌های مختلف برای نمونه‌های دسر شیری نشان می‌دهد. مطابق این شکل، مقدار G'' با افزایش فرکانس برای تمامی نمونه‌های دسر شیری افزایش یافت. همچنین در تمامی فرکانس‌ها، تیمار T3 با ۹٪ ژل آلتورا بیشترین و نمونه شاهد کمترین مقدار G'' را نشان دادند. مطابق شکل ۴-a و ۴-b میزان G' در هر فرکانسی بیشتر از مقدار G'' بود. همچنین ویسکوزیته کمپلکس (η^*) مقاومت نمونه در برابر جریان نوسانی را نشان می‌دهد و معیاری از سختی کل بوده و واحد آن پاسکال در ثانیه (Pa.s) می‌باشد (Soleimani et al., 2019). شکل ۴ تغییرات η^* را در فرکانس‌های متفاوت برای نمونه‌های دسر شیری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل مقدار ویسکوزیته کمپلکس (η^*) در تمامی نمونه‌ها با افزایش فرکانس، کاهش یافت. بیشترین میزان ویسکوزیته کمپلکس (η^*) در هر فرکانسی متعلق به تیمار T3 با ۹٪ ژل آلتورا و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه شاهد بود.

- تعیین زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتروم در نمونه‌های دسر شیری

جدول ۱ نتایج زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلانتروم در نمونه‌های دسر شیری در طول نگهداری را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان داد افزودن ژل آلتورا به نمونه‌های دسر شیری سبب افزایش زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلانتروم می‌گردد ($p < 0.05$). همچنین زمان نگهداری سبب کاهش معنی‌دار باکتری‌های پروبیوتیک در نمونه‌های دسر شیری شد، بطوریکه نمونه شاهد در روز بیستم نگهداری کمترین تعداد باکتری لاکتوباسیلوس پلانتروم (6.649 ± 0.172) و تیمار T3 با ۹٪ ژل آلتورا در روز اول نگهداری بیشترین تعداد لاکتوباسیلوس پلانتروم (7.195 ± 0.2) را به خود اختصاص دادند.

- تعیین خصوصیات حسی در نمونه‌های دسر شیری
شکل ۵ نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های دسر شیری در روز بیستم نگهداری را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل افزودن ژل آلتورا به نمونه‌های دسر شیری تاثیر معنی‌داری بر رنگ و بوی نمونه‌ها از نظر ارزیاب‌ها نداشت ($p > 0.05$). افزودن ژل آلتورا تا غلظت ۶٪ سبب افزایش معنی‌دار امتیاز طعم شد اما با افزایش غلظت ژل آلتورا تا ۹٪ امتیاز طعم در نمونه T2 کاهش یافت. همچنین طبق نتایج حاصل افزودن ژل آلتورا تا ۶٪ تاثیر معنی‌دار و مثبت بر امتیاز بافت داشت اما افزایش غلظت ژل آلتورا تا ۹٪ سبب کاهش امتیاز بافت گردید ($p < 0.05$). طبق نظر ارزیاب‌ها تیمار T2 با ۶٪ غلظت ژل آلتورا بیشترین مقبولیت و پذیرش کلی را به خود اختصاص داد.

بحث

ژل آلتورا به عنوان ژل گیاهی دارای خواص فیزیکی‌شیمیایی و عملکردی است که امروزه در صنایع غذایی و دارویی مورد توجه قرار گرفته است. خاصیت هیدروکلوئیدی ژل آلتورا می‌تواند در جذب آب آزاد و کنترل آب اندازی محصولات لبنی بکارگرفته شود. همچنین گزارشاتی مبنی بر خاصیت پری‌بیوتیکی ژل آلتورا وجود دارد، لذا این هیدروکلوئید می‌تواند جهت بهبود زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در فرآورده‌های لبنی استفاده شود (Khodakarami & Karami, 2019). pH یک شاخص ضروری برای تعیین کیفیت محصولات لبنی

مشخص شد pH نمونه‌های دسر در محدوده ۶/۲۵ تا ۶/۳۶ می‌باشد (Szwajgier & Gustaw, 2015). طبق نتایج حاصل pH در نمونه‌های دسر در طول زمان نگهداری کاهش یافته و به نظر می‌رسد اسیدی شدن نمونه‌های دسر در طول نگهداری ناشی از فعالیت متابولیکی باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلاتناروم در محصول باشد (Rezaei *et al.*, 2023a). همچنین در پژوهشی کاهش pH نمونه‌های دسر نوشیدنی سین بیوتیک در طول زمان نگهداری گزارش شده است (Taheri *et al.*, 2020).

است و با حضور اسیدهای آلی طبیعی در محصول در ارتباط است (Sekhavatizadeh *et al.*, 2024). در تحقیق اخیر با افزایش غلظت ژل آلئوورا pH نمونه‌های دسر کاهش غیر معنی دار داشت که ناشی از فعالیت باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلاتناروم در محصول می‌باشد. مطابق نتایج حاصل pH نمونه‌های دسر شیری در محدوده تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران (۶/۸-۶/۳) برای دسرهای شیری قرار داشت (ISIRI 14681, 2012). مشابها، در بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی دسر شیری حاوی مالت

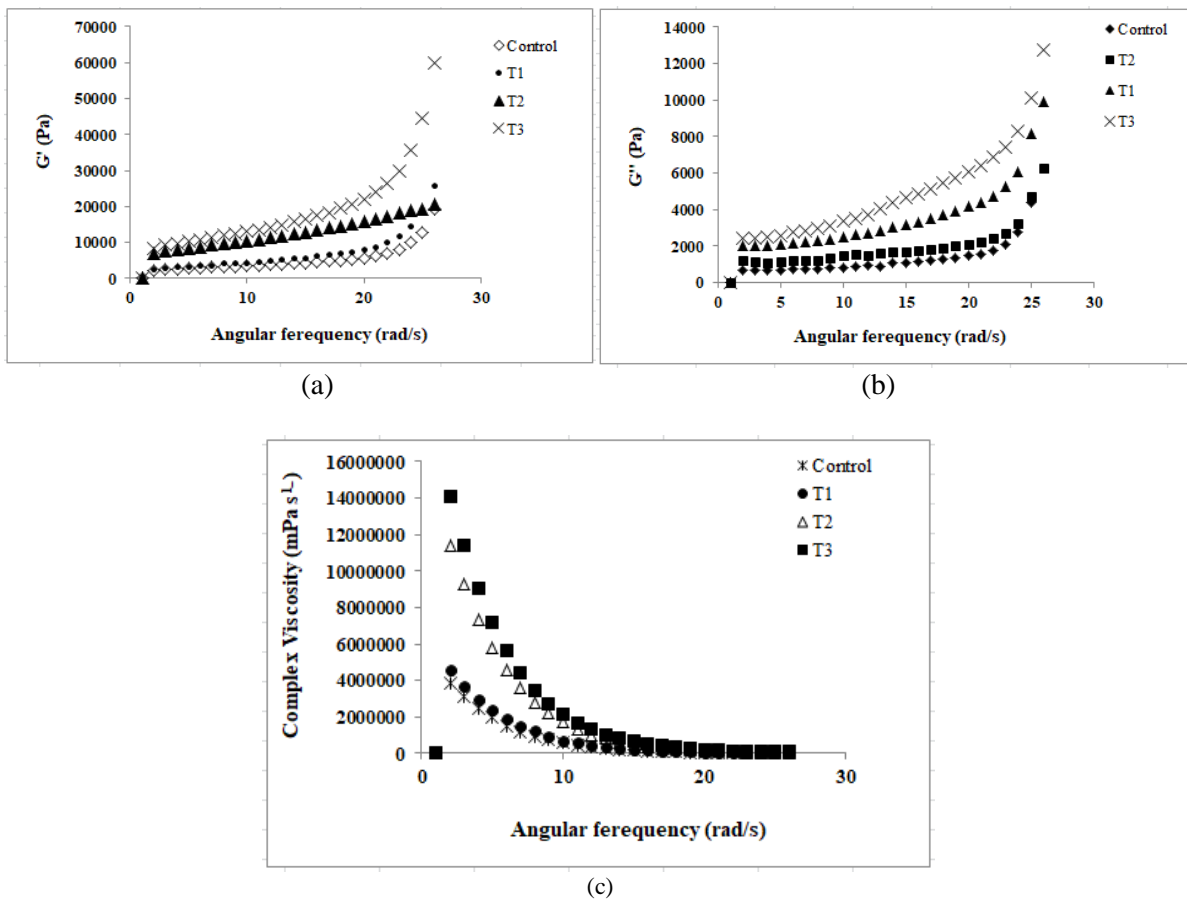


Figure 4- a) The G' changes in different frequencies for milk dessert samples on the 20th day of storage (Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel)) b) The G'' changes in different frequencies for milk dessert samples on the 20th day of storage c) The η^* changes in different frequencies for milk dessert samples on the 20th day of storage.

شکل ۴- a) تغییرات G' در فرکانس‌های مختلف برای نمونه‌های دسر شیری (شاهد (0% ژل آلئوورا)، T₁ (3% ژل آلئوورا)، T₂ (6% ژل آلئوورا) و T₃ (9% ژل آلئوورا)) در روز بیستم نگهداری b) تغییرات G'' در فرکانس‌های مختلف برای نمونه‌های دسر شیری در روز بیستم نگهداری c) تغییرات η^* در فرکانس‌های مختلف برای نمونه‌های دسر شیری در روز بیستم نگهداری.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانٹاروم در دسر شیری فراسودمند حاوی ژل آلوورا

جدول ۱- زنده‌مانی باکتری لاکتوباسیلوس پلانٹاروم در نمونه‌های دسر شیری با غلظت‌های مختلف ژل آلوورا در طول ۲۰ روز دوره نگهداری

Table1- *L.Plantarum* viability of milk dessert samples with different concentrations of *Aloe vera* gel during 20 days of storage

Samples	Total Phenol Content (mg GAE/g)			
Treatments	Control	T ₁	T ₂	T ₃
Day 0	7/692 ± 0/6 ^{Ba}	7/758 ± 0/6 ^{ABa}	7/790 ± 0/2 ^{ABa}	7/95 ± 0/2 ^{Aa}
Day 10	7/074 ± 0/12 ^{Cb}	7/414 ± 0/15 ^{Bb}	7/514 ± 0/23 ^{Bb}	7/73 ± 0/21 ^{Ab}
Day 20	6/649 ± 0/72 ^{Cc}	6/835 ± 0/51 ^{Bc}	6/937 ± 0/41 ^{Bc}	50 ± 0/52 ^{Ac37/}

a Samples were included Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel)

^b Different capital letters indicate significant differences between treatments and control samples ($p < 0.05$), while small letters indicate significant differences in storage days ($p < 0.05$).

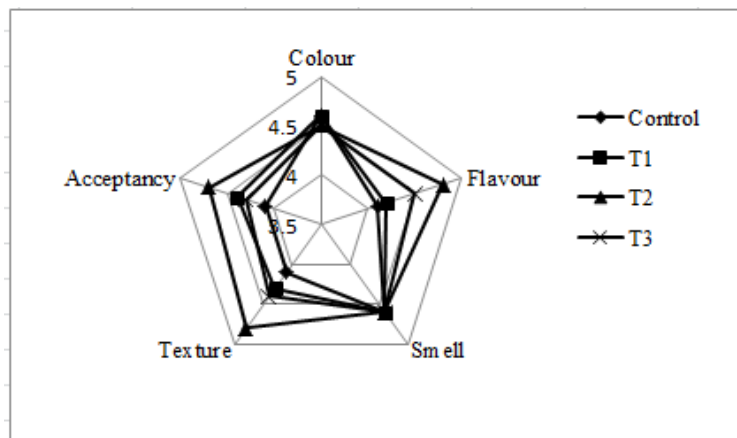


Figure 5- The sensory evaluation of milk dessert samples on the 20th day of storage (Control (0% *Aleo vera* gel), T1 (3% *Aleo vera* gel), T2 (6% *Aleo vera* gel) and T3 (9% *Aleo vera* gel))

شکل ۵- ارزیابی حسی نمونه‌های دسر شیری (شاهد) (۰٪ ژل آلوورا)، T₁ (۳٪ ژل آلوورا)، T₂ (۶٪ ژل آلوورا) و T₃ (۹٪ ژل آلوورا) در روز بیستم نگهداری

سینرسیس در ماست هم‌زده پروبیوتیک حاوی عصاره آلوئه‌ورا گزارش گردید (Khodakarami & Karami, 2019).

مطابق نتایج حاصل ویسکوزیته نمونه‌های دسر شیری در حضور ژل آلوورا افزایش یافت که احتمالاً به دلیل حضور هیدروکلوئیدهای آسمانان در ژل آلوورا می‌باشد. به نظر می‌رسد ژل آلوورا به عنوان یک هیدروکلوئید حاوی گروه‌های آب‌دوست بوده و میزان زیادی آب جذب کرده و با تقویت شبکه سه بعدی در ساختار دسر شیری به افزایش قدرت نگهداری آب در شبکه و افزایش ویسکوزیته کمک می‌کند (Quezada *et al.*, 2017). طبق نتایج حاصل ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های دسر شیری با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد و ارتباط بین ویسکوزیته

سینرسیس پدیده‌ای است که با کاهش pH و انقباض شبکه ژلی ایجاد شده که منجر به کاهش پایداری شده و تاثیر منفی بر خصوصیات دسر شیری دارد. نتایج حاصل مشخص کرد درصد سینرسیس نمونه‌های مختلف دسر شیری در طول زمان نگهداری افزایش یافته است. در طول دوره نگهداری در یخچال، سازماندهی مجدد مولکول‌های پروتئینی می‌تواند منجر به رهاسازی آب از داخل ساختار ژل پروتئینی، و افزایش سینرسیس شود اما افزودن ژل آلوورا منجر به کاهش سینرسیس، افزایش قابلیت حفظ رطوبت و تولید محصولی پایدارتر گردید. به نظر می‌رسد حضور ژل آلوورا در دسر به علت طبیعت هیدروکلوئیدی و خاصیت جذب آب منجر به تشکیل شبکه ژلی متراکم‌تر در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود. مشابه کاهش معنی‌دار

می‌یابد. اگرچه ژل آلئوورا به دلیل حضور ترکیبات آلوین^۴ و آلئومودین^۵ دارای خاصیت ضد میکروبی است، اما به دلیل حضور پلی‌ساکاریدهای غیر قابل هضم با خاصیت پری‌بیوتیکی، مواد مغذی مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی، اسیدهای آمینه و قندهای طبیعی در ژل آلئوورا می‌تواند محرک رشد پروبیوتیک‌ها و افزایش زنده‌مانی آنها باشد (Arbab et al., 2021). مشابها در بررسی تاثیر ژل آلئوورا بر خصوصیات کیفی دوغ سین بیوتیک افزایش زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک در حضور ژل آلئوورا گزارش شده است (Dezyani et al., 2017).

در ارزیابی خصوصیات حسی نمونه‌های دسر شیری حاوی ژل آلئوورا مشخص شد افزودن ژل آلئوورا تاثیر منفی بر فاکتور بو و رنگ نمونه‌های دسر شیری ندارد در حالیکه افزودن ژل آلئوورا تا ۶٪ اثر مثبت بر فاکتور طعم و بافت نمونه‌های دسر شیری دارد. احتمالاً افزودن ژل آلئوورا تا ۹٪ منجر به افزایش رشد باکتری‌های پروبیوتیک، تولید اسید و کاهش pH شده و اثر منفی بر طعم دسر شیری داشته است و از نظر ارزیاب‌ها مطلوب نبوده است. همچنین حضور غلظت‌های بالاتر ژل آلئوورا در تیمار T3 سبب افزایش ویسکوزیته و قوام دسر شیری به میزانی شده که اثر منفی بر امتیاز بافت داشته است. لذا در ارزیابی پذیرش کلی نمونه دسر شیری حاوی ۶٪ ژل آلئوورا بهترین امتیاز را از ارزیاب‌ها دریافت کرد. مشابها در بررسی خصوصیات کیفی ماست چکیده حضور پودر ژل آلئوورا تا ۰٫۱٪ بر فاکتورهای حسی مثبت ارزیابی شده است (Aryanfar et al., 2017).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فرمولاسیون یک دسر شیری فراسودمند جدید با استفاده از ژل آلئوورا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه افزایش معنی‌دار زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاننتاروم در دسر شیری را در حضور ژل آلئوورا نشان داد. همچنین درصد سینرسیس دسر شیری غنی شده کاهش، پایداری دسر شیری افزایش و ویسکوزیته نمونه‌های تیمار شده بهبود یافت. استفاده از ژل آلئوورا در دسر شیری سبب افزایش شاخص‌های G' و G'' و بهبود خواص رئولوژیکی دسر شیری شد. همچنین افزودن ژل آلئوورا در سطح ۶٪

ظاهری و سرعت برشی غیر خطی است که نشان‌دهنده غیر نیوتنی^۱ بودن دسر شیری است. همچنین با افزایش سرعت برشی، ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های دسر کاهش یافت، لذا دسر شیری یک سیال رقیق شونده^۲ است (Koksoy and Kilic 2004). مشابها، در بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف ژل آلئوورا بر ویژگی‌های کیفی دوغ سین بیوتیک افزایش ویسکوزیته نمونه‌های دوغ در حضور ژل آلئوورا گزارش شده است (Dezyani et al., 2017).

نتایج آزمون نوسانی پویا مشخص کرد در هر فرکانسی مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G') بیشتر از مدول ویسکوز (G'') است که نشان‌دهنده ساختار جامد^۳ کلیه نمونه‌های دسر شیری می‌باشد. با افزایش فرکانس افزایش تدریجی در مدول الاستیک (G') و مدول ویسکوز (G'') کلیه نمونه‌های دسر شیری مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش G' به دلیل برهمکنش ذرات پروتئین با یکدیگر و هیدروکلوتیدها و بازآرایی پیوندهای درون مولکولی و بین مولکولی باشد. اما کاهش ویسکوزیته کمپلکس (η^*) با افزایش فرکانس در نمونه‌های دسر شیری نشان‌دهنده خصوصیات ویسکوالاستیک نمونه‌ها می‌باشد. مشابها، در بررسی خصوصیات رئولوژیکی پنیر فرآوری شده افزایش G' و G'' و کاهش η^* با افزایش فرکانس گزارش شده است (Yilmaz et al., 2011). همچنین در ارزیابی تاثیر صمغ دانه ریحان بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پنیر مقدار بالاتر G' را در مقایسه با G'' مشخص گردید (Hosseini-Parvar et al., 2015).

طبق نتایج حاصل زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلاننتاروم در طول دوره نگهداری کاهش می‌یابد. در محصولات لبنی، فاکتورهای کاهنده فعالیت باکتری‌های پروبیوتیک نظیر pH پایین، حضور اسیدهای ارگانیک، پتانسیل اکسیداسیون احیا پایین، حضور پراکسید هیدروژن، اکسیژن مولکولی، رقابت باکتریایی و تغییرات دمایی در طول دوره نگهداری سبب کاهش زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک می‌شود (Ghahfarokhi et al., 2021). طبق نتایج حاصل، در نمونه‌های دسر حاوی ژل آلئوورا زنده‌مانی باکتری‌های لاکتوباسیلوس پلاننتاروم در مقایسه با نمونه شاهد افزایش

¹ Non-newtonian

² Shear-thinning

³ Solid-type

⁴ Aloin

⁵ Aloe-emodin

Ghaderi-Ghahfarokhi, M., Yousefvand, A., Ahmadi Galighi, H. & Zarei, M. (2021). The effect of hydrolyzed tragacanth gum and inulin on the probiotic viability and quality characteristics of low-fat yogurt, *International Journal of Dairy Technology*, 74, 161-169.

Ghafari, M. H., Jouki, M. & Tabari, M. (2020). Production and characterization of synbiotic Doogh, a yogurt-based Iranian drink by gum Arabic, ginger extract and *B. bifidum*. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1158–1166. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04151-4>.

Khodakarami, M. & Karami, M. (2019). Evaluation of the Effects of Aloe vera Extract on Chemical and Microbial Properties of Low Fat Stirred Probiotic Yoghurt. *Journal of Food Science and Technology*. 94(16), 127-138. [In Persian]

Koksoy, A. & Kilic, M. (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yogurt drink, ayran. *Food Hydrocolloid*, 18, 593-600.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.10.002>.

Mehta, G. K., Meena, R., Prasad, K., Ganesan, M. & Siddhanta, A. K. (2010). Preparation of galactans from *Gracilaria debilis* and *Gracilaria salicornia* (Gracilariales, Rhodophyta) of Indian waters. *Journal of Applied Phycology*, 22, 623–627. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9502-1>.

Quezada, M., Paz; Salinas, C., Gotteland, M. & Cardemil, L. (2017). Acemannan and Fructans from Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) Plants as Novel Prebiotics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 10029–10039.

Rezaei, Z., Nickfar, F., Salari, A., Yousefi, M., Haddad Khodaparast, M. H. & Shamloo, E. (2023a). Feasibility of biofilm production capacity by *Levilactobacillus brevis* isolated from motil cheese and evaluation of biofilm resistance produced in vitro and in yogurt. *Arab. Journal of Chemistry*, 16(5), 104702. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104702>.

Rosa, M. C., Carmo, M. R. S., Balthazar, C. F., Guimaraes, J. T., Esmerino, E. A. & Freitas, M. Q. (2021). Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *International Dairy Journal*, 117, 105009. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105009>.

Sajadi, K. & Bahramian, S. (2018). Chemical, textural, and sensory characteristics

تأثیر مناسبی بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های دسر شیری داشت اما استفاده از سطوح بالاتر اثر منفی بر خصوصیات حسی داشت. به طور کلی، نتایج تحقیق اخیر مصرف این دسر شیری غنی‌شده را به عنوان یک محصول کاربردی برای پیشرفت در سلامت مصرف کننده توصیه می‌کند.

منابع

Aguilar-Raymundo, V. G. & Vélez-Ruiz, J. F. (2018). Physicochemical and Rheological Properties of a Dairy Dessert Enriched with Chickpea Flour. *Foods*, 7, 25. <https://doi.org/10.3390/foods7020025>

Alasti, F., Fadai Noghani, V. & Khosravi Darani, K. (2016). Investigating the physicochemical, microbial and sensory properties of probiotic buttermilk containing watercress gum and *Spirulina platensis* algae. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 26, 127-143.

Arbab, S., Ullah, H. & Weiwei, W. (2021). Comparative study of antimicrobial action of aloe vera and antibiotics against different bacterial isolates from skin infection, *Veterinary Medicine and Science*, 7(5), 2061–2067. <https://doi.org/10.1002/vms3.488>.

Aryanfar, A., Sardorudian, M. & Abdollahi, H. (2017). Investigation of aloe vera gel powder on the physicochemical and sensory properties of fat-free abstract yogurt. *Journal of innovation in food science and technology*. 9(4), 75-87. [In Persian]

Champagne, C. P., Da Cruz, A. G. & Daga, M. (2018). Strategies to improve the functionality of probiotics in supplements and foods. *Current Opinion in Food Science*. 22, 160–166.

<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.008>.

Dezyani, M., Khosrowshahi Asl, A. & Zomorrodi, S. H. (2017). The Effect of Different Concentrations of Aloe Vera Gel on Qualitative Characteristics and Viability of Probiotic Bacteria in Symbiotic Dough. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. 12(3), 121-128. [In Persian]

Emamifar, A. (2013). Evaluation of the effect of aloe vera gel as an edible coating on the microbial, physicochemical and sensory characteristics of fresh strawberries during storage. *Innovative Food Technologies*, 6, 15-29. <https://doi.org/10.22104/jift.2015.91>.

of the ultra-refined cheese Aloe vera gel. *Journal of Food Hygiene*, 7 (25), 21-30.

Sekhvatizadeh, S. S., Derakhshan, M., Ganje, M. & Hosseinzadeh, S. (2024). Aloe vera jelly dessert supplemented with *Lactobacillus curvatus* encapsulated in *Plantago major* mucilage and sodium alginate: Characterization of physicochemical, sensory properties and survivability against low pH, salt, heat, and cold storage. *Food Science & Nutrition*, 00, 1-14. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4003>.

Shafi, A., Raja, H. N. & Farooq, U. (2019). Antimicrobial and antidiabetic potential of synbiotic fermented milk: a functional dairy product, *International Journal of Dairy Technology*, 72 (1), 15-22. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12555>.

Shao, Y., Zhang, W., Guo, H., Pan, L., Zhang, H. & Sun, T. (2015). Comparative studies on antibiotic resistance in *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*. *Food Control*, 50, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.003>

Sidhu, N. K., Lyu, F., Sharkie, T. P., Ajlouni, S. & Ranadheera, C. S. (2020). Probiotic Yogurt Fortified with Chickpea Flour: Physico-Chemical Properties and Probiotic Survival during Storage and Simulated Gastrointestinal Transit, *Foods*, 9, 1144. <https://doi.org/10.3390/foods9091144>.

Soleimani-Rambod, A., Zomorodi, S., Naghizadeh Raeisi, S., Khosrowshahi Asl, A. & Shahidi, S. (2019). The effect of flax seed mucilage and xanthan gum as an edible coating on microbial, physicochemical, rheological and sensory properties of cheddar cheese during ripening. *Journal of Applied Microbiology in Food Industry*, 5(4), 12-30. [In Persian]

Szwajgier, D. & Gustaw, W. (2015). The addition of malt to milk-based desserts: Influence on rheological properties and phenolic acid content, *LWT - Food Science and Technology*, 62, 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.028>.

Taheri, S., Khomeiri, M., Aalami, M. & Moayed, A. (2020). Fermented and Low-Lactose Nonfermented Synbiotic Drinking Desserts Containing Equal Mixture of *Lactobacillus Rhamnosus* GG and *Lactobacillus Paracasei*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology* 14 (4), 26-36. [In Persian]

Yilmaz, M. T. Y., Karaman, S., Cankurt, H., Kayacier, A. & Sagdic, O. (2011). Steady and dynamic oscillatory shear rheological properties of ketchup processed cheese mixtures: Effect of temperature and concentration. *Journal of Food Engineering*, 103, 197-210. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.10.016>

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

فخرالدین صالحی^{a*}، مریم تشکری^b، کیمیا ثمری^b

^a دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
^b دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

مقدمه: گرمایش مایکروویو شکلی از گرمایش دی الکتریک است که به وسیله آن تولید گرما در مواد با رسانایی الکتریکی پایین توسط یک میدان الکتریکی با فرکانس بالا امکان پذیر است.

مواد و روش ها: برای اعمال پیش تیمار مایکروویو، پرتقال ها به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه داخل دستگاه مایکروویو قرار گرفتند و بعد از تیماردهی، برش هایی با ضخامت ۰/۵ سانتی متر از پرتقال ها تهیه و سپس برش ها توسط لامپ فرسرخ با توان ۲۵۰ وات خشک شدند.

یافته ها: با افزایش زمان تیمار مایکروویو از صفر به ۳ دقیقه، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش یافت. نتایج مدل سازی سینتیکی داده های آزمایشگاهی خشک کردن برش های پرتقال نشان داد که بهترین مدل برای این فرآیند مدل میدیلی است. اعمال مایکروویو تأثیر معنی داری بر تغییر چروکیدگی سطحی برش های پرتقال خشک شده و آبگیری شده داشت ($p < 0/05$) و اعمال این پیش تیمار باعث کاهش چروکیدگی سطحی محصول شد. اعمال مایکروویو تأثیر معنی داری بر تغییر شاخص های رنگ (زردی، قرمزی، روشنایی و تغییر رنگ کل) برش های پرتقال خشک و آبگیری شده نداشت ($p > 0/05$). با افزایش زمان تیمار مایکروویو از ۰ به ۳ دقیقه، میانگین آبگیری مجدد برش های پرتقال خشک شده در خشک کن فرسرخ از ۱۵۴/۲۵ درصد به ۲۱۲/۸۵ درصد افزایش یافت.

نتیجه گیری: به طور کلی، استفاده از پیش تیمار مایکروویو قبل از خشک کردن برش های پرتقال به دلیل افزایش سرعت انتقال جرم، کاهش چروکیدگی سطحی و افزایش آبگیری مجدد توصیه می شود.

واژه های کلیدی: آبگیری مجدد، چروکیدگی، شاخص های رنگ، فرسرخ، مدل میدیلی

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

مقدمه

پرتقال حاوی انواع ویتامین ها و مواد مغذی مختلف با اثرات مفید برای سلامتی انسان است. مدت ماندگاری پرتقال کوتاه بوده و در صورت عدم نگهداری در سردخانه های مناسب و فرآوری، در اثر رشد میکروارگانیسم های مختلف سریع فاسد می شود. لذا به منظور افزایش ماندگاری این میوه، علاوه بر نگهداری محصول در سردخانه های مجهز، می توان محصول را به شکل های منجمد، خشک، کنسرو، مربا و آب میوه فرآوری کرد (Özkan-Karabacak et al., 2020). به خصوص در فصولی که برداشت پرتقال بیش از حد است می توان این میوه را به صورت برش های نازک خشک کرد و آن را به یک محصول با ارزش تجاری بالاتر تبدیل کرد (Eftekhari et al., 2023a, b; Özkan-Karabacak et al., 2020).

خشک کردن یک روش مهم نگهداری مواد غذایی است که از طریق کاهش محتوای آب، فعالیت آب را کاهش می دهد و از خراب شدن و فساد احتمالی در طول دوره های طولانی نگهداری جلوگیری می کند. اهداف مهم دیگر خشک کردن مواد غذایی کاهش وزن و حجم است که برای کاهش هزینه های حمل و نقل و ذخیره سازی در نظر گرفته شده است (Darvishi et al., 2014). در پژوهش های اخیر، استفاده از پیش تیمارهای مختلف قبل از خشک کردن برش های پرتقال در خشک کن های مختلف بررسی شده است. برای مثال Eftekhari و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر پیش تیمارهای فراصوت و شرایط فرآیند بر سرعت انتقال جرم طی آبیگری اسمزی برش های پرتقال را بررسی کردند. این پژوهشگران اعمال ۵ دقیقه فراصوت با توان ۱۵۰ وات، به دلیل کاهش جذب مواد جامد و افزایش درصد آبیگری مجدد، قبل از فرآیند آبیگری اسمزی از برش های پرتقال توسط محلول حاوی ۴۰ درصد ساکارز را توصیه کرده اند. Özkan-Karabacak و همکاران (۲۰۲۰) اثر پیش تیمار مایکروویو بر سینتیک انتقال جرم و ظرفیت آبیگری مجدد برش های پرتقال خشک شده در خلأ را بررسی و استفاده از این پیش تیمار را برای کاهش زمان خشک کردن و بهبود خصوصیات کیفی برش های پرتقال خشک شده توصیه کردند.

خشک کردن با مایکروویو، یک فناوری نسبتاً جدید، به عنوان یک روش خشک کردن سریع و مؤثر جایگزین

خشک کردن با هوای داغ توصیه شده است. با این حال، هنگامی که به تنهایی اعمال می شود، کارایی زیادی ندارد و باعث آسیب به بافت و کاهش کیفیت محصول خشک شده می شود؛ لذا بهتر است به صورت ترکیبی یا پیش تیمار قبل از خشک کردن تکمیلی استفاده شود (Horuz et al., 2017; Motevali and Minaei, 2012; Özkan-Karabacak et al., 2020; Seremet et al., 2020). علاوه بر اینها، قرار گرفتن محصولات کشاورزی و میوه ها (پس از برداشت) در معرض مایکروویو می تواند منجر به افزایش ماندگاری محصول شود (Verma et al., 2020). در روش مایکروویو، گرما در محصول از طریق القای مولکولی دوقطبی و جهت گیری ناشی از میدان الکترومغناطیسی متناوب تولید می شود (Talens et al., 2016). Horuz و همکاران (۲۰۱۷) خشک کردن آلبالو با هوای داغ و ترکیبی مایکروویو-هوای داغ را بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که از نظر پارامترهای رنگی اختلافی بین نمونه های خشک شده در هر کدام از خشک کن ها نبود، اما نمونه های خشک شده توسط خشک کن ترکیبی مایکروویو-هوای داغ ظرفیت آبیگری مجدد بالاتری داشتند و استفاده از مایکروویو باعث کاهش زمان خشک شدن آلبالو شد. Salehi و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر رنگ، چروکیدگی و آبیگری مجدد برش های پرتقال خشک شده را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که پیش تیمار مایکروویو بر تغییر چروکیدگی سطحی محصول تأثیر معنی داری ندارد، اما از نظر شاخص تغییرات رنگ، نمونه های تیمار و خشک شده، تغییرات کمتری از نظر رنگ ظاهری نسبت به نمونه اولیه دارند.

دمای بالا (حدود ۶۰ درجه سلسیوس و بالاتر) یا زمان خشک شدن طولانی در خشک کردن با هوای داغ، ممکن است باعث آسیب جدی به طعم، رنگ و مواد مغذی محصول شود و باعث کاهش ظرفیت آبیگری مجدد محصول خشک شود (Díaz et al., 2003). امروزه استفاده از خشک کردن مصنوعی در نگهداری محصولات کشاورزی گسترش یافته است و نیاز به تحقیقات و استفاده از روش های سریع تر و فرآیندهای که منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی شوند، بیشتر شده است (Sánchez-Sáenz et al., 2015). خشک کردن با استفاده از اشعه فرسرخ روشی است که در مقایسه با خشک کردن همرفتی

خشک کردن با پرتو فرسرخ

برش‌های پرتقال تیمار شده با مایکروویو جهت خشک شدن با لامپ فرسرخ (شرکت نور، ایران) با توان ۲۵۰ وات به صورت لایه‌نازک داخل دستگاه قرار داده شدند. فاصله نمونه‌ها از سطح لامپ ۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تغییرات وزن نمونه‌ها طی زمان خشک شدن هر ۱ دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی (لوترون، تایوان) با دقت ± 0.1 گرم که در زیر خشک‌کن قرار گرفته بود تا زمان رسیدن به ثبات وزن، ثبت گردید.

محاسبه ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

نفوذ مؤثر رطوبت بیانگر شرایط هدایت تمام مکانیسم‌های انتقال رطوبت است و معمولاً توسط منحنی‌های خشک کردن تجربی تعیین می‌شود (Srikiatden and Roberts, 2006). برای تعیین ضریب نفوذ مؤثر رطوبت^۲ برش‌های پرتقال تیمار شده هنگام خشک شدن توسط خشک‌کردن فرسرخ، ابتدا مختصات نمونه تیغه در نظر گرفته شد و سپس از قانون دوم نفوذ فیک^۳ استفاده گردید. در این روش، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از طریق شیب خط لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت داده‌های تجربی در مقابل زمان خشک‌کردن محاسبه شد (Salehi and Satorabi, 2021).

مدل‌سازی سینتیکی

سینتیک خشک‌کردن تجربی با ایجاد نمودارهای بین تغییر محتوای رطوبت در مقابل زمان و سرعت انتقال جرم در مقابل محتوای رطوبت ارزیابی شد (Özkan-Karabacak et al., 2020). بررسی سینتیک خشک شدن برش‌های پرتقال تیمار شده با مایکروویو و مدل‌سازی رفتار خروج رطوبت طی خشک شدن محصول با خشک‌کن فرسرخ مهم است. لذا در این مطالعه، داده‌های آزمایشی خشک‌کردن برش‌های پرتقال توسط شش مدل سینتیکی پرکاربرد برازش شدند. در این پژوهش مدل‌های پیچ، ونگ و سینگ، هندرسون و پایس، تقریب انتشار، نیوتن و میدیلی برای مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن برش‌های پرتقال و انتخاب بهترین مدل، انتخاب و بررسی شدند

تلفات انرژی کمتری را ارائه می‌دهد، زیرا انرژی در یک موج الکترومغناطیسی مستقیماً توسط محصول جذب می‌شود (Mongpraneet et al., 2002; Salehi, 2020). این امر به این دلیل اتفاق می‌افتد که مواد به سرعت و یکنواخت گرم می‌شوند و انرژی تابش فرسرخ بدون گرم کردن هوای اطراف به محصول منتقل می‌شود (Swadisevi et al., 2007).

استفاده از مایکروویو و فرسرخ برای بهبود کیفیت محصولات خشک‌شده، آبیگری مجدد بیشتر و سریعتر، صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی و زمان خشک شدن بسیار کوتاه‌تر در مقایسه با خشک‌کردن با هوای گرم توصیه شده است (Díaz et al., 2003; Salehi, 2020). لذا در این پژوهش اثر پیش تیمار مایکروویو قبل از فرآیند خشک‌کردن برش‌های پرتقال توسط خشک‌کن فرسرخ بررسی شد و پارامترهای سرعت انتقال جرم، چروکیدگی، شاخص‌های رنگ، تغییر رنگ کلی و آبیگری مجدد محاسبه شدند.

مواد و روش‌ها

تعیین درصد رطوبت اولیه برش‌ها

برای انجام این پژوهش، پرتقال تامسون با اندازه و شکل یکسان از شهرستان قائم‌شهر تهیه و تا زمان مصرف در یخچال نگهداری شد. برای تعیین رطوبت اولیه برش‌ها، نمونه‌های تازه پرتقال داخل آون فن‌دار (شیماز، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت زمان ۴ ساعت قرار گرفتند.

تیماردهی برش‌های پرتقال با امواج مایکروویو

برای تیماردهی با مایکروویو، پرتقال‌ها درون دستگاه مایکروویو آزمایشگاهی (جی‌پلاس، مدل GMW-M425S.MIS00، شرکت گلدیران، ایران) قرار گرفتند و به مدت ۰، ۱، ۲ و ۳ دقیقه با توان ۳۳۰ وات تیماردهی شدند. بعد از تیماردهی، برش‌هایی با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر توسط اسلایسر صنعتی (جرمی، ایتالیا)^۱ از پرتقال‌ها تهیه و به صورت لایه‌نازک داخل خشک‌کن فرسرخ قرار گرفتند.

¹ Girmi, Italy ² Effective moisture diffusivity coefficient (D_{eff})

³ Fick's second law of diffusion

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسوخ

در این رابطه، A_1 : سطح نمونه تازه (سانتی متر مربع) و A_2 : سطح نمونه خشک شده (سانتی متر مربع) است. در نرم افزار ایمیج جی برای تبدیل فضای رنگی RGB به $L^* a^* b^*$ از پلاگین Color Space Converter استفاده شد. مقادیر پارامتر تغییر رنگ (ΔE) در مقایسه با نمونه تازه محاسبه شد (Salehi, 2019).

- ظرفیت آگیری مجدد

برش های پرتقال خشک در ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر (در بشر شیشه ای با حجم ۲۵۰ میلی لیتر) در دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه ور شدند و ظرفیت آگیری مجدد نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت. یک حمام آب (مدل R.J42، شرکت پارس آزما، ایران) ۳۰ دقیقه قبل از انجام این آزمایش در دمای مورد نظر تنظیم و برای فرآیند آگیری مجدد استفاده شد. بعد از ۳۰ دقیقه و پس از حذف آب، وزن نمونه های آگیری شده ثبت شد. آزمایش های آگیری مجدد در سه تکرار انجام شد (Salehi et al., 2022).

- تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آنالیزها با سه تکرار انجام شدند. نرم افزار SPSS برای ویندوز (نسخه ۲۱) برای تجزیه و تحلیل های آماری استفاده شد و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شدند. از آزمون چند دامنه ای دانکن برای تعیین تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۵٪ بین میانگین ها استفاده شد.

یافته ها

- اثر پیش تیمار مایکروویو بر زمان خشک شدن پیش تیمار میوه ها قبل از خشک شدن به عنوان روشی مناسب برای بهبود کیفیت میوه های خشک و کاهش زمان خشک شدن پیشنهاد شده است (Mothibe et al., 2014; Zhou et al., 2021). میانگین رطوبت اولیه برش های پرتقال استفاده شده در این پژوهش (با پوست) برابر ۸۴/۵۳ درصد بر پایه مرطوب بود. خروج ۸۰ درصد رطوبت از برش های پرتقال به عنوان زمان خشک شدن در نظر گرفته

(Salehi and Satorabi, 2021). به منظور مدل کردن داده های تجربی خشک کردن و به دست آوردن ثابت های مدل ها نیز از نرم افزار متلب ویرایش R2012a استفاده شد. برای محاسبه مجموع مربعات خطا، جذر میانگین مربعات خطا^۱ و ضریب تبیین (r)^۲ به ترتیب از معادلات ۱، ۲ و ۳ استفاده شد (Salehi and Satorabi, 2021).

$$SSE = \sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N [O_i - T_i]^2}{\sum_{i=1}^N [O_i - T_m]^2}} \quad (3)$$

در این معادلات، O مربوط به داده های آزمایشگاهی، T مقادیر پیش بینی شده و N تعداد داده ها است. T_m نیز با استفاده از معادله ۴ به دست می آید:

$$T_m = \frac{\sum_{i=1}^N O_i}{N} \quad (4)$$

- تغییرات سطح و شاخص های رنگی

جهت بررسی تغییرات سطح و رنگ برش های پرتقال خشک و آگیری شده از روش پردازش تصویر استفاده گردید. در این روش از یک اسکنر اچ پی^۴، جهت تهیه عکس از نمونه های تازه، خشک و آگیری شده استفاده شد. تصاویر گرفته شده توسط نرم افزار Image J (Image J software version 1.42e, USA) آنالیز و مساحت و پارامترهای رنگی آنها شامل روشنایی (L^*)، قرمزی (a^*) و زردی (b^*) محاسبه شد. درصد تغییر اندازه سطح برش های پرتقال خشک و آگیری شده که معیاری از چروکیدگی و کاهش سطح محصول در طی فرآیند خشک کردن می باشد، با استفاده از روش پردازش تصویر و رابطه ۵ محاسبه و گزارش شد.

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \quad (5)$$

¹ Sum of squared error (SSE)

³ Correlation coefficient (r)

² Root mean square error (RMSE)

⁴ Hp Scanjet 300, China

قابل ملاحظه زمان فرآوری مواد غذایی و افزایش ظرفیت تولید و همچنین بهبود کیفیت و ماندگاری محصولات نهایی می شود (Díaz *et al.*, 2003; Lagnika *et al.*, 2021). در این پژوهش، همه برش‌های پرتقال تا رسیدن به وزن ثابت درون خشک کن فرورسرخ شدند و هر ۱ دقیقه تغییرات وزن آنها ثبت شد. شکل ۲ افت رطوبت برش‌های پرتقال تیمار شده با مایکروویو طی فرآیند خشک شدن با فرورسرخ را نشان می‌دهد.

در شکل ۱ اثر زمان اعمال مایکروویو بر زمان خشک شدن برش‌های پرتقال در خشک کن فرورسرخ گزارش شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با اعمال مایکروویو، زمان خشک شدن نمونه‌ها کاهش یافته است. گرمایش مایکروویو شکلی از گرمایش دی‌الکتریک است که به وسیله آن تولید گرما در مواد با رسانایی الکتریکی پایین توسط یک میدان الکتریکی با فرکانس بالا امکان پذیر است (Seremet *et al.*, 2020). استفاده از انرژی مایکروویو در برخی از فرآیندها منجر به کاهش

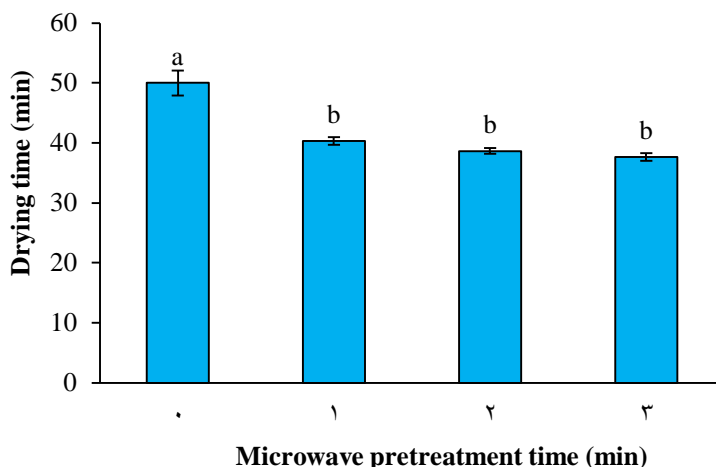


Figure 1- Impact of microwave pretreatment on drying time of orange slices in infrared dryer. Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$).

شکل ۱- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر زمان خشک شدن برش‌های پرتقال در خشک کن فرورسرخ. حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$).

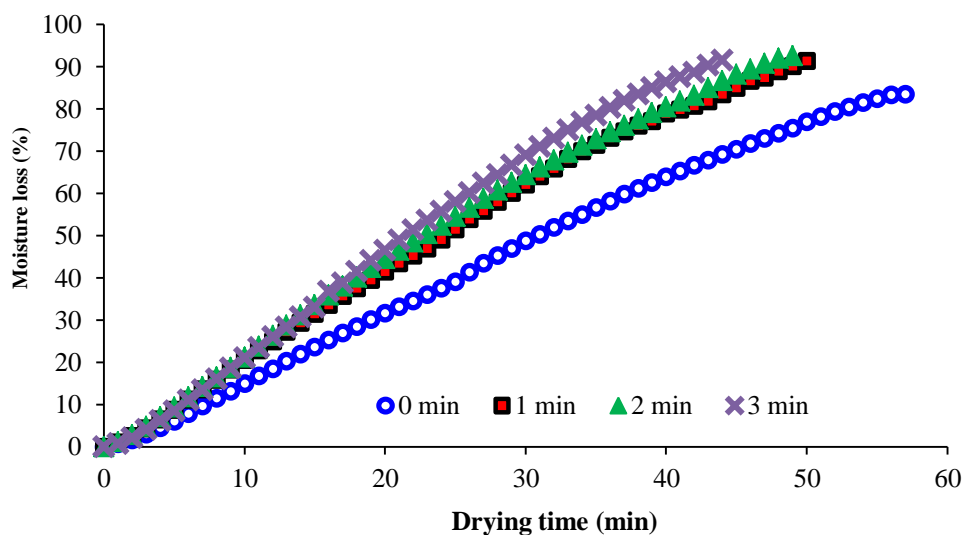


Figure 2- Impact of microwave pretreatment on moisture loss rate of orange slices during drying process in infrared dryer

شکل ۲- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر سرعت افت رطوبت برش‌های پرتقال طی فرآیند خشک شدن در خشک کن فرورسرخ

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

رطوبت مؤثر میوه ها و سبزی ها مسائل مهمی برای شبیه سازی خشک کردن توسط مدل های سینتیکی هستند و برای تجزیه و تحلیل انتقال رطوبت از محصولات طی فرآیند خشک کردن اساسی است (Darvishi *et al.*, 2014). با محاسبه مقدار نسبت رطوبت برای تمامی تیمارهای مورد مطالعه طی فرآیند خشک کردن برش های پرتقال با خشک کن فرسرخ و برازش نقاط حاصل از ترسیم نمودارهای نسبت رطوبت-زمان، به وسیله مدل های سینتیکی مختلف، نتایج برای هر مدل مورد بررسی در جداول ۱ تا ۶ گزارش شد. در جدول ۱ ضرایب مدل پیچ برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین (r) و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضرایب ثابت مدل پیچ (n و k) برای برش های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل پیچ به ترتیب در محدوده $0/0030$ تا $0/0154$ ، $0/9961$ تا $0/9990$ و $0/0075$ تا $0/0177$ به دست آمد.

- اثر مایکروویو بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

در سیستم خشک کردن مایکروویو، انرژی مایکروویو دارای ظرفیت تولید حرارت داخلی است و می تواند به راحتی به لایه های داخلی محصول نفوذ کند. جذب سریع انرژی باعث تبخیر سریع آب و ایجاد یک شار خروجی بخار می شود، بنابراین، در این سیستم گرادیان حرارتی و گرادیان رطوبت در یک جهت هستند (Darvishi *et al.*, 2014). در شکل ۳ اثر زمان تیماردهی با مایکروویو بر تغییر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برش های پرتقال طی خشک شدن در خشک کن فرسرخ گزارش شده است. همان طور که در این شکل ملاحظه می شود با افزایش زمان اعمال مایکروویو، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت افزایش یافته است که منجر به تسریع خروج رطوبت از برش های پرتقال و در نتیجه کاهش زمان خشک شدن شده است.

- مدل سازی فرآیند خشک شدن برش های پرتقال

مدل های نیمه نظری و تجربی نه تنها برای توصیف سینتیک خشک کردن میوه ها و سبزی ها، بلکه طراحی و بهینه سازی خشک کن ها نیز استفاده می شوند. برآورد سرعت خشک کردن برای خشک کردن لایه نازک و عوامل انتشار

۳۶

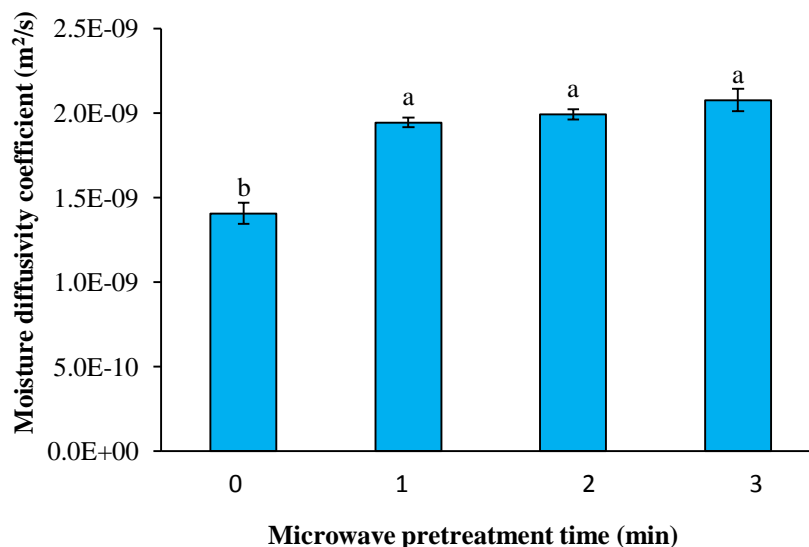


Figure 3- Impact of microwave pretreatment on effective moisture diffusivity coefficient of orange slices in infrared dryer.

Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$).

شکل ۳- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برش های پرتقال در خشک کن فرسرخ.

حروف مختلف بالای ستون ها نشان دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0/05$).

جدول ۱- ضرایب مدل بیج برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ

Table 1- The coefficients of Page model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	k ¹	n ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	0.0062	1.4202	0.0058	0.9980	0.0105
1 min	0.0079	1.4393	0.0114	0.9985	0.0153
2 min	0.0093	1.4097	0.0096	0.9986	0.0145
3 min	0.0076	1.4753	0.0092	0.9988	0.0142

¹ The coefficients of Page model ($MR = \exp(-kt^n)$)

برای برش‌های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل تقریب انتشار به ترتیب در محدوده ۰/۰۰۳۲ تا ۰/۰۲۳۰، ۰/۹۹۷۲ تا ۰/۹۹۹۵ و ۰/۰۰۷۹ تا ۰/۰۲۱۹ به دست آمد.

در جدول ۵ ضرایب مدل نیوتن برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضریب ثابت مدل نیوتن (k) برای برش‌های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل نیوتن به ترتیب در محدوده ۰/۱۱۲۴ تا ۰/۱۳۰۲، ۰/۹۶۹۱ تا ۰/۹۸۱۲ و ۰/۰۵۱۷ تا ۰/۰۷۲۴ به دست آمد.

در جدول ۶ ضرایب مدل میدیلی برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضرایب ثابت مدل میدیلی (a, k, n) برای برش‌های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل میدیلی به ترتیب در محدوده ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۲۳، ۰/۹۹۹۷ تا ۰/۹۹۹۹ و ۰/۰۰۳۴ تا ۰/۰۰۶۷ به دست آمد.

در جدول ۲ ضرایب مدل ونگ و سینگ برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضرایب ثابت مدل ونگ و سینگ (a و b) برای برش‌های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل ونگ و سینگ به ترتیب در محدوده ۰/۰۰۴۳ تا ۰/۰۲۶۵، ۰/۹۹۶۴ تا ۰/۹۹۹۳ و ۰/۰۱۰۳ تا ۰/۰۲۲۴ به دست آمد.

در جدول ۳ ضرایب مدل هندرسون و پاییس برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضرایب ثابت مدل هندرسون و پاییس (a و k) برای برش‌های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این پژوهش مقادیر مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به دست آمده توسط مدل هندرسون و پاییس به ترتیب در محدوده ۰/۰۶۲۹ تا ۰/۱۳۱۳، ۰/۹۸۲۵ تا ۰/۹۹۱۱ و ۰/۰۳۵۲ تا ۰/۰۵۵۳ به دست آمد.

در جدول ۴ ضرایب مدل تقریب انتشار برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش‌های پرتقال طی خشک‌کردن با خشک‌کن فرسرخ گزارش شده است. در این جدول، مجموع مربعات خطا، ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا و همچنین ضرایب ثابت مدل تقریب انتشار (a, k, b)

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

جدول ۲- ضرایب مدل ونگ و سینگ برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ

Table 2- The coefficients of Wang and Singh model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	a ¹	b ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	-0.0183	0.0000	0.0144	0.9980	0.0160
1 min	-0.0235	0.0001	0.0078	0.9990	0.0128
2 min	-0.0248	0.0001	0.0058	0.9992	0.0114
3 min	-0.0242	0.0001	0.0109	0.9985	0.0154

¹ The coefficients of Wang and Singh model ($MR=1+at+bt^2$)

جدول ۳- ضرایب مدل هندرسون و پابیس برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ

Table 3- The coefficients of Henderson and Pabis model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	a ¹	k ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	1.0987	0.0294	0.0765	0.9893	0.0384
1 min	1.1030	0.0376	0.1031	0.9866	0.0465
2 min	1.0977	0.0391	0.0847	0.9881	0.0433
3 min	1.1110	0.0398	0.1063	0.9856	0.0487

¹ The coefficients of Henderson and Pabis model ($MR=aexp(-kt)$)

جدول ۴- ضرایب مدل تقریب انتشار برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ

Table 4- The coefficients of Approximation of diffusion model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	a ¹	k ¹	b ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	-9.9827	0.0598	0.8929	0.0077	0.9989	0.0120
1 min	-21.0033	0.0717	0.9573	0.0168	0.9979	0.0187
2 min	-13.2233	0.0748	0.9370	0.0131	0.9982	0.0171
3 min	-27.9267	0.0768	0.9622	0.0154	0.9979	0.0186

¹ The coefficients of Approximation of diffusion model ($MR=aexp(-kt)+(1-a)exp(-kbt)$)

جدول ۵- ضرایب مدل نیوتن برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ

Table 5- The coefficients of Newton model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	k ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	0.0258	0.1538	0.9783	0.0541
1 min	0.0334	0.5078	0.9772	0.0599
2 min	0.0349	0.1462	0.9793	0.0564
3 min	0.0351	0.1858	0.9747	0.0637

¹ The coefficients of Newton model ($MR=exp(-kt)$)

جدول ۶- ضرایب مدل میدیلی برای محاسبه مقادیر نسبت رطوبت برش های پرتقال طی خشک کردن با خشک کن فرسرخ

Table 6- The coefficients of Midilli model for calculating moisture ratio values of orange slices during drying by infrared dryer

Microwave time	a ¹	k ¹	n ¹	b ¹	Sum of squared error (SSE)	Correlation coefficient (r)	Root mean square error (RMSE)
0 min	1.0048	-0.0220	0.9868	-0.0285	0.0018	0.9997	0.0060
1 min	1.0016	-0.0218	0.9557	-0.0339	0.0012	0.9998	0.0049
2 min	1.0070	0.0135	1.1997	-0.0039	0.0007	0.9999	0.0042
3 min	1.0023	-0.0132	1.0619	-0.0237	0.0010	0.9999	0.0048

¹ The coefficients of Midilli model ($MR=aexp(-kt^n)+bt$)

تازه استفاده شده در این پژوهش به ترتیب برابر ۳۵/۴۳، ۰/۹۶ و ۵۲/۸۵ بود. شکل ۵ اثر زمان اعمال مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های پرتقال خشک‌شده توسط خشک‌کن فرسرخ را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که اعمال مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر تغییر شاخص‌های رنگی برش‌های پرتقال خشک‌شده ندارد ($p > 0.05$). متوسط شاخص زردی، قرمزی و روشنایی برش‌های پرتقال تیمار شده با مایکروویو و خشک‌شده توسط خشک‌کن فرسرخ به ترتیب برابر ۴۴/۷۰، ۳/۰۴ و ۵۵/۷۹ بود. در پژوهشی تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر پارامترهای رنگی برش‌های پرتقال خشک‌شده بررسی شده و متوسط شاخص‌های زردی، قرمزی و روشنایی برش‌های پرتقال خشک‌شده با هوای داغ به ترتیب برابر ۴۰/۷۱، ۲/۰۲ و ۵۲/۶۵ گزارش شده است (Salehi *et al.*, 2024). در شکل ۶ اثر زمان اعمال مایکروویو بر شاخص‌های رنگی برش‌های پرتقال آبیگری شده گزارش شده است. متوسط شاخص زردی، قرمزی و روشنایی برش‌های پرتقال آبیگری شده به ترتیب برابر ۴۱/۴۹، ۱/۶۱ و ۶۰/۵۰ بود. اعمال تیمار مایکروویو باعث کاهش روشنایی سطحی برش‌های پرتقال آبیگری شده شد؛ البته این کاهش معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). همچنین این شکل نشان می‌دهد که اعمال مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر تغییر شاخص‌های رنگی قرمزی و زردی برش‌های پرتقال آبیگری شده ندارد ($p > 0.05$).

اثر مایکروویو بر چروکیدگی سطحی

چروکیدگی مواد غذایی یک پدیده فیزیکی رایج است که طی فرآیندهای مختلف خشک‌کردن مشاهده می‌شود. این تغییرات بر کیفیت محصول خشک‌شده تأثیر می‌گذارد و باید در هنگام بررسی پروفایل‌های رطوبت و دما در ماده خشک‌شده، در نظر گرفته شود (Mayor and Sereno, 2004). متوسط اندازه برش‌های تازه پرتقال‌های استفاده شده در این پژوهش، ۴۵/۹۶ سانتی مترمربع بود که بعد از خشک شدن توسط خشک‌کن فرسرخ، متوسط اندازه آنها به ۳۴/۳۳ سانتی مترمربع کاهش یافت و بعد از آبیگری نیز متوسط اندازه آنها ۳۸/۵۵ سانتی مترمربع شد. در شکل ۴ اثر زمان اعمال مایکروویو بر چروکیدگی سطحی برش‌های پرتقال خشک‌شده و آبیگری شده گزارش شده است.

اثر مایکروویو بر شاخص‌های رنگ

استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف جهت کاهش زمان خشک‌کردن و بهبود خواص تغذیه‌ای، امروزه جایگاه ویژه‌ای در صنعت خشک‌کردن مواد غذایی دارد. همچنین استفاده از پیش‌تیمار سبب کاهش برخی از تغییرات ناخواسته مانند تغییر رنگ و بافت محصولات کشاورزی می‌شود (Sahin and Doymaz, 2017). روش مورد استفاده برای خشک‌کردن مواد به‌طور قابل‌توجهی بر سه پارامتر رنگی تأثیر می‌گذارد (Krokida *et al.*, 2001). متوسط شاخص زردی، قرمزی و روشنایی برش‌های پرتقال

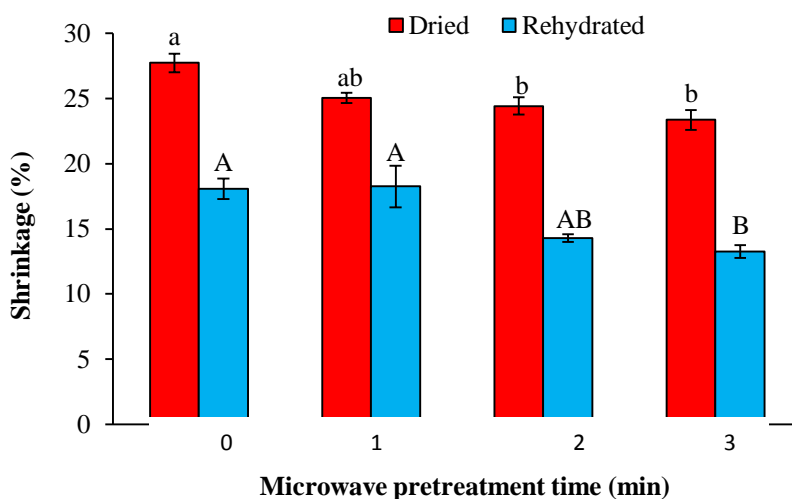


Figure 4- Impact of microwave pretreatment on shrinkage of dried and rehydrated orange slices. Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$).

شکل ۴- تأثیر پیش‌تیمار مایکروویو بر چروکیدگی برش‌های پرتقال خشک و آبیگری شده.

حروف مختلف بالای ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$).

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

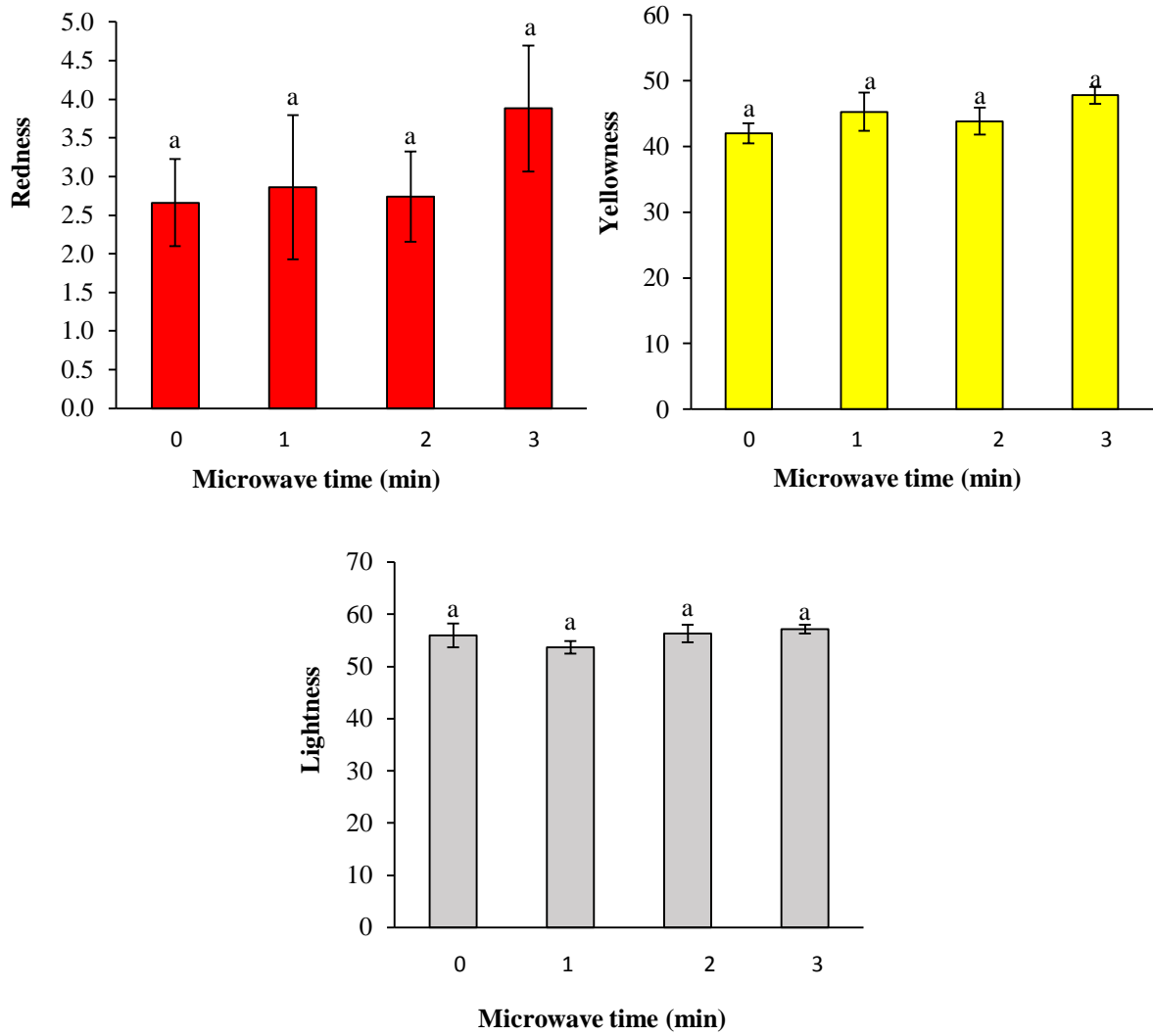
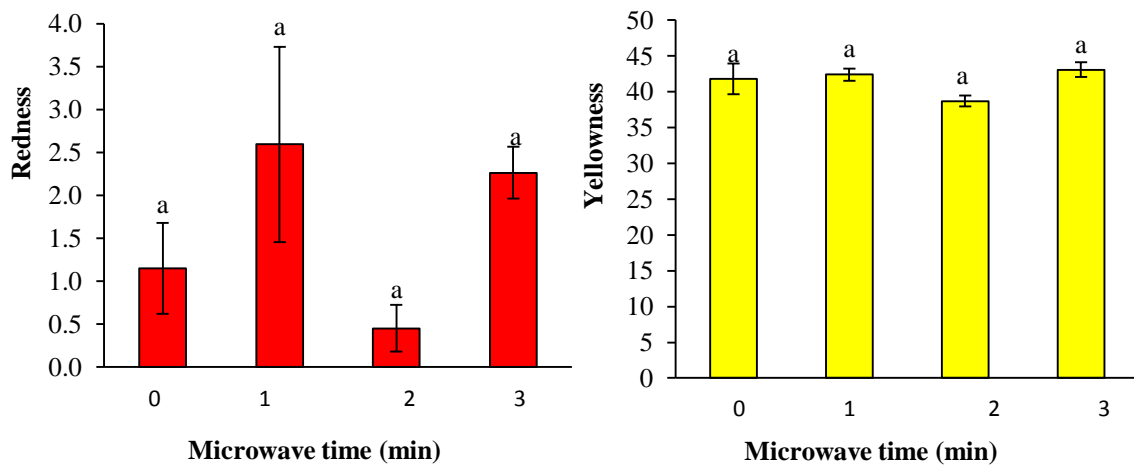


Figure 5- Impact of microwave pretreatment on color indexes of dried orange slices. Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p>0.05$).

شکل ۵- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر شاخص های رنگی برش های پرتقال خشک شده.
حروف یکسان بالای ستون ها نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین ها است ($p>0.05$).



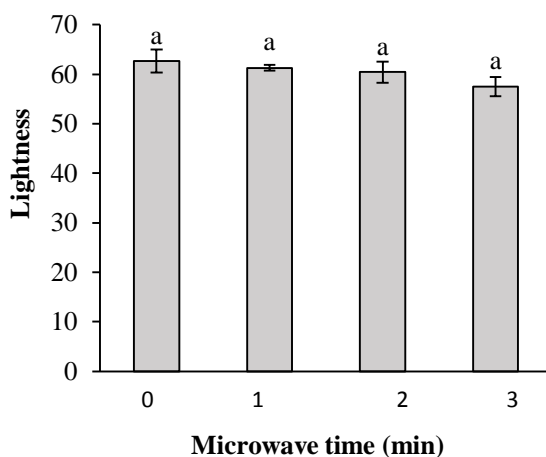


Figure 6- Impact of microwave pretreatment on color indexes of rehydrated orange slices.
Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p > 0.05$).

شکل ۶- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر شاخص های رنگی برش های پرتقال آبگیری شده.

حروف یکسان بالای ستون ها نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین ها است ($p > 0.05$).

(Salehi et al., 2024).

بحث

خشک کردن یک روش متداول نگهداری است که برای ماندگاری طولانی مدت غذاها استفاده می شود. با افزایش زمان تیمار مایکروویو از صفر به ۳ دقیقه، میانگین زمان خشک شدن برش های پرتقال در خشک کن فروسرخ به صورت معناداری از ۵۰/۰۰ به ۳۷/۶۷ دقیقه کاهش یافت ($p < 0.05$). از نظر آماری اختلاف معناداری بین اثر زمان های مختلف تیماردهی با مایکروویو بر زمان خشک شدن برش های پرتقال در خشک کن فروسرخ نبود ($p > 0.05$). Özkan-Karabacak و همکاران (۲۰۲۰) اثر پیش تیمار مایکروویو بر سینتیک انتقال جرم و ظرفیت آبگیری مجدد برش های پرتقال خشک شده در خلأ را بررسی و گزارش کردند که استفاده از این پیش تیمار باعث افزایش سرعت خروج آب و کاهش زمان خشک شدن برش های پرتقال طی فرایند خشک کردن با خلأ می شود.

با توجه به شکل ۲، تیماردهی برش های پرتقال توسط امواج مایکروویو باعث تسریع در سرعت انتقال جرم و افزایش سرعت خروج رطوبت از نمونه ها شده است. همراستا با نتایج این پژوهش، Minaei و Motevali (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از پیش تیمار مایکروویو باعث کاهش مصرف انرژی و زمان خشک شدن دانه های انار می شود.

شکل ۷ تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر شاخص تغییر رنگ کل برش های پرتقال خشک و آبگیری شده را نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که اعمال مایکروویو تأثیر معنی داری بر شاخص تغییر رنگ کل برش های پرتقال خشک و آبگیری شده ندارد ($p > 0.05$).

- اثر مایکروویو بر آبگیری مجدد

در روش مایکروویو، جذب سریع انرژی توسط مولکول های آب باعث تبخیر سریع آب شده که منجر به افزایش سرعت خشک شدن محصولات کشاورزی می گردد. طی این فرآیند جریانی از بخار به سمت سطح بیرونی محصول ایجاد می شود. علاوه بر بهبود سرعت خشک کردن، این شار خروجی می تواند به جلوگیری از چروکیدگی و انقباض ساختار بافت که در اکثر روش های خشک کردن سنتی رخ می دهد، کمک کند؛ بنابراین ویژگی های آبرسانی بهتری در محصولات خشک شده در مایکروویو قابل انتظار است (Díaz et al., 2003). در شکل ۸ اثر زمان اعمال مایکروویو بر آبگیری مجدد برش های پرتقال خشک شده توسط خشک کن فروسرخ گزارش شده است. همراستا با نتایج این پژوهش، Salehi و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که اعمال مایکروویو تأثیر معنی داری بر تغییر درصد آبگیری مجدد برش های پرتقال خشک شده توسط هوای داغ دارد ($p < 0.05$) و با اعمال ۲ و ۳ دقیقه مایکروویو بر برش های پرتقال، درصد آبگیری مجدد افزایش یافته است

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسرخ

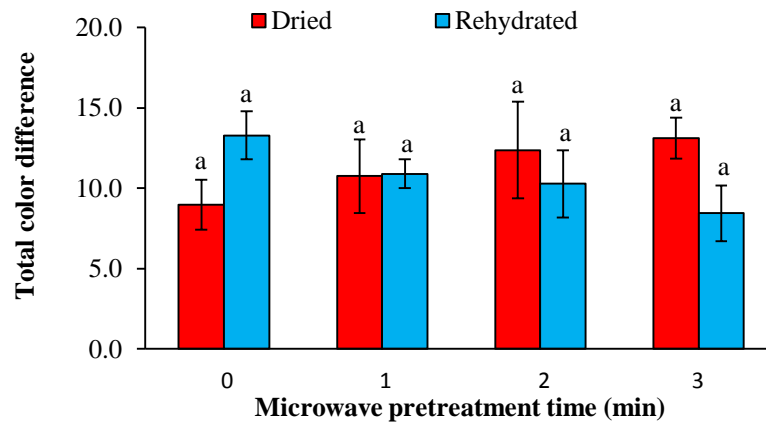


Figure 7- Impact of microwave pretreatment on total color difference index of dried and rehydrated orange slices.

Same letters above the columns indicate no significant difference between means ($p > 0.05$).

شکل ۷- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر شاخص تغییر رنگ کلی برش های پرتقال خشک و آبگیری شده.

حروف یکسان بالای ستون ها نشان دهنده عدم تفاوت معنادار بین میانگین ها است ($p > 0.05$).

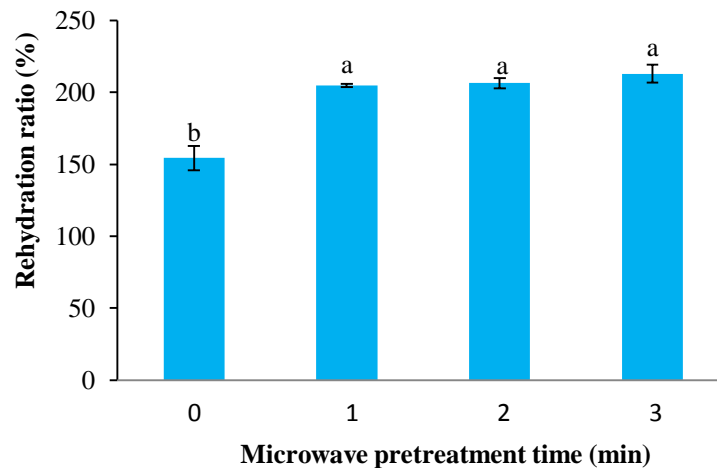


Figure 8- Impact of microwave pretreatment on rehydration ratio of dried orange slices by infrared dryer.

Different letters above the columns indicate significant difference ($p < 0.05$).

شکل ۸- تأثیر پیش تیمار مایکروویو بر آبگیری مجدد برش های پرتقال خشک شده با خشک کن فرسرخ.

حروف مختلف بالای ستون ها نشان دهنده تفاوت معنادار است ($p < 0.05$).

مؤثر رطوبت و بالاترین سرعت خشک شدن مربوط به روش مایکروویو-خلاء است. همچنین زمان خشک شدن پوست پرتقال در خشک کن های سینی، فرسرخ-خلاء و مایکروویو - خلاء به ترتیب برابر ۳۰۰، ۱۰۶ و ۲۰/۷ دقیقه بوده است (Abderrahim, Bozkir *et al.*, 2021). همکاران (۲۰۲۲) تأثیر خشک کردن همرفتی و مایکروویو بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برش های پرتقال خونی طی فرآیند خشک کردن را بررسی کردند. در این پژوهش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برش های پرتقال برای خشک کردن با مایکروویو در محدوده $2/07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $15/67 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ و برای خشک کردن همرفتی از $0/07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ تا $1/97 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ گزارش شده است.

در این پژوهش، با افزایش زمان تیماردهی با مایکروویو از صفر به ۳ دقیقه، مشاهده گردید که ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برای برش های پرتقال قرار گرفته در خشک کن فرسرخ به صورت معنی داری از $1/41 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ به $2/08 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ افزایش یافت ($p < 0.05$). البته از نظر آماری اختلاف معناداری بین اثر زمان های مختلف تیماردهی با مایکروویو بر ضریب نفوذ مؤثر رطوبت برش های پرتقال هنگام خشک شدن در خشک کن فرسرخ نبود ($p > 0.05$). گروهی از پژوهشگران تأثیر روش های مختلف خشک کردن شامل سینی، فرسرخ-خلاء و مایکروویو-خلاء بر ویژگی های کیفی پوست پرتقال را بررسی کردند. بر اساس نتایج گزارش توسط این پژوهشگران، بیشترین مقدار ضریب نفوذ

تجزیه و تحلیل سینتیک خشک کردن روشی برای پیش‌بینی رفتار محصولات در طول فرآیندهای خشک کردن است. امکان مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک کردن و فراهم کردن مناسب‌ترین شرایط عملیاتی در مرحله طراحی از مزایای کلیدی این روش است و برای بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن، طراحی تجهیزات و بهبود کیفیت محصول قابل توجه است (Aykin-Dinçer *et al.*, 2020; Karimi *et al.*, 2021). خشک شدن برش‌های پرتقال با انتخاب بهترین تناسب بین نسبت رطوبت آزمایشی و نسبت رطوبت پیش‌بینی شده به دست آمده از شش مدل مختلف خشک کردن لایه‌نازک، مدل‌سازی و نتایج هر مدل گزارش شد. در مجموع، نتایج مدل‌سازی سینتیکی داده‌های آزمایشگاهی خشک کردن برش‌های پرتقال نشان داد که بهترین مدل برای این فرآیند با بالاترین برازش، بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین خطا، مدل میدیلی است. مشابه این پژوهش، Karimi و همکاران (۲۰۲۱) نیز استفاده از مدل میدیلی برای مدل‌سازی و بررسی سینتیک خشک شدن کنگر پیش‌تیمار شده با مایکروویو را پیشنهاد کرده‌اند.

چروکیدگی، کوچک شدن یا کاهش حجم خارجی مهمترین تغییر فیزیکی است که یک محصول در طول خشک شدن متحمل می‌شود. این فرآیند با انتقال رطوبت داخلی همراه است. عواملی که در تغییر شکل و چروکیدگی نقش دارند عبارتند از انتقال همزمان جرم و حرارت در طول خشک شدن محصول و تنش‌های اعمال شده بر ساختار سلولی (Mayor and Sereno, 2004; Rokhbin and Azadbakht, 2021). براساس نتایج گزارش شده در شکل ۴، اعمال مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر تغییر درصد چروکیدگی سطحی برش‌های پرتقال خشک‌شده و آگیری شده داشت ($p < 0.05$) و اعمال این پیش‌تیمار باعث کاهش درصد چروکیدگی سطحی محصول شد. با افزایش زمان تیمار مایکروویو از ۰ به ۳ دقیقه، میانگین چروکیدگی سطحی برش‌های پرتقال خشک‌شده به صورت معنی‌داری از ۲۷/۴۲ درصد به ۲۳/۳۶ درصد کاهش یافت ($p < 0.05$). بعد از فرآیند آگیری مجدد، از نظر پارامتر تغییرات سطح (چروکیدگی سطحی) نسبت به نمونه تازه، نمونه شاهد بیشترین مقدار (۱۸/۰۸٪) و نمونه پیش‌تیمار شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه کمترین مقدار (۱۳/۲۴٪) را

داشتند. Rokhbin and Azadbakht (۲۰۲۱) چروکیدگی برش‌های پرتقال در طول خشک کردن مایکروویو همراه با پیش‌تیمار اهمی را بررسی کردند. طی فرآیند خشک کردن در مایکروویو، نمونه‌ها عکس‌برداری شدند و در فواصل ۱ دقیقه‌ای وزن شدند تا درصد چروکیدگی بررسی شود. نتایج نشان داد که در طول فرآیند گرمایش با مایکروویو، هرگونه افزایش قدرت مایکروویو (از ۹۰ به ۹۰۰ وات) منجر به تشدید سطح انقباض برش‌های پرتقال می‌شود.

رنگ عامل قابل‌توجهی برای ترجیح خرید مصرف‌کنندگان است. به‌طور کلی، تجزیه رنگ‌دانه (به‌ویژه کاروتنوئیدها) و واکنش‌های غیر آنزیمی (واکنش میلارد) منجر به تغییر رنگ در برش‌های پرتقال می‌شود (Özkan-Karabacak *et al.*, 2020). با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه، مقدار عددی شاخص تغییر رنگ کل برای برش‌های پرتقال خشک توسط فروسرخ از ۸/۹۷ به ۱۳/۱۳ افزایش یافت ($p > 0.05$). برای نمونه‌های آگیری شده نیز مشاهده شد که با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه، مقدار عددی شاخص تغییر رنگ کل از ۱۳/۲۷ به ۸/۴۵ کاهش یافت ($p > 0.05$). این موضوع نشان می‌دهد که با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو، تغییرات رنگی نمونه آگیری شده کمتر شده و از نظر ظاهری و شاخص‌های رنگی، این برش‌ها به برش‌های تازه پرتقال نزدیک‌تر هستند. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، Salehi و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که اعمال پیش‌تیمار مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر شاخص تغییر رنگ کل برش‌های پرتقال خشک (توسط هوای داغ) و آگیری شده دارد ($p < 0.05$) و شاخص تغییر رنگ کل با اعمال پیش‌تیمار مایکروویو کاهش یافته و از نظر آماری اختلاف معناداری بین نمونه تیمار شده با مایکروویو به مدت ۳ دقیقه با نمونه شاهد وجود داشته است ($p < 0.05$). Özkan-Karabacak و همکاران (۲۰۲۰) مقدار شاخص تغییر رنگ کل برش‌های پرتقال پیش‌تیمار شده توسط مایکروویو و خشک‌شده در خلأ را در محدوده ۵/۸۰ تا ۱۱/۶۲ گزارش کردند.

براساس نتایج گزارش شده در شکل ۸، اعمال مایکروویو تأثیر معنی‌داری بر تغییر درصد آگیری مجدد برش‌های پرتقال خشک‌شده دارد ($p < 0.05$) و با اعمال تیمار مایکروویو بر برش‌های پرتقال، درصد آگیری مجدد

استفاده از مایکروویو به عنوان پیش تیمار قبل از خشک کردن برش های پرتقال توسط پرتو فرسوخ

مدل های ریاضی بر داده های آزمایشگاهی برازش و در مجموع مدل میدیلی بر اساس بالاترین برازش، بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین خطا، به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. با افزایش زمان تیمار مایکروویو از ۰ به ۳ دقیقه، مقدار تغییرات سطح برش های پرتقال خشک شده به صورت معنی داری از ۲۷/۷ درصد به ۲۳/۴ درصد کاهش یافت ($p < 0.05$). همچنین با افزایش زمان تیمار مایکروویو از ۰ به ۳ دقیقه، مقدار تغییرات سطح برش های پرتقال آبیگری شده به صورت معنی داری از ۱۸/۱ درصد به ۱۳/۲ درصد کاهش یافت ($p < 0.05$). اعمال مایکروویو تأثیر معنی داری بر تغییر شاخص های رنگی (زردی، قرمزی و روشنائی) برش های پرتقال خشک و آبیگری شده نداشت ($p > 0.05$). اعمال پیش تیمار مایکروویو تأثیر معنی داری بر شاخص تغییر رنگ کل برش های پرتقال خشک و آبیگری شده نداشت ($p > 0.05$). با اعمال تیمار مایکروویو، آبیگری مجدد برش های پرتقال به صورت معنی داری افزایش یافت. به طور کلی، استفاده از پیش تیمار مایکروویو قبل از خشک کردن برش های پرتقال به دلیل افزایش سرعت انتقال جرم، کاهش زمان خشک شدن، کاهش چروکیدگی سطحی و افزایش آبیگری مجدد توصیه می شود.

سپاسگزاری

از حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا از این پژوهش، قدردانی می کنیم.

منابع

- Abderrahim, K.A., Remini, H., Dahmoune, F., Mouhoubi, K., Berkani, F., Abbou, A., Aoun, O., Dairi, S., Belbahi, A., Kadri, N. & Madani, K. (2022). Influence of convective and microwave drying on Algerian blood orange slices: Drying kinetics and characteristics, modeling, and drying energetics. *Journal of Food Process Engineering*, 45(12), e14176. <http://doi.org/10.1111/jfpe.14176>.
- Aykın-Dinçer, E., Kılıç-Büyükkurt, Ö. & Erbaş, M. (2020). Influence of drying techniques and temperatures on drying kinetics and quality characteristics of beef slices. *Heat and Mass Transfer*, 56(1), 315-320. <http://doi.org/10.1007/s00231-019-02712-z>.

افزایش یافت. البته بین زمان های مختلف تیمار مایکروویو از نظر آماری اختلاف معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$). با افزایش زمان تیمار مایکروویو از ۰ به ۳ دقیقه، میانگین آبیگری مجدد برش های پرتقال خشک شده از ۱۵۴/۲۵ درصد به ۲۱۲/۸۵ درصد افزایش یافت. Özkan-Karabacak و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که استفاده از پیش تیمار مایکروویو باعث افزایش ظرفیت آبیگری مجدد برش های پرتقال خشک شده با خشک کن خلأ می شود. این افزایش می تواند به دلیل شکاف های بین سلولی ایجاد شده توسط انرژی مایکروویو باشد که در این صورت نمونه خشک می تواند آب بیشتری در طول آبیگری مجدد جذب کند (Horuz et al., 2017). Delfiya و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که پیش تیمار مایکروویو به مدت ۳ دقیقه باعث افزایش سرعت خشک شدن و بهبود آبیگری مجدد هویج خشک شده می شود. همچنین با اعمال این پیش تیمار تغییرات در سفتی بافت و رنگ حداقل گزارش شده است.

نتیجه گیری

به دلیل تنوع زیاد روش های خشک کردن، انتخاب بهترین روش برای یک محصول معین دشوار است. هنگام انتخاب یک روش یا فرآیند، پارامترهای مختلفی از جمله کنترل دقیق فرآیند، زمان خشک کردن کوتاه، مصرف انرژی کم و کیفیت محصول خشک شده باید در نظر گرفته شود. خشک کردن با استفاده از اشعه فرسوخ روشی است که در مقایسه با خشک کردن همرفتی تلفات انرژی کمتری را ارائه می دهد، زیرا انرژی در یک موج الکترومغناطیسی مستقیماً توسط محصول جذب می شود. در این پژوهش اثر پیش تیمار مایکروویو بر سرعت انتقال جرم طی فرآیند خشک کردن برش های پرتقال در خشک کن فرسوخ بررسی شد. پیش تیمار مایکروویو سبب افزایش سرعت خروج رطوبت، افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و در نتیجه باعث کاهش زمان خشک کردن برش های پرتقال شد. اعمال تیمار مایکروویو باعث کاهش زمان خشک شدن برش های پرتقال شد و این تأثیر معنی دار بود ($p < 0.05$). با افزایش زمان تیمار مایکروویو، مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت به صورت معنی داری افزایش یافت. جهت بررسی سینتیک خشک شدن برش های پرتقال تیمار شده،

Bozkir, H., Tekgül, Y. & Erten, E.S. (2021). Effects of tray drying, vacuum infrared drying, and vacuum microwave drying techniques on quality characteristics and aroma profile of orange peels. *Journal of Food Process Engineering*, 44(1), e13611. <http://doi.org/10.1111/jfpe.13611>.

Darvishi, H., Asl, A.R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G. & Khodaei, J. (2014). Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130-138. <http://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.03.002>.

Delfiya, A., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N. & Mishra, A.K. (2018). Effect of microwave blanching and brine solution pretreatment on the quality of carrots dried in solar-biomass hybrid dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13510. <http://doi.org/10.1111/jfpp.13510>.

Diaz, G.R.z., Martinez-Monzó, J., Fito, P. & Chiralt, A. (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(2), 203-209. [http://doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00016-X](http://doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00016-X).

Eftekhari, A., Salehi, F., Gohari Ardabili, A. & Aghajani, N. (2023a). Effect of ultrasonic pretreatments and process condition on mass transfer rate during osmotic dehydration of orange slices. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(135), 21-30. <http://doi.org/10.22034/fsct.19.135.31>.

Eftekhari, A., Salehi, F., Gohari Ardabili, A. & Aghajani, N. (2023b). Effects of basil seed and guar gums coatings on sensory attributes and quality of dehydrated orange slices using osmotic-ultrasound method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127056. <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127056>.

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H. & Maskan, M. (2017). Effects of hybrid (microwave-convective) and convective drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food Chemistry*, 230, 295-305. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.046>.

Karimi, S., Layeghinia, N. & Abbasi, H. (2021). Microwave pretreatment followed by associated microwave-hot air drying of *Gundelia tournefortii* L.: drying kinetics,

energy consumption and quality characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 57(1), 133-146. <http://doi.org/10.1007/s00231-020-02948-0>.

Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. & Saravacos, G.D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(1), 53-59. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00426.x>.

Lagnika, C., Riaz, A., Jiang, N., Song, J., Li, D., Liu, C., Wei, Q. & Zhang, M. (2021). Effects of pretreatment and drying methods on the quality and stability of dried sweet potato slices during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15807. <http://doi.org/10.1111/jfpp.15807>.

Mayor, L. & Sereno, A.M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386. [http://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00144-4](http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4).

Mongpraneet, S., Abe, T. & Tsurusaki, T. (2002). Accelerated drying of welsh onion by far infrared radiation under vacuum conditions. *Journal of Food Engineering*, 55, 147-156.

Motevali, A. & Minaei, S. (2012). Effects of microwave pretreatment on the energy and exergy utilization in thin-layer drying of sour pomegranate arils. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 18(1), 63-72. <http://doi.org/10.2298/CICEQ110702047M>.

Mothibe, K.J., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Wang, Y.C. & Cheng, X. (2014). Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties. *Drying Technology*, 32(15), 1848-1856. <http://doi.org/10.1080/07373937.2014.952381>.

Özkan-Karabacak, A., Acoğlu, B., Yolci Ömeroğlu, P. & Çopur, Ö.U. (2020). Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43(11), e13511. <http://doi.org/10.1111/jfpe.13511>.

Rokhbin, A. & Azadbakht, M. (2021). The shrinkage of orange slices during microwave drying and ohmic pretreatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15400. <http://doi.org/10.1111/jfpp.15400>.

Sahin, M. & Doymaz, İ. (2017). Estimation of cauliflower mass transfer parameters during

convective drying. *Heat and Mass Transfer*, 53(2), 507-517. <http://doi.org/10.1007/s00231-016-1835-0>.

Salehi, F. (2019). Color changes kinetics during deep fat frying of kohlrabi (*Brassica oleracea var. gongylodes*) slice. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 511-519. <http://doi.org/10.1080/10942912.2019.1593616>.

Salehi, F. (2020). Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 586-602.

<http://doi.org/10.1080/15538362.2019.1616243>.

Salehi, F., Cheraghi, R. & Rasouli, M. (2022). Mass transfer kinetics (soluble solids gain and water loss) of ultrasound-assisted osmotic dehydration of apple slices. *Scientific Reports*, 12(1), 15392. <http://doi.org/10.1038/s41598-022-19826-w>.

Salehi, F., Samary, K. & Tashakori, M. (2024). Effect of microwave pretreatment on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration of dried orange slices. *Food Research Journal*, 33(4), 63-75. <http://doi.org/10.22034/fr.2024.59519.1913>.

Salehi, F. & Satorabi, M. (2021). Influence of infrared drying on drying kinetics of apple slices coated with basil seed and xanthan gums. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 519-527. <http://doi.org/10.1080/15538362.2021.1908202>.

Sánchez-Sáenz, C.M., Nascimento, V.R., Biagi, J.D. & Oliveira, R.A.d. (2015). Mathematical modeling of the drying of orange bagasse associating the convective method and infrared radiation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(12), 1178-1184. <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1178-1184>.

Seremet, L., Nistor, O.-V., Andronoiu, D.G., Mocanu, G.D., Barbu, V.V., Maidan, A., Rudi, L. & Botez, E. (2020). Development of several hybrid drying methods used to obtain red beetroot powder. *Food Chemistry*, 315, 125637.

<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125637>.

Srikiatden, J. & Roberts, J.S. (2006). Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 143-152. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.026>.

Swasdisevi, T., Devahastin, S., Ngamchum, R. & Soponronnarit, S. (2007). Optimization of a drying process using infrared-vacuum drying of Cavendish banana slices. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29(3), 809-816.

Talens, C., Castro-Giraldez, M. & Fito, P.J. (2016). A thermodynamic model for hot air microwave drying of orange peel. *Journal of Food Engineering*, 175, 33-42. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.001>.

Verma, S., Sharma, V. & Kumari, N. (2020). Microwave pretreatment of tomato seeds and fruit to enhance plant photosynthesis, nutritive quality and shelf life of fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111015. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111015>.

Zhou, Y.-H., Staniszewska, I., Liu, Z.-L., Zielinska, D., Xiao, H.-W., Pan, Z., Nowak, K.W. & Zielinska, M. (2021). Microwave-vacuum-assisted drying of pretreated cranberries: Drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity. *LWT*, 146, 111464. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111464>.

بررسی ویژگی‌های ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی عصاره اناریجه (*Froriepia subpinnata*) درون پوشانی شده با مالتودکسترین - کنسانتره آب پنیر

راحله عالی پور^a، عبدالله علیزاده کارسالاری^{b*}، داریوش خادمی شورمستی^c

^a دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

^b استادیار گروه شیمی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

^c استادیار گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶

۴۷

چکیده

مقدمه: طی سالیان اخیر بکارگیری درون پوشانی جهت حفظ و افزایش اثرات ترکیبات زیست فعال عصاره‌های گیاهی با نتایج امیدوارکننده‌ای همراه بوده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی درون پوشانی عصاره هیدروالکلی اناریجه با مالتودکسترین - کنسانتره آب پنیر بر ویژگی‌های ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی آن انجام شد.

مواد و روش‌ها: عصاره هیدروالکلی اناریجه با روش التراسوند استخراج و جهت درون پوشانی عصاره از مالتودکسترین - کنسانتره پروتئینی آب پنیر به عنوان حامل استفاده شد. فعالیت ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۵۰۰ ppm عصاره آزاد و درون پوشانی شده با یکدیگر مقایسه شد.

یافته‌ها: میانگین قطر ذرات درون پوشانی شده عصاره برابر ۱۶۹/۸۹ نانومتر و بازده درون پوشانی ۶۵/۲۵ درصد بود. در غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره درون پوشانی شده فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH (۹۱/۲۵ درصد) و مقدار عددی بتاکاروتن (۹۲/۲۴ درصد) به طور معنی داری بیشتر از سایر تیمارها بود ($P < 0/05$). ضمن اینکه قطر هاله عدم رشد در غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره درون پوشانی شده علیه باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سرئوس (به ترتیب ۲۶/۰۲ و ۲۲/۰۳ میلی متر) و گرم منفی اشریشیا کلی و سالمونلا انترکا (به ترتیب ۲۰/۴۹ و ۱۹/۳۸ میلی متر) نیز بیشتر از سایر تیمارها بود ($P < 0/05$).

نتیجه گیری: نتایج نشان داد درون پوشانی عصاره اناریجه با مالتودکسترین - کنسانتره آب پنیر به طور معنی داری خاصیت ضد اکسیدانی و ضد باکتریایی آن را افزایش داد. لذا می توان از غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره اناریجه درون پوشانی شده به عنوان جایگزین آنتی اکسیدان و آنتی بیوتیک سنتزی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اناریجه (*Froriepia subpinnata*)، ترکیبات زیست فعال، درون پوشانی، ضد اکسیدان، هاله عدم رشد باکتری.

مقدمه

امروزه تقاضای جامعه جهت استفاده از محصولات غذایی حاوی ترکیبات زیست‌فعال با افزایش روزافزونی مواجه است. با این حال، به دلیل پایداری پایین اغلب ترکیبات زیست‌فعال در برابر شرایط نامطلوب محیطی، کارایی خود را از دست می‌دهند. لذا حفظ و افزایش پایداری این ترکیبات حساس و در ادامه رهایش کنترل شده آنها طی نگهداری و کاربرد اجتناب‌ناپذیر است. جهت دستیابی به این هدف، یکی از مؤثرترین روش‌ها، استفاده از فناوری درون‌پوشانی است (Shaygannia et al., 2021). فناوری درون‌پوشانی که کاربردهای مختلفی در صنایع غذایی و دارویی دارد، فرآیندی است که طی آن مواد فعال و حساس به وسیله حامل‌ها یا مواد دیواره پوشانده می‌شوند. استفاده از این مواد دیواره می‌تواند پایداری ترکیبات را در برابر شرایط نامطلوب محیطی بهبود بخشد (Timilsena et al., 2020). مواد مختلفی از جمله کربوهیدرات‌ها (مالتودکسترین، کربوکسی‌متیل سلولز، آلژینات)، پروتئین‌ها (کنسانتره آب‌پنیر، کازئین، ژلاتین) و لیپیدها (لیپوزوم‌ها) به تنهایی یا به طور ترکیبی به‌عنوان مواد دیواره جهت تولید ریزپوشینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و نوع مواد دیواره مورد استفاده می‌تواند بر کارایی درون‌پوشانی و رهایش ترکیبات فعال مؤثر باشد (Labuschagne., 2018). درون‌پوشانی با کربوکسی‌متیل سلولز با افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره چای ترش موجب تأخیر در فساد اکسیداتیو ناگت مرغ شد (Bahrami and Khademi, 2020). Hosseini و همکاران (۲۰۲۲) ضمن تولید نانولیپوزوم‌ها و نانوپوشینه‌های عصاره دانه چیا با غلظت‌های مختلف عصاره و صمغ دانه ریحان گزارش کردند که خواص فیزیکی‌وشیمیایی ریزپوشینه‌ها تحت تأثیر غلظت مواد هسته و دیواره قرار دارد. همچنین Shakhkol و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند افزایش غلظت مواد دیواره و نسبت پروتئین (کازئینات سدیم) به پلی‌ساکارید (مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده) موجب بهبود حفظ ترکیبات فرار و فعالیت ضداکسیدانی اسانس درون‌پوشانی شده آویشن باغی گردید. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که کارایی ایزوله پروتئین آب‌پنیر در درون‌پوشانی عصاره کاکوتی بیشتر از پلی‌ساکاریدها بود (Hosseinia et al., 2020).

بررسی ویژگی‌های عصاره اناریجه درون‌پوشانی شده با مالتودکسترین-کنسانتره آب‌پنیر

اناریجه با نام علمی *Froriepia subpinnata* دارای ۱۵۰ گونه در اوراسیا و آفریقا، بیش از ۱۶ گونه در اروپا و ۲۲ گونه در ایران می‌باشد. جنس *Pimpinella affinis* یک گیاه معطر دوساله با ارتفاع ۲۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متر از خانواده چتریان با گل‌های سفید و میوه بیضی‌شکل است. این گونه به‌صورت وحشی در مرکز، غرب و شمال ایران و بیش‌تر در مناطق کوهستانی با آب و هوای سرد رشد می‌کند (Mozaffarian, 2012). بر اساس نتایج تحقیقی ترکیبات پاراسیمن-۸-آل (۵۱/۱۳ درصد)، آلفا ترپینولن (۷/۶۹ درصد) و لیمونن (۶/۸۳ درصد) بیشترین مقدار را در اسانس اناریجه به خود اختصاص دادند (Mehrabanjoubani et al., 2021). Salmanian و همکاران (۲۰۱۸) حضور اسید کلرژنیک به‌عنوان اسید فنولی غالب در گیاه اناریجه را گزارش کردند. ضمن اینکه نشان دادند عصاره اناریجه در تمام ارزیابی‌ها از فعالیت ضداکسیدانی قابل ملاحظه‌ای برخوردار بود. ترکیب شیمیایی عصاره هگزانی قسمت‌های هوایی اناریجه با تجزیه و تحلیل GC/MS مورد ارزیابی قرار گرفت و ۲۱ ترکیب (۸۰/۶۰ درصد) از کل، از جمله فیتواسترول‌ها و هیدروکربن‌ها، شناسایی شدند. همچنین مقدار قابل توجهی از فلاونوئیدها در عصاره متانولی این گیاه با روش رنگ سنجی برآورد شد. با تجزیه و تحلیل HPLC دو فلاونوئید روتین و کاتچین در عصاره متانولی آن شناسایی شدند (Bahrami et al., 2021). اثر ضدباکتریایی اناریجه نیز مورد بررسی قرار گرفت؛ اثربخشی عصاره متانولی اناریجه در برابر دو باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کلی* تأیید شد (Bahrami et al., 2021). Rahmati - Joneidabad و Alizadeh Behbahani (۲۰۲۱) در بررسی اثر ضد قارچی اسانس اناریجه بر دو سویه *آسپرژیلوس نایجر* (کپک سیاه) و *بوتریتیس سینه‌را* (کپک خاکستری) عامل فساد میوه انگور گزارش کردند که اسانس اناریجه به خوبی توانست از رشد سویه‌های قارچی عامل فساد سیاه و خاکستری انگور در شرایط آزمایشگاهی جلوگیری کند. Farhadi و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که استفاده از عصاره اناریجه موجب افزایش ماندگاری گوشت ماهی طی دوره نگهداری شد.

با توجه به محدودیت تحقیقات مرتبط با ویژگی‌های زیستی عصاره درون‌پوشانی شده اناریجه، این تحقیق با

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل

مقدار کل ترکیبات فنولی موجود در عصاره از روش طیف سنجی با معرف فولین - سیو کالچو مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بر اساس میلی‌اکی‌والان اسید گالیک بر گرم عصاره گزارش شد (Salmanian et al., 2018). ۰/۵ میلی‌لیتر از هر عصاره ۰/۱ درصد (محلول ۰/۱ گرم از عصاره با ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال) با ۲/۵ میلی‌لیتر از معرف سیو کالچو رقیق شده با آب با نسبت (۱۰:۱) ترکیب و با ۲ میلی‌لیتر از کربنات سدیم ۷/۵ درصد مخلوط شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده و جذب آنها در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Biophotometer - آمریکا) قرائت شد.

درون‌پوشانی عصاره

جهت درون‌پوشانی عصاره اناریجه از مالتودکسترین - کنسانتره پروتئینی آب پنیر به عنوان حامل استفاده شد. نانو درون‌پوشانی با استفاده از روش Sharifi و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت. به طور خلاصه مخلوط مالتودکسترین - آب پنیر (۵۰:۵۰ درصد) تغلیظ شده در محلول کلروفرم: متانول (۱:۳ وزنی/وزنی) انحلال یافت. سپس محلول حاصله به منظور حذف حلال‌ها در تبخیرکننده چرخان تحت خلاء (TAM - ایران) قرار داده شد تا یک فیلم نازک بر روی دیوار تشکیل شود. عصاره اناریجه نیز در محلول دی کلرو متان : متانول (۱:۲ وزنی/وزنی) حل شد. مخلوط حاصل با مخلوط مالتودکسترین - آب پنیر تغلیظ شده با نسبت ۱:۴ (مالتودکسترین - آب پنیر تغلیظ شده: عصاره) ترکیب گردید و حلال‌های موجود تحت جو نیتروژن تبخیر شد. فیلم تولید شده در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات (۱۰ میلی‌مول / لیتر، pH= 7.4) حل شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سلسیوس توسط دستگاه هموژنایزر در فشار ۲۰۰ بار هموژنیزه شد. سوسپانسیون بدست آمده به مدت ۲ ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد. سپس با سرعت ۶۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. در نهایت عصاره گیاه اناریجه درون‌پوشانی شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی (دمای ۸۴- درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت) خشک شد.

هدف مقایسه کارایی ویژگی‌های ضداکسیداسیونی و ضدباکتریایی این عصاره در دو غلظت ۱۰۰۰ و ۵۰۰ ppm به صورت آزاد و درون‌پوشانی شده با مالتودکسترین - کنسانتره پروتئینی آب پنیر اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش شامل محیط کشت‌های برات و مولر هیلتون آگار، بتاکاروتن، اتانول، معرف فولین - سیو کالچو، اسیدگالیک بافر فسفات و مالتو دکسترین از نمایندگی شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. دیسک تتراسایکلین (TC₃₀) از شرکت پادتن طب (ایران) خریداری شد. گیاه اناریجه بعد از جمع‌آوری از رویشگاه‌های طبیعی این گیاه در استان مازندران توسط بخش گیاه‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری مورد تأیید قرار گرفت. پس از جمع‌آوری و جداسازی ناخالصی‌ها گیاه کامل در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۵ دقیقه خشک و با آسیاب خانگی (مولینکس، فرانسه) بصورت کاملاً پودری درآمد پودر یکنواخت از الکی با اندازه حفرات ۵۰۰ میکرومتر (مش ۳۵) عبور داده شد و تا زمان آزمایش در کیسه‌های محافظ نسبت به هوا و رطوبت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شد (Saremi et al., 2017). سایر مواد شیمیایی با درجه آزمایشگاهی از نمایندگی شرکت مرک (آلمان) خریداری شد.

استخراج عصاره با اولتراسوند

ابتدا پودر اناریجه با نسبت ۱ به ۵ با حلال اتانول ۹۶ درصد - آب (۵۰:۵۰) مخلوط شد. سپس در حمام اولتراسوند (مدل Grant XB6، انگلستان) به مدت ۳۰ دقیقه و دمای ۳۵ درجه سلسیوس و فرکانس ۳۵ کیلو هرتز قرار گرفت. سپس محلول با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف و با سرعت ۳۰۰۰ واحد گرانش به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در ادامه حلال با استفاده از دستگاه تبخیرکننده چرخان تحت خلاء (TAM - ایران) با حداکثر دمای ۵۰ درجه سلسیوس جداسازی گردید. عصاره حاصله تا زمان انجام آزمایش در فریزر با دمای ۱۸ - درجه سلسیوس نگهداری شد (Saremi et al., 2017).

بررسی ویژگی‌های عصاره اناریجه درون پوشانی شده با مالتودکسترین-کنسانتره آب پنیر

ارزیابی فعالیت ضد اکسیدانی

توانایی دادن الکترون یا اتم‌های هیدروژن عصاره آزاد و درون پوشانی شده بر اساس بی‌رنگ شدن محلول متانولی، بنفش رنگ ۲،۲-دی فنیل - ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) به عنوان معرف، تعیین شد (Williams et al., 1995). برای محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره آزاد ابتدا ۰/۱ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف اناریجه (۰/۵، ۱، ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، با ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH (محلول متانولی ۰/۱ میلی‌مولار) مخلوط نموده. سپس به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق در مکان تاریک نگهداری گردید و سپس جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. جهت تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره درون پوشانی شده، ۰/۱ میلی‌لیتر محلول عصاره استخراج شده از ریز پوشینه برداشته و باقی مراحل همانند مراحل توضیح داده شده در مورد عصاره آزاد صورت گرفت. درصد مهار رادیکال DPPH طبق رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{رابطه (۱)} \quad 100 \times \frac{\text{جذب نمونه - جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} = \text{درصد مهار رادیکال آزاد}$$

$$\text{رابطه (۲)} \quad 100 \times \frac{As(24) - As(0)}{Ac(24) - Ac(0)} = \text{درصد بازدارندگی}$$

As(24) و As(0) به ترتیب جذب نمونه بعد از ۲۴ ساعت و جذب نمونه در زمان شروع، Ac(24) و Ac(0) به ترتیب جذب نمونه شاهد بعد از ۲۴ ساعت و نمونه شاهد در زمان شروع.

اندازه‌گیری قطر پوشینه

اندازه‌گیری قطر پوشینه‌ها، با استفاده از دستگاه پارتیکل سایز آنالایزر (Shimadzu مدل SALD - ژاپن) و بر اساس روش تفرق نور لیزر محاسبه گردید. در نهایت، متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد. کلیه نمونه‌ها در سه تکرار اندازه‌گیری شدند (Joye et al., 2015).

$$\text{رابطه (۳)} \quad D_{4,3} = \frac{\sum nidi^4}{\sum nidi^3}$$

n_i : تعداد ذرات، d_i : قطر ذرات، $D_{4,3}$: میانگین قطر حجمی (میانگین حجم معادل)

اندازه‌گیری راندمان ریز پوشانی

جهت اندازه‌گیری راندمان ریز پوشانی عصاره به طور خلاصه ابتدا ۲۰۰ میلی‌گرم ریز پوشینه به ۲ میلی‌لیتر محلول استخراجی شامل متانول-اسید استیک - آب (به ترتیب به نسبت ۴۲-۸-۵۰ حجمی/حجمی/حجمی) اضافه شد و به مدت یک دقیقه همزده شد و در ادامه تحت اولتراسوند (Chroma tech - تایوان) به مدت ۲۰ دقیقه در دو مرحله با شدت ۱۰۰ درصد و فرکانس ۲۰ کیلو هرتز قرار گرفت. بعد از این مرحله سانتریفوژ کردن در ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. مقدار ترکیبات فنولی کل در محلول رویی با استفاده از روش فولین سیوکالچو تعیین شد. برای محاسبه مقدار اولیه ترکیبات فنولی، در ابتدا به صورت تئوری مقدار عصاره‌ای که در ۲۰۰ میلی‌گرم ریز پوشینه را انتظار داشته محاسبه و سپس مقدار ترکیبات فنولی آن محاسبه و بدست آمد. درصد کارایی ریز پوشینه از رابطه (۴) محاسبه شد (Robert et al., 2015).

$$\text{رابطه (۴)} \quad 100 \times \frac{W_1 - W_2}{W_2} = \text{کارایی درون پوشانی (درصد)}$$

آزمون بی‌رنگ شدن بتا کاروتن - لینولئیک اسید

برای انجام آزمایش ابتدا یک محلول پایه از بتا کاروتن - لینولئیک اسید تهیه شد. ۵ میلی‌گرم از بتا کاروتن در ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم حل شد. ۶۰۰ میکرولیتر از محلول تهیه شده به مخلوط ۴۰ میلی‌گرم لینولئیک اسید و ۴۰۰ میلی‌گرم توئین ۴۰ اضافه شد. سپس با روش تبخیر در خلاء کلروفرم جدا گردید و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به آن اضافه و به شدت هم زده شد. ۵ میلی‌لیتر از امولسیون تهیه شده فوق به لوله آزمایش منتقل و ۲۰۰ میکرولیتر از هر عصاره (غلظت ۱۰۰۰ ppm) به لوله آزمایش اضافه شد. تمامی این مراحل در مورد BHA (غلظت ۱۰۰۰ ppm) به عنوان آنتی‌اکسیدان استاندارد و شاهد (محلول بتا کاروتن تهیه شده به اضافه حلال‌های مربوطه) انجام شد. جذب نوری نمونه‌ها با اسپکتروفوتومتر در ۴۷۰ نانومتر در زمان صفر و همچنین بعد از ۲۴ ساعت گرمخانه‌گذاری در دمای اتاق قرائت شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بر اساس رابطه (۲) به عنوان درصد بازداری بیان شد (Bougatef et al., 2009).

فاقد باکتری نیز برای اطمینان از عدم آلودگی محیط های کشت استفاده شد.

- تعیین حداقل غلظت بازدارندگی و حداقل غلظت کشندگی عصاره

باکتری های مورد مطالعه با غلظت تقریبی حاوی 10^8 cfu به میزان $0/2$ میلی لیتر به هر یک از لوله های آزمایش افزوده شد. در مرحله بعد محلول های عصاره با استفاده از توئین ۸۰ (مرک، آلمان) و آب مقطر به نحوی تهیه شد که با ریختن مقدار $0/2$ میلی لیتر از هر کدام از محلول ها درون لوله های آزمایش حاوی محیط کشت BHI، MRS و SS اگر باکتری های مورد آزمایش ساخته شد. سپس لوله های آزمایش در انکوباتور در دمای 37 درجه سلسیوس برای باکتری های گرمخانه گذاری و پس از 24 ساعت پایین ترین غلظتی که در آن هیچ کدورتی مشاهده نگردید به عنوان حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) در نظر گرفته شد. پس از تعیین MIC جهت تعیین حداقل غلظت کشندگی (MBC) در شرایط کاملاً استریل از محتویات ارلن هایی که پس از 24 ساعت گرمخانه گذاری هنوز شفاف بودند و کدورتی در آنها مشاهده نشد به میزان $0/1$ میلی لیتر در پتری دیش های حاوی محیط کشت مناسب هر گونه باکتری کشت سطحی داده شد. پس از 24 ساعت گرمخانه گذاری در دمای مناسب رشد و عدم رشد باکتری ها بررسی و اولین غلظتی که در آن رشد مشاهده نگردید به عنوان MBC در نظر گرفته شد (Shahnazi et al., 2007).

- بررسی فعالیت ضد باکتریایی عصاره

قبل از شروع و انجام آزمون بر روی عصاره جهت تسهیل روش و بدست آوردن محدوده ضد باکتریایی عصاره، کشت اولیه انجام شد. در این مطالعه از دیسک استاندارد تتراسایکلین به عنوان شاهد مثبت استفاده شد. برای بررسی انتشار دیسک ابتدا از کشت 24 ساعته سوسپانسیون باکتری ها که در هر میلی لیتر حاوی 5×10^8 cfu بود استاندارد محلول $0/5$ مک فارلند تهیه شد. جهت تهیه دیسک های مورد آزمایش، هر دیسک با 15 میکرو لیتر از عصاره با غلظت های مختلف اشباع گردید. در این آزمایشات از محیط کشت مولر - هیلتون آگار حاوی سوسپانسیون میکروبی استفاده شد. بعد از ریختن محیط حاوی میکروب

W_1 : مقدار عصاره در مایع فوقانی از نانو پوشینه، W_2 : مقدار عصاره افزوده شده برای آماده سازی همان مقدار نانو پوشینه (میلی گرم گالیک اسید)

- فعال سازی باکتری های مورد بررسی

باکتری های *Escherichia coli* ATCC 25922، *Salmonella typhimurium* ATCC 14028، *Bacillus*، *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 و *cereus* PTCC 1154 از سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران تهیه شدند. ویال لیوفیلیزه حاوی باکتری های مذکور طبق دستورالعمل، تحت شرایط استریل از محل مورد نظر باز و از آن کشت مادر و سپس کشت ذخیره تهیه شد. کشت ذخیره در فریزر 20 - درجه سلسیوس قرار داده شد و در مراحل بعدی از آن استفاده شد (Grisi and Lira, 2005).

- روش چاهک گذاری در آگار جهت تعیین فعالیت ضد میکروبی عصاره

فعالیت ضد میکروبی غلظت های $0/5$ ، 1 و 2 میلی گرم در میلی لیتر عصاره آبی آزاد و ریزپوشانی شده اناریجه با استفاده از روش چاهک گذاری در آگار تعیین شد (Grisi and Lira., 2005). باکتری های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *باسیلوس سرئوس*، *سالمونلا تیفی موریوم* و *اشرشیا کلی* در محیط آبگوشت BHI به مدت 24 ساعت قبل از آزمون در دمای 37 درجه سلسیوس گرمخانه گذاری شد. در ادامه کشت سطحی با استفاده از 100 میکرو لیتر محیط کشت مایع محتوی تقریباً $10^7 - 10^8$ cfu/ml از باکتری های مذکور در محیط کشت جامد BHI انجام شد. در مرحله بعد در هر پلیت سه چاهک با قطر 6 میلی متر توسط سر پیپت پاستور استریل ایجاد شد و درون هر چاهک بیست میکرو لیتر از غلظت های مختلف عصاره آزاد و درون پوشانی شده ریخته شد. سپس پلیت ها در 37 درجه سلسیوس به مدت 24 ساعت گرمخانه گذاری شدند. قطر هاله ها با کمک کولیس با دقت $0/2$ \pm میلی متر اندازه گیری گردید. قطر هاله تشکیل شده (میلی متر) به عنوان شاخص فعالیت ضد میکروبی در نظر گرفته شد. برای اطمینان از رشد یکنواخت باکتری بر روی سطح پلیت، یک پلیت کشت داده شده فاقد عصاره، در نظر گرفته شد. همچنین از یک پلیت

بررسی ویژگی‌های عصاره اناریجه درون پوشانی شده با مالتودکسترین-کنسانتره آب‌پنیر

بر روی لایه زیرین و خشک کردن محیط در انکوباتور، دیسک‌های تهیه شده در فاصله مناسب از یکدیگر کاشته شد. محیط‌های کشت باکتری‌ها به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه ۳۷ درجه سلسیوس نگهداری شد. در ادامه قطر هاله‌های عدم رشد توسط کوئیس اندازه‌گیری شد (باقری و همکاران، ۲۰۱۶). جهت قضاوت در مورد قطر عدم رشد و میزان تأثیر عصاره از استاندارد قدرت تأثیر عصاره استفاده شد (FaikAhmet et al., 2008).

- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصله با نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌های به دست آمده از بازده و مقادیر فنولی کل در دو دمای مختلف از آزمون t-student استفاده شد. همچنین به منظور بررسی اثر غلظت بر فعالیت ضداکسیدانی و ضد میکروبی عصاره اناریجه از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده گردید. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها (سه تکرار) در مواردی که اثر کلی تیمارها معنی‌دار شد از آزمون دانکن استفاده شد ($P < 0.05$).

یافته‌ها

مقدار ترکیبات فنولی عصاره اناریجه در مطالعه حاضر برابر با $185/96 \pm 2/68$ میلی‌گرم اسید گالیک / گرم ماده خشک عصاره به دست آمد. میانگین اندازه ذرات عصاره درون پوشانی برابر $169/89 \pm 3/43$ نانومتر و بازده درون پوشانی $65/25 \pm 0/97$ درصد بود.

نتایج در جدول ۱ بیانگر آن است که عصاره هیدروالکلی اناریجه بر روی مهار رادیکال‌های DPPH مؤثر بود. در عین حال با افزایش غلظت عصاره میزان مهار فعالیت رادیکال آزاد DPPH نیز افزایش یافت ($P < 0.05$). همچنین عصاره‌های درون پوشانی شده در غلظت‌های برابر

در مقایسه با نمونه‌های درون پوشانی نشده طور معنی‌داری فعالیت ضداکسیدانی بالاتری داشتند ($P < 0.05$). ضمن اینکه بالاترین فعالیت ضداکسیدانی در غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره درون پوشانی شده دیده شد ($P < 0.05$) که اختلاف آماری معنی‌داری با ضداکسیدان سنتزی BHA نداشت.

مقادیر عددی بتا کاروتن در تیمارهای مختلف در جدول ۱ آمده است. با توجه به نتایج، با افزایش غلظت عصاره، مقادیر عددی بتا کاروتن افزایش یافت ($P < 0.05$). همچنین فعالیت ضداکسیدانی عصاره‌های درون پوشانی شده به طور معنی‌داری بالاتر از انواع آزاد بود ($P < 0.05$). ضمن اینکه عصاره درون پوشانی شده در غلظت ۱۰۰۰ ppm به طور معنی‌داری بالاترین خاصیت ضداکسیدانی را نشان داد که بیش از ضداکسیدان سنتزی BHA بود.

یکی از روش‌های ارزیابی ویژگی‌های ضدباکتریایی، بررسی قطر هاله عدم رشد باکتری‌هاست. نتایج مربوط به قطر هاله عدم رشد عصاره اناریجه علیه باکتری‌های بیماری‌زا (شریشیا کلی و سالمونلا انتریکا (گرم منفی)، استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سرئوس (گرم مثبت)) در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد با افزایش غلظت و نیز درون پوشانی عصاره میزان فعالیت ضدباکتریایی افزایش یافت ($P < 0.05$). بیش‌ترین فعالیت ضد میکروبی بر روی هم باکتری‌های گرم مثبت و هم باکتری‌های گرم منفی در غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره درون پوشانی شده دیده شد ($P < 0.05$). در ارتباط با باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سرئوس غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره به شکل آزاد و درون پوشانی شده فعالیت ضد میکروبی بالاتری نسبت به تتراسایکلین داشتند. در ارتباط با باکتری‌های گرم منفی عصاره درون پوشانی شده در غلظت ۱۰۰۰ ppm فعالیت ضد میکروبی بالاتری نسبت به تتراسایکلین داشت.

جدول ۱- تأثیر درون پوشانی بر فعالیت ضداکسیدانی عصاره اناریجه

Table 1- Effect of encapsulation on antioxidant activity of *Froriepia subpinnata* extract

Treatments	DPPH free radical scavenging (%)	β -Carotene/linoleic acid (% inhibition rate)
Extract 500 ppm	60.64±0.56 ^d	55.18±1.18 ^e
Extract 1000 ppm	84.88±0.83 ^b	81.78±1.95 ^c
Encap. Extract 500 ppm	69.51±0.30 ^c	70.93±1.31 ^d
Encap. Extract 1000 ppm	91.25±1.15 ^a	92.24±1.09 ^a
BHA	90.04±0.44 ^a	89.01±0.39 ^b

Encap. Extract: Encapsulated Extract, BHA: Butylated hydroxyanisol

Different letters in columns indicate the statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$)

نمودند. در عین حال Esmaeli و همکاران (۲۰۱۷) ترکیبات فنولی در اناریجه عصاره‌گیری شده به روش حلال را ۳۸/۶۷ میلی‌گرم اسید گالیک / گرم ماده خشک گزارش نمودند که حدود ۲۰ درصد مقدار این ترکیبات در تحقیق حاضر است. نتایج نشان داد استفاده از روش اولتراسوند با توجه به اثرات کاویتاسیون ناشی از امواج اولتراسوند می‌تواند بازده استخراج ترکیبات فنولی را افزایش دهد. همچنین تخریب مکانیکی دیواره سلولی منجر به نفوذ بیشتر حلال در بافت‌های گیاهی می‌شود که به خروج هر چه بیشتر ترکیبات فنولی عصاره از بافت‌های گیاه کمک می‌کند (Hussain et al., 2008). بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که استخراج به روش اولتراسوند به دلیل تسریع در زمان عصاره‌گیری، بازده استخراج را افزایش می‌دهد و فعالیت ضداکسیدانی بالاتری نسبت به عصاره‌های استخراج شده به روش حلال دارد (Khan et al., 2010).

نتایج مربوط به تأثیر درون‌پوشانی بر حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره اناریجه علیه باکتری‌های بیماری‌زا به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است. با توجه به نتایج، بیشترین و کمترین مقادیر MIC و MBC به ترتیب علیه باکتری‌های گرم منفی *سالمونلا انتریکا* و گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* مشاهده شد ($P < 0.05$). داده‌ها نشان داد درون‌پوشانی به‌طور معنی‌داری فعالیت ضد میکروبی عصاره اناریجه را بهبود بخشید ($P < 0.05$).

بحث

در بررسی مقدار ترکیبات فنولی، Saremi و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشابه با نتایج این آزمایش، مقدار ترکیبات فنولی در عصاره اناریجه مستخرج به روش اولتراسوند را ۱۸۳/۶۶ میلی‌گرم اسید گالیک / گرم ماده خشک گزارش

جدول ۲- میانگین قطر هاله عدم رشد عصاره اناریجه علیه باکتری‌های بیماری‌زا (میلی‌متر)

Table 2- Average diameter of zone of inhibition of bacterial (mm) against extract of *Froriepia subpinnata*

Treatments	G(+) bacteria		G(-) bacteria	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella enterica</i>
Ext.500 ppm	16.92±0.32 ^d	14.10±0.10 ^d	11.83±0.20 ^c	11.88±0.34 ^c
Ext. 1000 ppm	20.69±0.79 ^b	19.06±0.78 ^b	18.08±0.45 ^c	16.32±0.30 ^c
Encap. Ext. 500 ppm	18.56±0.40 ^c	16.21±0.26 ^c	14.74±0.65 ^d	13.79±0.22 ^d
Encap. Ext. 1000 ppm	26.02±0.52 ^a	22.03±0.43 ^a	20.49±0.51 ^a	19.28±0.28 ^a
T.Cycline	18.11±0.19 ^c	17.27±0.34 ^b	19.45±0.96 ^b	18.13±0.48 ^b

Encap. Ext.: Encapsulated Extract, T.Cycline: Tetracycline

Different letters in columns indicate the statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$)

جدول ۳- میانگین مقادیر حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) علیه باکتری‌های بیماری‌زا (ppm)

Table 3 – Means of MIC against pathogens (ppm)

Treatments	G(+) bacteria		G(-) bacteria	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella enterica</i>
Ext. 1000 ppm	291.70 ^a	308.30 ^a	416.75 ^a	458.30 ^a
Encap. Ext. 1000 ppm	241.20 ^b	250.00 ^b	366.60 ^b	391.70 ^b

جدول ۴- میانگین مقادیر حداقل غلظت کشندگی (MBC) علیه باکتری‌های بیماری‌زا (ppm)

Table 4- Means of MBC against pathogens (ppm)

Treatments	G(+) bacteria		G(-) bacteria	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella enterica</i>
Ext. 1000 ppm	508.30 ^a	508.30 ^a	608.30 ^a	625.00 ^a
Encap. Ext. 1000 ppm	416.70 ^b	425.00 ^b	525.00 ^b	558.30 ^b

Encap. Ext.: Encapsulated Extract

Different letters in columns indicate the statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$)

بررسی ویژگی‌های عصاره اناریجه درون پوشانی شده با مالتودکسترین-کنسانتره آب پنیر

در بررسی قطر ذرات عصاره درون پوشانی شده، Miri و همکاران (۱۳۹۵) متوسط اندازه قطرات امولسیون نانواسانس آویشن را که با غلظت‌های مختلف مالتودکسترین-کنسانتره پروتئینی آب پنیر نانودرون پوشانی شده بود را بین ۱۲۸/۵۶ تا ۳۲۳/۶۳ نانومتر گزارش کردند. راندمان درون پوشانی عصاره انار نیز با استفاده از مالتو دکسترین و ایزوله پروتئینی سویا به ترتیب ۵۲/۹ و ۸۲/۸ درصد گزارش شد (Robert et al., 2015).

مهار رادیکال‌های آزاد DPPH یکی از شناخته شده‌ترین سازو کارهایی است که به واسطه آن ترکیبات ضد اکسیدانی می‌توانند اکسایش چربی‌ها را مهار نمایند. در این روش، نتایج بر حسب درصد کاهش در میزان جذب محلول‌های DPPH در حضور عصاره نسبت به محلول DPPH فاقد عصاره بیان می‌گردد (Leong and Shui, 2002). مشابه با نتایج حاصل از این آزمایش، رابطه مستقیم بین غلظت عصاره و مهار رادیکال آزاد DPPH و خاصیت ضد اکسیدانی عصاره اناریجه در تحقیقات دیگری نیز گزارش شد (Tharun and Kumar., 2013; Saremi et al., 2017; Esmaeili et al., 2017; Salmanian et al., 2018). همچنین با آزمون بی‌رنگ شدن بتاکاروتن می‌توان به قدرت خاصیت ضد اکسیدانی عصاره‌ها پی برد. به این صورت که مواد ناشی از اکسیداسیون اسید لینولیک با بتاکاروتن بر هم کنش داده سبب تجزیه هیدرو پراکسیدهای تولیدی و سبب کاهش رنگ شده در نتیجه میزان جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر کاهش می‌یابد (Mohdaly و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج مطالعه حاضر نشان داد عصاره اناریجه می‌تواند اکسیداسیون بتاکاروتن را کاهش و رادیکال‌های آزاد را مهار نماید. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره پتانسیل بالایی به عنوان ضد اکسیدان در سیستم‌های امولسیون دارد و با افزایش غلظت عصاره این خاصیت افزایش یافت.

بطور کلی اثرات ضدباکتریایی عصاره‌ها و اسانس‌ها بر میکروارگانیسم‌های مختلف به غلظت آنها، ترکیب ماده غذایی و دمای نگهداری ماده غذایی بستگی دارد؛ بطوری که با افزایش غلظت عصاره فعالیت ضد میکروبی آن نیز افزایش می‌یابد (Burt, 2004). فعالیت ضد میکروبی عصاره‌ها به ترکیبات فرار موجود در آنها نسبت داده می‌شود. عصاره اناریجه دارای مقادیر بالایی از لیمونن،

پری‌گایجرن، جرماکرن و ترانس بتا سیمن می‌باشد (Verdian-rizi, 2008). لیمونن یک کتون است و جزء مونوترپن‌هاست. ترپن‌ها قادرند که به غشاء سلولی صدمه بزنند و در ساختار لیپید دیواره سلولی باکتری‌ها نفوذ کنند که موجب دناتور شدن پروتئین‌ها و از هم‌پاشیدن ساختار سلولی و تراوش سیتوپلاسم در نهایت مرگ سلول می‌شود (Oussalah, 2006). Askari و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند در اسانس‌های دو گونه مختلف اناریجه مربوط به مشهد و رامهرمز که بر روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی بررسی شد مهمترین ترکیب لیمونن بود و مشخص شد که باکتری‌های گرم مثبت به اثرات ضد میکروبی اسانس اناریجه حساس‌تر بودند. همچنین فعالیت ضد میکروبی نانوعصاره به طور معنی‌داری بالاتر از عصاره بود. برای ایجاد خاصیت ضدباکتریایی مؤثر باید پیوندهای فیزیکی مؤثری بین سلول‌های باکتریایی و عصاره به منظور برقراری اتصالات یونی برقرار گردد. مطالعات قبلی نشان داد که نانو ذرات فعالیت ضدباکتریایی بالاتری در برابر باکتری‌های گرم منفی یا گرم مثبت در مقایسه با شکل آزاد عصاره دارند. علت این امر می‌تواند اثر مهاری بهتر نانوذرات با توجه به سطح بزرگتر نانوذرات برای واکنش با دیواره سلولی باکتری توضیح داده شود (Gortzi et al., 2016; Bagheri et al., 2016; Alipour et al., 2016).

حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) از معیارهایی هستند که جهت اندازه‌گیری فعالیت ضدباکتریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sacchetti, 2005). در تحقیقات متعددی گزارش شده است که باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی در برابر ترکیبات ضدباکتریایی حساس‌ترند و این حساسیت بالا نسبت به باکتری‌های گرم مثبت ناشی از عدم وجود دیواره سلولی لیپوپلی ساکاریدی می‌باشد که در باکتری‌های گرم منفی ممکن است از ورود ترکیبات فعال به غشای سیتوپلاسمی جلوگیری به عمل آورد (Bozin et al., 2007). مقاومت باکتری‌های گرم منفی در برابر مواد ضدباکتریایی با سطح هیدروفیلی غشای خارجی باکتری‌ها که غنی از مولکول‌های لیپوپلی ساکارید است و سدی در برابر نفوذ مولکول‌های آنتی‌بیوتیکی مختلف محسوب می‌شود و نیز با آنزیم‌های فضای پری پلاسمی که قادر به شکستن مولکول‌های وارد شده از خارج هستند نیز در

Bahrami Feridoni, S. & Khademi Shurmasti, D. (2020). Effect of the nanoencapsulated sour tea (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract with carboxymethyl cellulose on quality and shelf life of chicken nugget. *Food science and nutrition*, 8, 3704–3715. doi.org/10.1002/fsn3.1656.

Bahrami, A., Jamzad, M. & Sedaghat, S. (2021). Phytochemicals and Biological Activities of *Froriepia subpinnata* (Ledeb) Baill. Extracts. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 10(1), 109-115. http://doi.org/10.22092/jmpb.2020.352614.1295.

Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y. & Nasri, M. (2009). Antioxidant & free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*, 114, 1198-1205. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.075.

Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I. & Jovin, E. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils. *J. Agric. Food Chemistry* 55, 7879 – 7885. https://doi.org/10.1021/jf0715323.

Burt, S.A. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223–253. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.

Esmaeli, F., Tajik, H., Mehdizadeh, T. & Mayeli, M. (2017). Determination and Comparison of Antioxidant Activity and Phenolic Content of *Pimpinella affinis* Hydroethanolic Extract and Essential Oil. *The Journal of Urmia University of Medical Sciences*, 28(5), 311-320. [In Persian]

FaikAhmet, A., Sema, H.A., Sengul, A.K., Jiri, G., Katerina. V. & Ulrichova, J. (2008). Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry*, 107, 19-25. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.003.

Farhadi, N., Meshkini, S. & Tooraj Mehdizadeh, T. (2022). Effect of Edible Chitosan Coating Containing *Froriepia*

ارتباط می باشد. باکتری‌های گرم مثبت چنین غشای خارجی در ساختار دیواره سلولی ندارند. برخی از آنتی بیوتیک‌ها می‌توانند به آسانی دیواره سلول باکتریایی و غشای سیتوپلاسمی را تخریب نموده و منجر به خروج سیتوپلاسم آن گردند (Ojagh *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصله بیانگر فعالیت‌های ضداکسیدانی و ضد میکروبی بالای عصاره گیاه اناریجه به‌عنوان منبع در دسترس و بالقوه از ضداکسیدان‌ها و ضد میکروب‌های طبیعی می‌باشد. ضمن اینکه مشخص شد استفاده از فرآیند درون‌پوشانی با مالتودکسترین - عصاره آب‌پنیر با محافظت از عصاره، منجر به افزایش توان ضداکسایشی و ضد میکروبی آن می‌شود. همچنین نتایج نشان داد فعالیت ضداکسیدانی و ضد میکروبی عصاره وابسته به غلظت بوده و با آن رابطه مستقیم داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد؛ بکارگیری غلظت ۱۰۰۰ ppm عصاره اناریجه درون‌پوشانی شده با مالتودکسترین - عصاره آب‌پنیر با دارا بودن خواص ضداکسیدانی و ضدباکتریایی مطلوب می‌تواند به‌طور مؤثری در صنایع غذایی به‌عنوان یک نگهدارنده و ضدباکتری طبیعی جایگزین انواع سنتزی و شیمیایی آن شود.

منابع

Alipour Mazandrani, H., Javadian, S.Y. & Bahram, S. (2015). The effect of encapsulated fennel extracts on the quality of silver carp fillets during refrigerated storage. *Food science and nutrition*, 4(2), 298–304. https://doi.org/10.1002/fsn3.290.

Askari, F., Sefidkon, F., Teimouri, M. & Youser Nanaei, S. (2009). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *pimpinella puberula* (dc). *boiss. Agriculture science Technology*, 11, 431-438. [In Persian]

Bagheri. R., Izadi Amoli. R., Tabari Shahndash. N. & Shahosseini. S. R. (2016). Comparing the effect of encapsulated and unencapsulated fennel extracts on the shelf life of minced common kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*) and *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in the mince. *Food science and nutrition*, 4(2), 216–222. [In Persian]

subpinnata Extracton Shelf life of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillet at Refrigerated. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 11(1), 95-108. [In Persian]

Gortzi, O., Lalas, S., Chinou, I. & Tsaknis, J. (2007). Reevaluation of bioactivity and antioxidant activity of *Myrtus communis* extract before and after encapsulation in liposomes. *European Food Research and Technology*, 36, 151-156.

Grisi, T. C. & Lira, K. G. (2005). Action of nisin and high ph on growth of *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* sp. in pure culture and the meat of land crab (*Ucides cordatus*). *Brazilian Journal of Microbiology*, 36, 151-156. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822005000200010>.

Hosseini, F., Motamedzadegan, A., Naghizadeh, Sh. & Rahaiee, S. (2022). Encapsulation of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds extract with nano-liposomes and basil seed gum and investigation of physicochemical characteristics and its release in simulated gastrointestinal conditions. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 127 (19), 291-303. [In Persian]

Hosseinnia, M., Almasi, H. & Alizadeh Khaled, M. (2020). Evaluation of the properties of microcapsules containing *Ziziphora clinopodiodes* extract stabilized by gum Arabic, whey protein isolate, guar gum and their combination. *Journal of Food Researches*, 29 (4), 101-123. [In Persian]

Hussain, A. I., Anwar, F., Sherazi, S.T.H. & Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108, 986-995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.010>.

Joye, I. J., Davidov-Pardo G. & McClements D. J. (2015). Encapsulation of resveratrol in biopolymer particles produced using liquid antisolvent precipitation. Part 2: Stability and functionality. *Food Hydrocolloids*, 49, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.038>.

Khan, M. K., Abeit-Vian, M., Fabiano Tixier, A.S., Dangles, O. & Chemat, F. (2010). Ultrasonicassisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119, 851-

858.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.046>.

Labuschagne, P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*, 107, 227-247.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>.

Leong, L. P. & Shui, G. (2002). An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry*, 76 (1): 69-75. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00251-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00251-5).

Mehrabanjoubani, P., Ghorbani Nohooji, M., Karimi, E. & Abdolzadeh, A. (2021). The differences between *Froriepia subpinnata* and *Pimpinella anisum* L. commonly named as anarijeh based on major components of the essential oil; a marker for resolve ambiguities. *Journal of Medicinal Plants*. 20(79), 59-71. doi: 10.52547/jmp.20.79.59

Mozaffarian, V. (2012). Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Farhang Moaser Press, Tehran, Iran, 726-729. [In Persian]

Mohdaly, A. A. A., Smetanska. I., Ramadan, M. F., Sarhan, M. A. & Mahmoud, A. (2011). Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. *Ind. Crops Prod.* 34, 952-959. [In Persian]

Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H. & Hosseini, S. M. H. (2012). Investigation of antibacterial activity cinnamon bark essential oil (*Cinnamomum zeylanicum*) in vitro antibacterial activity against five food spoilage bacteria. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 9(35), 67-76. [In Persian]

Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L. & Lacroix, M. (2007). Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E coli* 0157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, 18, 414-420. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.11.009>

Rahmati-Joneidabad, M. & Alizadeh Behbahani, B. (2021). Evaluation of the antifungal effect of *Froriepiasubpinnata* essential oil on *Aspergillus niger* (black mold) and *Botrytis cinerea* (gray mold) grape poisoning agent: A study "in

vitro". Iranian Journal of Food Science and Technology, 17 (108) [In Persian].

Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J. & Saenz, C. (2015). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. International Journal of Food Science and Technology, 45, 1386-1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02270>.

Sacchetti, G. (2005). Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. Food Chemistry, 91, 621-632. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.031>.

Salmanian, Sh. Sadeghi Mahoonak, A. R. & Jamson, M. (2018). Determination of amounts, antioxidant properties and identification of main phenolic compound in *Enarijeh*(*Froriepiasubpinnata*)extract by RP-HPLC method. Iranian Journal of Food Science and Technology, 15 (81). [In Persian]

Saremi, E., Habibi Najafi, M. B., Haddad Khodaparast, M. H. & Bahraini, M. (2017). Effect of extraction methods on the antioxidant properties of *Pimpinella affinis*. Iranian Journal of Food Science and Technology, 14 (69). [In Persian]

Shahnazi S., Khalili Sigaroudi F., Ajni Y., Yazdani D., Ahvazi, M. & taghizad, F. (2007). Investigation of chemical composition and antimicrobial properties *Thymus trautvetteri* essential oil. Journal of Medicinal Plants, 23, 80 – 88.

Shahkol, F., Abbasi, H. & Norouzi Mobarakeh, M. (2022). Modeling the Encapsulation of *Thymus* Essential Oil (*Thymusvulgaris*) in Sodium Caseinate, Maltodextrin and Modified starch Using Response Surface (RSM) and Artificial Neural Network (ANN). Iranian Journal of Food Science and Technology, 19 (125), 225-240. [In Persian]

Sharifi, A., Niakousari, M., Maskooki, A. & Mortazavi, S.A. (2015). Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry (*berberis vulgaris*) extract powder. International Food Research Journal, 22(9), 2364-2370. [In Persian]

Shaygannia, S., Eshaghi, M. R., Fazel, M. & Hashemiravan, M. (2021). The Effect of Microencapsulation of Phenolic Compounds from Lemon Waste by Persian and Basil Seed Gums on the Chemical and Microbiological Properties of Mayonnaise. Preventive Nutrition and Food Science, 26(1), 82-91. <http://doi.org/10.3746/pnf.2021.26.1.82>.

Tharun, G. & Kumar-Pindi, P. (2013). Evaluation of antioxidant potential and antimicrobial activity of successive extracts of *Pimpinella tirupatiensis*. Journal of Pharmacological Research, 7, 817-822. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.08.025>.

Timilsena, Y., Haque, M. & Adhikari, B. (2020) Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. Food and Nutrition Sciences, 11(6), 481-508. doi: 10.4236/fns.2020.116035.

Touré, A., Bo Lu, H., Zhang, X. & Xueming, X. (2011). Microencapsulation of Ginger Oil in 18-DE Maltodextrin/Whey Protein Isolate. Herbs Spices Med Plants; 17(2), 183-195. <https://doi.org/10.1080/10496475.2011.583137>

Verdian-rizi, M. (2008). Chemical composition and antimicrobial activity of *pimpinella affinis ledeb*. Essential oil growing in Iran. Research Journal of Biological Sciences, 3(8), 913-915. <https://doi.org/10.22377/ijgp.v2i3.17>.

Williams, B., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. Lebensm-Wiss u-Technol, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

مروری بر جایگاه فیبر در تغذیه، سلامت، کاربرد و روش‌های اصلاح آن در صنایع غذایی

مروا حسینی^{a*}، پیمان رجایی^b

^a دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^b استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ورامین پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

۵۹

چکیده

مقدمه: امروزه اثرات سلامت بخش فیبر رژیمی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. فیبر رژیمی در مواد غذایی مانند میوه‌ها، سبزیجات و غلات وجود دارند و دارای کالری و چربی کمی هستند.

مواد و روش‌ها: در این مقاله به بررسی انواع فیبر، خواص درمانی و روش‌های اصلاح آن پرداخته شده است.

یافته‌ها: فیبر کربوهیدراتی است که در بدن قابل تجزیه نیست و در دستگاه گوارش توسط آنزیم‌ها هضم نمی‌گردد. فیبرها شامل سلولز، همی سلولز، صمغ، مواد پکتیک و لیگنین هستند که به علت ظرفیت جذب گلوکز، ظرفیت جذب کلسترول، ظرفیت نگهداری روغن و کالری بسیار کم در کاهش و درمان بیماری‌هایی مانند چاقی، دیابت، انواع سرطان‌ها، بیماری‌های روده‌ای و بیماری‌های قلبی عروقی موثر هستند. بسیاری از ضایعات صنایع غذایی مانند تفاله میوه‌ها، هسته خرما و سبوس غلات منابع مهم فیبر رژیمی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها به عنوان پری‌بیوتیک برای رشد و تکثیر باکتری‌های مفید روده استفاده نمود. فیبرها بر اساس خصوصیات فیزیکی به دو دسته محلول و نامحلول در آب تقسیم می‌گردند. فیبرهای نامحلول به علت طعم نامطلوب و عملکرد ضعیف مورد استفاده قرار نمی‌گیرند که به وسیله روش‌هایی مانند اصلاح فیزیکی، شیمیایی، آنزیمی و ترکیبی به فیبر محلول تبدیل می‌شوند. به دلیل هزینه پایین، زمان کوتاه، عملیات ساده و عدم تولید زباله سمی روش فیزیکی بیشترین کاربرد را دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به توانایی فیبر در بهبود طعم، بافت، خواص حسی، رئولوژیکی و ایجاد قوام استفاده از آن‌ها در تولید محصولات غذایی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پری‌بیوتیک، دیابت، فیبر رژیمی، کاهش سرطان، کربوهیدرات.

مقدمه

فیبر غذایی یکی از اجزای حیاتی یک رژیم سالم است. اولین بار در ۱۹۵۳ اصطلاح فیبر غذایی توسط هیسلی بیان و به اجزای گیاهی که هضم آن‌ها به وسیله آنزیم‌ها برای انسان دشوار است گفته شد. در دهه ۱۹۶۰ فیبر توجه بسیاری از کشورها مانند ایالات متحده، اروپا و ژاپن را جلب کرد و در سال ۱۹۷۶ ترول فیبر را به عنوان پلی‌ساکاریدهای گیاهی و لیگنین که در برابر هیدرولیز آنزیم‌های گیاهی مقاومند تعریف کرد. در سال ۲۰۰۲، انستیتوی پزشکی تعریفی از فیبر منتشر کرد که فیبرهای غذایی را از فیبر عملکردی متمایز می‌کند (McRorie et al., 2017). در سال ۲۰۰۹ طبق تعریف CAC^۱ به پلیمرهای کربوهیدراتی با ده یا بیشتر واحد مونومر گفته می‌شود که توسط آنزیم‌های روده هیدرولیز نمی‌شوند (Gan et al., 2021). به دلیل پیچیدگی و ناهمگن بودن مولکول‌ها، بر اساس ساختمان شیمیایی، خواص فیزیوشیمیایی و درجه پلیمریزاسیون به زیر گروه‌هایی دسته بندی می‌شوند که آخرین طبقه بندی انجام شده فیبر را به چهار زیرگروه الیگوساکاریدهای مقاوم، پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای، نشاسته مقاوم و مواد مرتبط که شامل غیر کربوهیدرات‌ها می‌شوند تقسیم می‌نماید (Rezende et al., 2021). تعریف فیبر رژیمی (DF)^۲ در کشورهای مختلف متفاوت است، به عنوان مثال انگلستان DF را بر اساس خواص شیمیایی و قابلیت هضم تعریف می‌کند، در حالی که ایالات متحده موادی را که در روده بزرگ تخمیر می‌شوند را در نظر می‌گیرد. نزدیکترین تعریف به کدکس را فرانسه دارد که در آن ترکیب و پلیمریزاسیون کربوهیدرات‌ها همراه با خواص فیزیولوژیکی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Dai et al., 2017). فیبر غذایی در چند دهه اخیر به دلیل فواید زیادی که دارد بسیار مورد توجه قرار گرفته است که می‌توان به فواید فیزیولوژیکی آن‌ها اشاره نمود (Mudgil et al., 2017). فیبرهای غذایی بخشی از مواد گیاهی، کربوهیدرات‌های ساختاری یا پیچیده هستند که در برابر شکستن در مسیر روده مقاومند زیرا بدن انسان آنزیم‌های لازم برای هضم آن‌ها را ندارد که باعث می‌شود بدون تغییر از بدن خارج شوند (Iqbal et al.,

2022). کربوهیدرات‌ها از مهم‌ترین مواد مغذی هستند که از دو بخش غیر قابل هضم که شامل فیبرها و بخش قابل هضم که در تولید و حفظ انرژی بدن نقش عمده‌ای دارند تشکیل شده‌اند (Nagy et al., 2020). فیبر غذایی به عنوان هفتمین ماده مغذی برای انسان تعریف شده است که دارای فواید سلامتی بسیاری مانند بهبود فلور روده، کاهش گلوکز خون، کاهش خطر ابتلا به سرطان، افزایش حجم مدفوع، تقویت حرکات روده، کاهش احتمال چاقی و بیماری‌های قلبی عروقی می‌باشد (Gan et al., 2021; Theuwissen et al., 2008). روش‌های استخراج فیبر از منابع گیاهی می‌تواند به فرآوری خشک، فراوری مرطوب، شیمیایی، وزن سنجی، آنزیمی، فیزیکی، میکروبی و ترکیبی نام برد که استفاده از روش مرطوب به دلیل استفاده از حداقل فراوری، مقرون به صرفه بودن و خلوص بالا بیشترین کاربرد را دارد (Maphosa et al., 2016). فیبر غذایی شامل فیبرهای محلول و نامحلول است. منابع غذایی فیبر محلول در سبزیجاتی مانند هویج، بروکلی، پیاز، کنگر و میوه‌هایی مثل موز، توت، سیب، کلابی و در حبوباتی مانند جو و جو دوسر وجود دارد. فیبر نامحلول در غلات کامل، گندم، سبوس، آجیل و دانه‌ها یافت می‌شود (Soliman et al., 2019). فیبر رژیمی را می‌توان به صورت فیزیکی و شیمیایی، آنزیمی و روش ترکیبی استخراج و اصلاح نمود (Snauwaert et al., 2023). سازمان غذا دارو (FDA)^۳ تایید کرده است که با افزایش مصرف فیبر رژیمی از میوه، سبزیجات و غلات کامل که همراه با کاهش چربی مصرفی است می‌تواند برخی از سرطان‌ها مانند سرطان کولورکتال، روده کوچک، دهان، حنجره و سینه را کاهش داد. فیبر از چند طریق می‌تواند به کاهش سرطان کمک کند که می‌تواند به مواردی چون (۱) مقاومت آن در برابر هضم در روده کوچک، در نتیجه وارد روده بزرگ شده و با تخمیر، اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تولید می‌کند که دارای خواص ضد سرطانی است (۲) مصرف فیبر با افزایش حجم و ویسکوزیته مدفوع همراه است که باعث می‌شود مواد سرطان‌زا در تماس کمتری با سلول‌های مخاطی باشند (۳) فیبر اتصال بین اسیدهای صفراوی و مواد سرطان‌زا را افزایش می‌دهد (۴) با

¹ Codex Alimentarius Commission² Dietary fiber³ Food and Drug Administration

مربوط است و نقش مهمی در فرایندهای گوارشی و جذب دارد که مربوط به ویژگی پری‌بیوتیکی آن است (Yangilar, 2013). فیبرهای غذایی بر اساس پارامترهای مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند که می‌توان به ساختار شیمیایی، حلالیت و ویسکوزیته آن‌ها در آب و قابلیت تخمیر اشاره نمود. فیبرهای غذایی به پلی‌ساکاریدها تقسیم می‌شوند که شامل پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (NSPs)، نشاسته مقاوم (RS) و الیگوساکارید مقاوم هستند (Makki et al., 2018). همانطور که گفته شد از نظر قابلیت حل شدن، فیبر شامل دو نوع فیبر غذایی محلول (SDF)^۴ و فیبر غذایی نامحلول (IDF)^۵ است (Yang et al., 2017). اشکال نامحلول حجیم کننده مدفوع هستند زیرا توسط روده هضم نمی‌شوند یا به آرامی هضم می‌شوند. فیبرهای محلول که توسط باکتری‌های روده تخمیر می‌شوند تولید متابولیت‌هایی مانند اسیدهای چرب کوتاه زنجیر می‌کنند (Makki et al., 2018). فیبرهای غذایی محلول عملکرد بهتری دارند ولی فیبرهای نامحلول بیشتر در رژیم غذایی وجود دارند (Lin et al., 2020). فیبر غذایی نامحلول به دلیل ظرفیت نگهداری ضعیف آب، قدرت تورم ضعیف، فعالیت عملکردی ضعیف و طعم نامطلوبی که دارد زیاد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، به همین جهت به وسیله تصفیه صنعتی فیبر غذایی نامحلول را به فیبر محلول تبدیل می‌کنند (Ma et al., 2022). تجزیه‌ی فیبر محلول به ملکول‌های کوچکتر توسط باکتری‌ها انجام می‌شود و به آن توانایی تخمیر پذیری می‌گویند که بر تنوع میکروبی و عملکرد دستگاه گوارش تاثیر گذاشته و در روده بزرگ منجر به تولید اسید چرب کوتاه زنجیر می‌شود که اثرات مفیدی مانند ضدالتهابی و ضدتکثیری دارد (Iqbal et al., 2022). محصولات جانبی مانند پوست، تفاله سیوس و باقیمانده‌های پس از آبیگری نیز دارای فیبر بالایی هستند که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند که باعث هدر رفتن منابع و آلودگی محیط زیست می‌شوند (Gan et al., 2021). همچنین از فیبرهای رژیمی برای بهبود طعم، رنگ، بافت و مزایای سلامتی بخش آن استفاده می‌شود (Mudgil et al., 2017).

افزایش مصرف فیبر سطح آنتی‌اکسیدان‌ها نیز افزایش می‌یابد و فیبر مقدار استروژن دفع شده در مدفوع را به دلیل مهار جذب استروژن در روده افزایش می‌دهد. همچنین FDA تایید کرده است که با مصرف فیبرهای رژیمی خطر ابتلا به بیماری قلبی عروقی (CVD)^۱ را می‌توان کاهش داد و مطالعات جدید نشان می‌دهد به ازای هر ۱۰ گرم فیبر اضافی که به رژیم غذایی اضافه می‌شود خطر مرگ و میر CHD^۲ بین ۱۷ تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. عوامل خطر CHD شامل کلسترول خون، فشار خون بالا، چاقی و دیابت نوع دو است که با کنترل و درمان این عوامل خطر ساز می‌توان از CHD پیشگیری کرد. فیبر از طریق (۱) افزایش سرعت دفع باعث کاهش کلسترول می‌شود (۲) با تولید اسیدهای چرب زنجیره کوتاه و به ویژه پروپیونات سنتز کلسترول را مهار می‌کند (۳) با تنظیم انرژی دریافتی، منجر به کاهش وزن می‌شود (۴) فیبر غذایی با کنترل قند خون می‌تواند خطر ابتلا به دیابت نوع دو را کاهش دهد (۵) سیتوکین‌های پیش التهابی مانند اینترلوکین ۱۸ را کاهش می‌دهد که بر پایداری پلاک تاثیر دارد (۶) افزایش مصرف فیبر باعث کاهش سطح گردش پروتئین CRP^۳ می‌شود که عامل CHD و التهاب است (Lattimer et al., 2010). به طور کلی مصرف متعادل فیبر اثرات سلامت بخش فراوان و قابل توجهی دارد اما مصرف مقادیر زیاد آن می‌توان باعث اسهال، کم‌آبی بدن، القای سیری و در موارد نادر امکان انسداد روده شود (Hadri et al., 2020; Hervik et al., 2019).

– طبقه‌بندی فیبرها

فیبرها بر اساس حلالیت به دو گروه محلول و نامحلول تقسیم می‌شوند که اثرات فیزیولوژیکی متفاوتی دارند. فیبرهای غذایی محلول شامل β -گلوکان، گالاتومانان، پکتین، پسیلیوم، صمغ، الیگوساکاریدها، اینولین و نشاسته مقاوم هستند و فیبرهای نامحلول شامل سلولز، همی سلولز، کیتوزان و لیگنین می‌باشند (Mudgil et al., 2017; Theuwissen et al., 2008). فیبر نامحلول به جذب آب و تنظیم روده مربوط می‌شود و فیبر محلول با کاهش کلسترول خون و کاهش جذب گلوکز توسط روده کوچک

¹ Cardiovascular Disease ² Coronary Heart Disease
⁵ Insoluble Dietary Fiber

³ C-Reactive Protein ⁴ Soluble Dietary Fiber

– فیبرهای محلول

فیبرهای محلول مانند پکتین، صمغ‌ها، اینولین و موسیلاژها توانایی به دام انداختن آب و افزایش ویسکوزیته را دارند که منجر به تغییر در سرعت عبور و جذب مواد مغذی می‌شود (Tejeda *et al.*, 2020). از انواع فیبرهای محلول که در صنایع لبنی کاربرد دارند می‌توان به اینولین (IN)^۱ و لیگوفروکتوز^۲ اشاره نمود (Ambuja *et al.*, 2018).

اینولین پلی‌ساکاریدی گیاهی از نوع فروکتان است و در آرتیشو، کاسنی، کنگرفرنگی، سیر، پیاز، مارچوبه و کوکب یافت می‌شود که به عنوان پری‌بیوتیک باعث تنظیم فلور میکروبی روده، جلوگیری از یبوست، تنظیم قند خون، تنظیم چربی خون، آنتی‌اکسیدان، ضد سرطان، افزایش ایمنی و افزایش جذب مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌شود و به عنوان فیبر غذایی عملکردی طبیعی کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی دارد. از اینولین در صنایع غذایی به عنوان غلیظ کننده، جایگزین چربی، شیرین کننده و عامل نگهدارنده آب استفاده می‌شود. در داروسازی به عنوان تثبیت کننده، حامل دارو و برای درمان برخی از بیماری‌ها کاربرد دارد (Illippangama *et al.*, 2022; Wan *et al.*, 2020). اینولین باعث رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید روده می‌شود و باکتری‌های انتروپاتوژن را مهار می‌کند که میکروارگانیسم‌های مفید با تخمیر اینولین باعث تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (SCFA)^۳ می‌شوند در نتیجه باعث کاهش pH روده بزرگ می‌شوند که می‌تواند عوامل بیماری‌زا را مهار کند. مطالعات نشان داده مصرف بیش از حد نیاز روزانه به فیبر رژیمی مانند اینولین می‌تواند باعث ناراحتی گوارشی شود (Teferra, 2021). مصرف اینولین می‌تواند باعث کاهش تری‌گلیسرید و کلسترول خون شود. اینولین دارای طعمی مطبوع، کمی شیرین، بی‌رنگ و بی‌بو است و حلالیت آن در آب به دما بستگی دارد. اینولین بسته به درجه پلیمریزاسیون در هر دو دسته فیبر محلول و نامحلول قرار می‌گیرد. استفاده از آن در محصولات نامحلول یا پنیر باعث بهبود بافت و حس دهانی می‌شود. اینولین حاوی ملکول‌های عمدتاً بلند زنجیر هستند که به عنوان جایگزین چربی از آن استفاده می‌شود زیرا در حضور آب تشکیل ژل می‌دهند و باعث اصلاح بافت و ایجاد حس

مروری بر جایگاه فیبر در تغذیه، سلامت، کاربرد و روش‌های اصلاح آن در صنایع غذایی

چربی مانند در دهان می‌گردد (Ambuja *et al.*, 2018). پکتین^۴ پلی‌ساکاریدی است که از دیواره سلولی گیاهان بدست می‌آید و محلول در آب است. همچنین پکتین گیاهی را می‌توان از سیب، مرکبات و ضایعات کشاورزی تولید نمود که در راستای کمک به محیط‌زیست است. اصطلاح پکتین گروهی از الیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها را توصیف می‌کند که دارای ویژگی‌های مشترک و ساختاری متفاوت هستند (Freitas *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2020). پکتین ماکروملکولی با وزن ملکولی بالاست که توانایی تولید هیدروژل را دارد و دارای ساختار پیچیده‌ای است که توسط هموگالاکتورونان (HG)^۵، رامنوگالاکتورونان (RGI)^۶، رامنوگالاکتورونان (RGII)^۷ و زایلوگالاکتورونان (XG)^۸ تشکیل شده است. پکتین‌ها بر اساس منبع و روش استخراج ساختار متنوعی از خود نشان می‌دهند. همچنین پکتین به تغییرات فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی حساس است. از آن در صنایع غذایی، پوشش‌های خوراکی و فیلم‌های ضد میکروبی، کشاورزی، زیست پزشکی، داروسازی و کمک به درمان سرطان استفاده می‌شود (Freitas *et al.*, 2021; Ropartz *et al.*, 2020). در صنایع غذایی از آن به عنوان عامل ژل کننده، غلیظ کننده و تثبیت کننده در محصولات مانند ماست، شیرینی پزی و نوشیدنی‌های لبنی استفاده می‌شود (Ambuja *et al.*, 2018). از مهم‌ترین مزایای آن می‌توان به سازگاری زیستی، غیر سمی بودن، زیست تخریب پذیری و هزینه کم اشاره نمود (Li *et al.*, 2020). β -گلوکان^۹ که از نظر ساختاری از پیوندهای (1,3)- β و (1,4)- β تشکیل شده و بیشتر در جو، گندم، مخمر، بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌ها وجود دارند (Ambuja *et al.*, 2018). پلی‌فروکتان^{۱۰} فیبری محلول است و منبع SDF که ویسکوزیته کمتری نسبت به سایر پلی‌ساکاریدها دارد و از آن در محصولات نانوائی و لبنیات استفاده می‌شود. افزودن پلی‌فروکتان و اسپرتام یا دیگر شیرین کننده‌های مصنوعی می‌تواند به عنوان عامل حجم دهنده کم کالری و جایگزین چربی در محصولاتی مانند بستنی استفاده گردد (Ambuja *et al.*, 2018).

¹ Inulin ² Oligofructose ³ Short-chain Fatty Acids
⁷ Rhamnogalacturonan II ⁸ Xylogalacturonan

⁴ Pectin ⁵ Homogalacturonan ⁶ Rhamnogalacturonan I
⁹ β -glucan ¹⁰ Polyfructan

(Fischer *et al.*, 2020). از روش‌های جداسازی آن می‌توان به شیمیایی، مکانیکی و بیولوژیکی اشاره نمود که برای تولید سلولز با شکل و اندازه‌های مختلفی چون سلولز میکروکریستالی، سلولز میکروفیبریل شده، سلولز نانوکریستالی و سلولز نانوفیبریل شده استفاده می‌شود (Nsor-Atindana *et al.*, 2017). از مهم‌ترین ویژگی‌های آن می‌توان پایداری، در دسترس بودن، قابلیت تجدید پذیری و غیر سمی بودن آن اشاره نمود. از دیگر کاربردهای آن می‌توان به صنایع بسته بندی و تولید بسته‌بندی‌های زیست تخریب پذیر، داروسازی، پزشکی و صنایع غذایی اشاره نمود. در راستای بهبود و افزایش کیفیت مواد غذایی، به ویژه برای تولید نوشیدنی و آبیومیه از آن استفاده می‌شود. نانو بلورهای سلولز می‌تواند امولسیون‌های پایداری ایجاد کند که بافت و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد (Mu *et al.*, 2019; Lavanya *et al.*, 2011).

همی سلولز^۴ دومین پلی‌ساکارید فراوان در طبیعت است که از گیاهان بدست می‌آید و حدود یک سوم دیواره سلولی را شامل می‌شود. همی سلولز از منابع طبیعی متفاوتی مانند آژیوسپرم‌ها، ژیموسپرم، بریوفیت‌ها، سرخس‌ها و کروفیت‌ها بدست می‌آید. همی سلولز شامل زایل‌گلوکان‌ها، زایلان‌ها، مانان‌ها و گلوکومانان‌ها است. از آن می‌توان به طور مستقیم یا غیر مستقیم پس از اصلاحات ساختاری یا شیمیایی در صنایعی چون مواد غذایی و دارویی استفاده نمود. از خواص آن می‌توان به افزایش ایمنی، ضد تومور، آنتی‌اکسیدان، کاهش چربی، کاهش قند خون، کاهش وزن، درمان یبوست و تنظیم کننده میکروبیوتاسیون روده اشاره نمود (Gao *et al.*, 2023).

لیگنین^۵ از نوع غیر کربوهیدراتی فیبر غذایی است و در میوه و سبزیجات وجود دارد. لیگنین پیش ساز لیگنان که فیتواستروژن است می‌باشد و خواص ضد سرطانی دارد و می‌تواند در پیشگیری از سرطان سینه نقش داشته باشد (Ambuja *et al.*, 2018). لیگنین اولین پلیمر معطر در طبیعت و دومین پلیمر طبیعی فراوان درجهان است و در مقایسه با سلولز، همی سلولز و دیگر پلیمرهای زیستی، ماکرومولکولی بسیار پیچیده است که بسته به گونه گیاهی،

صمغ‌ها یا هیدروکلویدها منبع غنی از فیبر محلول هستند که می‌توان به صمغ گوار، صمغ خرنوب، صمغ اقاقیا، صمغ کتیرا، صمغ کاراگینان و آلژینات اشاره نمود. صمغ خرنوب یک گالاکتومان و یک پلی‌ساکارید خطی مبتنی بر بتامانان است. این صمغ با ایجاد ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پائین و عملکردش به عنوان اتصال دهنده آب، به عنوان افزودنی در صنایع غذایی کاربرد دارد و فیبر موجود در غذا را بدون افزودن کالری بالا می‌برد (Dakia, 2011). پلی‌ساکاریدهای موجود در میوه خرنوب از جمله صمغ و فیبر خرنوب در صنایع مختلف دیگری مانند داروسازی، آرایشی، کاغذ و نساجی نیز کاربرد دارد. صمغ آن یک گالاکتومانان است که از آندوسپرم بذر درخت خرنوب بدست می‌آید و فیبر آن با حذف بیشتر کربوهیدرات‌های محلول در خمیر خرنوب با استخراج آب بدست می‌آید. دانه خرنوب از سه جز اصلی صمغ، پلی‌فنول‌ها و پروتئین تشکیل است. از خواص آن می‌توان به کمک به درمان سرطان روده بزرگ، بیماری قلبی، حرکات روده، دیابت، بیماری‌های گوارشی و کاهش اسهال کودکان اشاره نمود (Zhu *et al.*, 2019).

آلژینات^۱ یک هیدروکلویده یا ساکارید پلی‌اورونیک است که از دیواره سلولی جلبک‌های قهوه‌ای جدا می‌شوند و یا به صورت خارج سلولی توسط باکتری‌های خاصی تولید می‌شوند و از این صمغ بیشتر در تولید بستنی و آدامس استفاده می‌شود (Ambuja *et al.*, 2018). صمغ کاراگینان^۲ نیز از جلبک‌های دریایی استخراج می‌شود و منبع فیبر محلول است که برای غلیظ کردن محصولات غذایی استفاده می‌شود (Ambuja *et al.*, 2018).

– فیبرهای نامحلول

فیبرهای نامحلول مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین در جذب مواد غذایی تداخلی ایجاد نمی‌کنند و باعث هضم بیشتر نشاسته می‌شود (Tejeda *et al.*, 2020).

سلولز^۳ از منومرهای گلوکز β -(1,4) تشکیل شده که گسترده‌ترین و فراوان‌ترین پلی‌ساکارید در طبیعت است و بیش از ۵۰٪ از کربن موجود در گیاهان را به خود اختصاص می‌دهد. سلولز از اجزای اصلی دیواره سلولی گیاه است و در غلات، میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شود

¹ Alginate

² Carrageenan

³ Cellulose

⁴ Hemicelluloses

⁵ Lignin

سن، شرایط رشد و روش جداسازی ساختار و پیوند بین ملکولی مختلفی دارد (Torres *et al.*, 2020; Chio *et al.*, 2019). لیگنین شامل گروه‌های هیدروکسیل آلیفاتیک، هیدروکسیل فنولیک و متوکسیل می‌باشد که در خواص شیمیایی و واکنش پذیری لیگنین موثر می‌باشند. گروه هیدروکسید آلیفاتیک فراوانترین آن‌ها می‌باشد (Chio *et al.*, 2019).

– استفاده از فیبر به عنوان پری‌بیوتیک

سندرم متابولیک (MetS)^۱ در جهان رو به افزایش است که مشخصه‌های آن چاقی، فشار خون بالا، دیابت نوع دو (T2D)^۲ و مقاومت به انسولین^۳ (IR) است و با تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد استفاده از پری‌بیوتیک‌ها می‌تواند اثرات مفیدی بر سلامت داشته باشد (Jakobsdottir *et al.*, 2014). مهم‌ترین باکتری‌های پروبیوتیک شامل لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکتریوم‌ها هستند و پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات غیر قابل هضم و با قابلیت تخمیر هستند که می‌توانند باعث رشد و تکثیر باکتری‌های مفید شوند. استفاده همزمان از پری‌بیوتیک‌ها و پروبیوتیک‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی همزیستی ایجاد می‌کند که می‌تواند اثرات مفیدی مانند ضد سرطانی، ضد حساسیت، ضد میکروبی، محرک سیستم ایمنی و تقویت سیستم گوارش را برای میزبان به همراه داشته باشد (Hosseiny and Sedaghati, 2023). فیبر به عنوان سوپسترا، غذای میکروارگانیسم‌های مفید است و به عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کند که می‌تواند سلامت میزبان را بهبود بخشد و لیگوساکاریدها شناخته شده‌ترین پری‌بیوتیک‌ها هستند (Chawla *et al.*, 2010). پری‌بیوتیک‌ها به عنوان مواد غذایی غیر قابل هضم که با تحریک رشد یا افزایش فعالیت باکتری‌ها در روده بزرگ تاثیر مفیدی بر روی میزبان می‌گذارند و باعث بهبود سلامت میزبان می‌گردند تعریف می‌شوند. اگرچه تمام پری‌بیوتیک‌ها فیبر هستند، اما همه فیبرها پری‌بیوتیک نیستند. برای طبقه بندی مواد غذایی به عنوان پری‌بیوتیک باید مقاوم به اسیدیته معده، عدم هیدرولیز توسط آنزیم‌های پستانداران، مقاوم در برابر جذب در دستگاه گوارش باشند، توسط میکروفلور روده تخمیر و

توانایی تحریک باکتری‌های مفید روده را داشته باشند. روده با بیش از ۱۰۰۰ گونه مختلف باکتری، از مهم‌ترین اندام‌های گوارشی و موثر در ایمنی است که پری‌بیوتیک‌ها نقش مهمی در تغییر و بهبود میکرو فلور روده دارند. محیط کولون به دلیل زمان انتقال آهسته، وجود مواد مغذی و pH مطلوب، برای رشد باکتری‌ها مناسب است که با تغییر رژیم غذایی می‌توان جمعیت باکتری‌های مفید روده را افزایش داد و باعث بهبود سلامتی فرد شد. همانطور که گفته شد تمام پری‌بیوتیک‌ها ترکیبات کربوهیدراتی هستند که در برابر هضم در روده کوچک مقاوم هستند و به روده بزرگ می‌رسند. لیگوساکاریدها، اینولین، لیگوفروکتوز، لاکتوز و نشاسته مقاوم با تحریک باکتری‌های مفید مانند بیفیدوباکتریوم و لاکتوباسیلوس به عنوان پری‌بیوتیک عمل می‌کنند و پس از تخمیر میکروبی با تولید اسید چرب کوتاه زنجیر (SCFA)^۴ به ویژه استات، پروپیونات و بوتیرات و تاثیر بر فیزیولوژی میزبان باعث سلامتی می‌گردند (Slavin *et al.*, 2013; Abdi *et al.*, 2021; Rezende *et al.*, 2021; Pop *et al.*, 2021).

– تاثیر فیبر بر سلامت

تعداد بیماران چاق در سال‌های اخیر رو به افزایش می‌باشد که تهدیدی برای سلامت انسان و باعث نگرانی برای تمام گروه‌های سنی است، به طوری که از ۴ درصد در سال ۱۹۷۵ به بیش از ۱۸ درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته و در سال ۲۰۲۲ از هر سه کودک اتحادیه اروپا یک کودک به چاقی مبتلا گشته (Visuthranukul *et al.*, 2022). تحقیقات زیادی در رابطه با تاثیر فیبر بر کنترل وزن و عدم بروز چاقی و کمک به رژیم غذایی انجام شده است که نشان می‌دهد میزان دریافت فیبر با تغییر وزن دارای رابطه معکوس است که بیشتر به دلیل کاهش چربی بدن است. از طرفی دیگر افرادی که فیبر بیشتری مصرف می‌کنند تمایل بیشتری به کاهش مصرف چربی رژیم غذایی خود دارند. هر دو فیبر محلول و نامحلول می‌توانند منجر به کاهش وزن در رژیم غذایی فرد شوند (Ötles *et al.*, 2014; Howarth *et al.*, 2001). فیبر با متعادل کردن مصرف غذا، هضم، جذب و متابولیسم باعث کاهش جذب چربی و کاهش انرژی دریافتی می‌شود. همچنین مصرف فیبر باعث

¹ Metabolic Syndrome

² Type 2 Diabetes

³ Insulin Resistance

⁴ Short-chain Fatty Acids

جذب آب و افزایش سیری می‌شود و در نتیجه سلول چربی را کاهش می‌دهد و باعث کاهش و بهبود چاقی می‌شود (He et al., 2022). توانایی فیبر غذایی برای کاهش وزن به وسیله عوامل متعددی صورت می‌گیرد که می‌توان به مواردی چون تخمیر فیبر در روده بزرگ و تولید پپتید شبه گلوکاگون (GLP-1) و پپتید (PYY) که این دو هورمون در القای سیری نقش دارند و همچنین کاهش تمایل به مصرف چربی با افزایش فیبر اشاره نمود (Lattimer et al., 2020). در چند دهه گذشته بروز دیابت به ویژه نوع دو رشد بسیاری داشته که پیشگیری و درمان آن امری ضروری است. طبق تحقیقات رابطه زیادی بین فیبر و دیابت نوع دو وجود دارد. به طور مثال مصرف مداوم فیبر باعث کاهش سرعت جذب گلوکز، جلوگیری از افزایش وزن و باعث افزایش مواد مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های مفید در رژیم غذایی فرد می‌شود که در پیشگیری از دیابت کمک می‌کند. در مطالعه‌ای که بر روی زنان انجام شد نشان داد زنانی که به طور متوسط در روز ۲۶ گرم فیبر رژیمی مصرف می‌کردند، ۲۲ درصد کمتر از زنانی که ۱۳ گرم فیبر رژیمی مصرف می‌کردند در معرض ابتلا به دیابت قرار داشتند. ساختار شبکه‌ای فیبر با ایجاد مانع فیزیکی می‌تواند انتشار گلوکز را به تاخیر بیندازد. ذرات فیبری به عنوان یک مانع فیزیکی برای مولکول‌های گلوکز و به دام افتادن گلوکز در شبکه تشکیل دهنده الیاف عمل می‌کنند. هنگامی که ساختار DF شل و متخلخل می‌شود و گروه‌های عملکردی با سطح بیشتری در معرض دید قرار می‌گیرند، برهمکنش بین DF و گلوکز افزایش یافته و GAC بهبود می‌یابد (Ma et al., 2022; Lattimer et al., 2020). مصرف بالای فیبر با کاهش مرگ و میر به ویژه در اثر بیماری‌های التهابی گردش خون، گوارشی و سرطان مرتبط است. سرطان از اصلی‌ترین مشکلاتی است که سلامتی را به طور جدی تهدید می‌کند که پیشگیری و درمان آن به امری ضروری تبدیل شده است. از آنجایی که سرطان و عادات غذایی با هم مرتبط هستند با رژیم غذایی که همراه با مصرف فیبر بالاست می‌توان از بروز انواع سرطان جلوگیری کرد (He et al., 2022). از عوامل اصلی مرگ و میر، بیماری قلبی و عروقی، سکتة مغزی و فشار خون بالاست که مربوط به مصرف سیگار، رژیم غذایی و فعالیت بدنی است. با دریافت فیبر غذایی از طریق

مصرف محصولاتی مانند غلات کامل، میوه و سبزیجات می‌توان خطر سکتة مغزی را کاهش داد (Anderson et al., 2009). افسردگی یکی از علل ناتوانی به ویژه در نوجوانان و جوانان است. افسردگی با افزایش میل به غذاهای سرشار از قند و چربی در ارتباط است که باعث ضعیف شدن رژیم غذایی فرد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد با رژیم غذایی مناسب و غنی از فیبر می‌توان سلامت روانی را بیشتر کرد و خطر افسردگی و علائم آن را کاهش داد (Swann et al., 2020). مطالعات نشان داده بین التهاب و افسردگی رابطه وجود دارد و رژیم غذایی پرفیبر و کاهش ترکیبات التهابی غلظت انتقال دهنده‌های عصبی را تغییر می‌دهد که باعث کاهش خطر ابتلا به افسردگی است. همچنین فیبر با تاثیر بر میکروبیوم روده و افزایش باکتری‌های پروبیوتیک باعث اثر قابل توجه بر افسردگی می‌گردد. علاوه بر این سبک زندگی سالم و داشتن رژیم غذایی مناسب و دارای فیبر باعث بهبود طول عمر و کاهش مرگ‌ومیر می‌گردد (Barber et al., 2020). از آنجایی فیبرهای غذایی رشد باکتری‌های مفید روده را افزایش می‌دهند، می‌توانند متابولیت‌های مفیدی تولید کنند که خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت و بیماری روده را کاهش می‌دهند (Mudgil et al., 2017). فیبر غذایی یکی از اجزای حیاتی یک رژیم غذایی سالم است که فواید آن را می‌توان به فرآیندهای موجود در میکروبیوم روده و محصولات جانبی ناشی از آن نسبت داد. مطالعات ارتباط بین مصرف فیبر غذایی، افسردگی و التهاب نشان می‌دهد که می‌تواند به اصلاح بیان ژن توسط میکروبیوتا و افزایش تولید انتقال‌دهنده‌های عصبی منجر شود. یک رژیم غذایی با فیبر بالا به طور چشمگیری التهاب را با اصلاح pH و نفوذپذیری روده کاهش می‌دهد. کاهش حاصل در ترکیبات التهابی ممکن است غلظت انتقال دهنده‌های عصبی را برای کاهش علائم افسردگی تغییر دهد (Swann et al., 2020).

- روش‌های اصلاح فیبر

برای اصلاح فیبرهای غذایی از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که شامل روش فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ترکیبی است (Gan et al., 2021). هدف از اصلاح فیبر افزایش ارزش اقتصادی، استفاده بهینه از گیاهان و

محصولات جانبی آن‌ها و پاسخ به تقاضای رو به رشد آن است (Gan et al., 2021).

روش‌های فیزیکی شامل اکستروژن، اولتراسوند، فشار هیدرواستاتیک بالا، پردازش بخار، ماکروویو و خرد کردن می‌باشد که با استفاده از دمای بالا، فشار بالا، سرعت بالا، کاهش فشار، انفجار، ضربه یا برش، پیوند گلیکوزیدی DF شکسته یا ذوب می‌شود. در روش پردازش بخار با استفاده از دمای بالا و فشار بالا، بخار به بافت گیاهی و دیواره سلولی وارد می‌شود (Gan et al., 2021). اولتراسوند روشی ملایم و ساده می‌باشد که اصلاح در دمای اتاق اتفاق می‌افتد. با قرار گیری مواد خام در ژنراتور اولتراسوند، پیوند شیمیایی پلی‌ساکاریدها شکسته می‌شود. کایتاسیون باعث پارگی دیواره می‌شود و ساختار پلیمر کربوهیدراتی، بافت را شل و تغییر می‌دهد و باعث انحلال بهتر می‌شود (Gan et al., 2021). در پخت اکستروژن تخریب پلیمر صورت نمی‌گیرد و تبادل کاتیونی نیز تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد (Yangilar. 2013). روش فیزیکی به دلیل هزینه کم، عملکرد ساده و عدم تولید زباله‌های سمی به طور گسترده در اصلاح فیبر استفاده می‌شود. از معایب برخی از روش‌های فیزیکی می‌توان به نیاز به فضای عملیاتی زیاد، تولید غبار و استنشاق آن توسط ریه و ایجاد بخار با دمای بالا و فشار بالا که می‌تواند باعث سوختگی اپراتور شود اشاره نمود. پیوند گلیکوزیدی فیبر با استفاده از یک روش فیزیکی که در آن از دمای بالا، فشار بالا، کاهش فشار قوی، انفجار، برش و ضربه با سرعت بالا اعمال می‌شود شکسته و یا ذوب می‌گردد (Ma et al., 2022).

روش شیمیایی با استفاده از واکنش‌های شیمیایی برای تغییر در خواص عملکردی و ساختاری باعث اصلاح فیبر می‌شود که می‌توان به تیمار پراکسید هیدروژن قلیایی (AHP)، تیمار قلیایی، تیمار اسیدی و تیمار Na_2HPO_4 اشاره نمود. AHP باعث تجزیه سلولز و تغییر و بهبود خواص عملکردی فیبر می‌شود. AHP با مخلوط کردن پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم تولید می‌شود. در روش شیمیایی در مقایسه با روش فیزیکی، زمان پردازش کوتاه‌تر است و همچنین می‌تواند در دمای اتاق واکنش صورت گیرد ولی فیبرهای رژیمی اصلاح شده دارای

خلوص پایین و مستعد تولید اجزای مضر است (Ma et al., 2022; Gan et al., 2021).

روش بیولوژیکی با استفاده از آنزیم‌ها و میکروارگانیسم‌های خاص برای هیدرولیز یا تخمیر آنزیمی مواد خام و با هدف تغییر محتوی و زیست فعالی فیبر رژیمی استفاده می‌شود. این روش به دلیل ملایم بودن و سازگاری با محیط زیست به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از معایب روش بیولوژیکی می‌توان به هزینه‌های بالای خالص‌سازی آنزیم و پرورش سویه اشاره نمود (Ma et al., 2022).

روش ترکیبی از ترکیب دو یا چند روش برای اصلاح فیبرهای رژیمی استفاده می‌شود. با توجه به سختی روش شیمیایی و نیازمند بودن روش بیولوژیکی به محیط ملایم، روش فیزیکی بیشترین کاربرد را دارد که می‌توان با هزینه کم، در زمانی کوتاه، عملیات ساده و عدم تولید زباله سمی از آن استفاده نمود (Ma et al., 2022; Gan et al., 2021).

در سال‌های اخیر روش جدیدی توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است که به آن فناوری انفجار بخار (SE)^۱ یا اتوهیدرولیز گویند. در این روش با فشار به دیواره‌های سلولی و بافت گیاه توسط بخار با فشار و دمای بالا به علت عمل حرارتی پخت با دمای بالا و پارگی فیزیکی باعث انفجار سلول می‌گردد. از مزایای این روش می‌توان به کاربرد گسترده، راندمان بالا در زمان کوتاه، عدم آلودگی و سازگاری با محیط زیست اشاره نمود (Ma et al., 2022).

– تهیه فیبر از ضایعات مواد غذایی

امروزه ضایعات یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی است. ضایعات به بخش‌های مصرف نشده میوه و سبزیجات که شامل برگ، پوست، ریشه، ساقه، پالپ، تفاله، هسته، و دانه گفته می‌شود که مطالعات نشان داده شامل ترکیبات زیست فعال و مواد مغذی ضروری هستند که با آگاهی و مدیریت درست می‌توان از هدر رفت آن جلوگیری کرد. به عنوان مثال ضایعات حاصل از فرآوری‌ها در صنعت میوه و سبزی حدود ۲۵ تا ۳۰٪ تخمین زده شده است که تفاله‌ها از آن جمله می‌باشند و منبع غنی از فیبر هستند. پوست موز

¹ Steam Explosion

شیرینی به منظور حفظ طراوت و جلوگیری از کاهش رطوبت، بهبود بافت و حس دهانی، بهبود طعم و جلوگیری از ضرر اقتصادی استفاده می‌گردد. مصرف توصیه شده غلات کامل و جایگزین کردن آن با غلات تصفیه شده در کشورهای مختلف متفاوت است، به عنوان مثال ایالت متحده مصرف بهینه برای محصولات سبوس‌دار را حداقل ۸۵ گرم در روز توصیه می‌شود (Joye et al., 2020; Zinina et al., 2019). از نشاسته مقاوم بتاگلوکان در شیرینی و غلات صبحانه استفاده می‌شود. در شکلات از فیبرهایی مانند اینولین و لیگوفروکتوز به عنوان جایگزین قند و برای تولید محصول کم کالری استفاده می‌شود. استفاده از فیبر در محصولات گوشتی برای بهبود عملکرد پخت، بهبود بافت، اتصال آب و پیوند چربی کاربرد دارد. در پژوهشی از فیبر رژیمی پرتقال (ODF)^۱ و اسانس پونه کوهی (OEO)^۲ در سوسیس بولونیا استفاده گردید و باعث بهبود بافت و افزایش ماندگاری محصول گردید. همچنین از هویج به عنوان پودر فیبر رژیمی آنتی‌اکسیدانی، هلو، گندم و پروتئین سویا نیز برای غنی‌سازی گوشت و فرآورده‌های گوشتی استفاده می‌شود. در صنعت نوشیدنی فیبر برای افزایش ویسکوزیته و پایداری آن‌ها کاربرد دارد. استفاده از فیبرهای غذایی در محصولات لبنی نیز کاربرد دارد به عنوان مثال اینولین باعث بهبود احساس دهانی می‌شود و سینرسیس در محصولات تخمیر شده مانند ماست کاهش می‌دهد. برای حفظ پایداری در مربا و مارمالاد از پکتین استفاده می‌شود. افزودن فیبر مرکبات به مواد غذایی باعث بهبود بافت، جایگزین قند، جایگزین چربی، برای افزودن رنگ به محصول گشته و همچنین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی افزوده می‌شود. اضافه کردن فیبر غذایی به اصلاح و بهبود بافت، ویژگی‌های حسی، افزایش ماندگاری غذا به دلیل ظرفیت اتصال به آب، توانایی ژل سازی، تقلید چربی و افزایش غلظت محصولات غذایی کمک می‌کند (Murtaza et al., 2022; Yangilar, 2013). Dos Santos (2013) و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تولید سوسیس تخمیری با چربی کاهش یافته ۲۵٪ با افزودن سه فیبر غذایی سلولز میکروکریستالی (MCC)، نشاسته (RS) و فیبر جو دوسر (OF) پرداختند و نتایج نشان داد فیبر غذایی اضافه شده تأثیری بر کاهش وزن، مقدار Ph و

شامل ۳۵٪ هدر رفت، فراوری سیب حدود ۱۱٪ تفاله، فراوری آناناس برای تولید آبمیوه حدود ۳۰٪، در فراوری انبه حدود ۲۳٪ دانه و پوست و ۱۸٪ خمیر غیر قابل استفاده، فراوری انگور ۲۰٪ پوست گوجه فرنگی ۲۰٪ و در مورد مرکبات این مقدار به ۵۰٪ می‌رسد که با استفاده بهینه از این مواد می‌توان از مقدار هدر رفت آن‌ها کاست. به عنوان مثال تفاله سیب پس از استخراج آب دور ریخته می‌شود که منبع خوبی از فیبر است و تفاله حاوی حدود ۱۵٪ فیبر غذایی محلول و ۳۶٪ فیبر غذایی نامحلول و همچنین پوست سیب شامل ۱٪ فیبر محلول و ۱۲٪ فیبر نامحلول است. تفاله انگور منبع فیبر غذایی و در پژوهشی مقدار آن را ۷۸٪ عنوان کردند که شامل ۱۰٪ فیبر غذایی محلول و ۶۸٪ فیبر نامحلول بود. مطالعات نشان داده خمیر و پوست هلو که از ضایعات فراوری است حدود ۳۱ تا ۳۶٪ فیبر غذایی و این مقدار در پرتقال به ۳۵ تا ۳۷٪ می‌رسد که سرشار از سلولز و همی سلولز است. همچنین مطالعات مقدار فیبر تفاله هویج را ۶۴٪ که حاوی ۵۰٪ فیبر غذایی نامحلول و ۱۴٪ فیبر محلول است و مقدار فیبر در پوست تازه هویج پس از بلانچ کردن از ۴۵٪ به ۷۳٪ افزایش پیدا کرد. با افزودن ضایعات به محصولاتی مانند کیک و شیرینی، پاستا و لبنیات می‌توان علاوه بر کاهش ضایعات این محصولات را نیز غنی نمود (Hussain et al., 2020; Lyu et al., 2020).

– کاربردهای فیبر در صنایع غذایی

یکی از چالش‌های صنعت غذا افزایش جمعیت و افزایش مصرف مود غذایی است. همچنین بسیاری از مصرف کنندگان با افزایش آگاهی، تمایل به مصرف مواد غذایی سالمتر و با کیفیت‌تر دارند که متخصصین برای پاسخگویی به نیاز جامعه و در راستای حفظ و کمک به محیط زیست به دنبال تغییر فرمولاسیون در مواد غذایی هستند (Gamompilas et al., 2021). امروزه فیبر غذایی به محصولاتی مانند نوشیدنی‌ها، محصولات پخته شده، شیرینی و کیک، لبنیات، گوشت، ماکارونی و سوپ اضافه می‌شود. جایگزین کردن سبوس گندم، سبوس جو، سلولز و پوست سیب‌زمینی با آرد گندم در محصولات نانوبی و

¹ Orange Dietary Fibre

² Oregano Essential Oil

پذیرش حسی محصول نداشت. همچنین افزودن فیبرها باعث کاهش فعالیت آب، افزایش باکتری‌های اسید لاکتیک با افزودن MCC و اثر آنتی‌اکسیدانی و بهبود جویدن با افزودن OF و MCC را نشان داد و همچنین افزودن فیبر رژیمی روشی مناسب برای تولید سوسیس تخمیری با چربی کم است (Dos Santos *et al.*, 2021). Perinelli و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی تولید پنیر با اینولین برای تولید محصولی پری‌بیوتیک و مغذی پرداختند و عنوان کردند افزودن اینولین هیچ تاثیری بر pH و رنگ محصول نداشت و فقط اثر نرم‌کنندگی جزئی که منجر به قوام و مقاومت مکانیکی کمتر شد را شاهد بودند (Dos Santos *et al.*, 2021). در پژوهشی Wu و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی افزودن سبوس برنج قبل و بعد تخمیر پرداختند و مشاهده کردند افزودن سبوس قبل از تخمیر سینریزاس ماست را ۲ و ۳٪ کاهش داد در حالی که افزودن آن بعد تخمیر باعث افزایش سینریزاس شد. همچنین ژل ماست با افزودن سبوس قبل از تخمیر فشرده‌تر و متخلخل‌تر از ماست با سبوس برنج اضافه شده پس از تخمیر بود (Wu *et al.*, 2023). Murtaza و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تولید پنیر چدارکم چرب با افزودن اینولین و نشاسته مقاوم به عنوان جایگزین چربی و حجیم‌کننده پرداختند و عنوان کردند افزودن اینولین و نشاسته به مقدار ۰/۵ و ۱٪ باعث بهبود کیفیت و خواص رئولوژیکی محصول می‌گردد (Murtaza *et al.*, 2022). به طور کلی در صنایع غذایی برای بهبود رفتار رئولوژیکی، ویژگی‌های حسی، بافت، عطر و طعم، قوام، کاهش نیتريت در سوسیس، افزایش ویسکوزیته، پایداری، حفظ تازگی، جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش ماندگاری از فیبر استفاده می‌شود.

نتیجه‌گیری

امروزه با توجه به تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از غذاهای عملگرا، به عنوان عوامل سلامت بخش و کمک‌کننده به درمان و بهبود بیماری‌ها، فیبرها مورد توجه قرار گرفته‌اند. فیبرها دارای فواید سلامت بخش مختلفی در بدن بوده و با بهبود عملکرد در دستگاه گوارش و به عنوان ماده پری‌بیوتیک با کمک به فعالیت باکتری‌ها مفید می‌تواند در کاهش و درمان بیماری‌های مختلف مانند دیابت و

سرطان‌هایی مانند کولون، دهان و حنجره موثر باشند. از آنجایی که فیبرها مواد غیر قابل هضم در روده کوچک می‌باشند با تخمیر در روده بزرگ و تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر مانند پروپیونات و همچنین افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در بهبود سرطان بسیار موثر می‌باشند. امروزه با توجه به توانایی فیبر در بهبود طعم، بافت، خواص حسی، رئولوژیکی و ایجاد قوام استفاده از آن‌ها در تولید محصولات با کیفیت در صنایع غذایی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. از جمله می‌توان از فیبرها برای کاهش نیتريت سوسیس و جلوگیری از کاهش رطوبت و افزایش ماندگاری محصولات غذایی استفاده نمود. همچنین استفاده از فیبر به عنوان جایگزین چربی باعث تولید مواد غذایی با چربی کمتر و سالمتر می‌گردد. از طرفی مشکلات زیست‌محیطی و کاهش ضایعات مواد غذایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که فیبرها از جمله عمده ضایعات مواد غذایی بوده که دارای ترکیبات زیست‌فعال و مواد مغذی می‌باشند می‌توان با مدیریت درست از هدررفت آن‌ها جلوگیری نمود. این امر از لحاظ اقتصادی نیز دارای مزیت بسیاری می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده استفاده از فیبرها دارای فواید بسیار می‌باشد که لزوم توجه به استفاده بیشتر از آن‌ها را در فرمولاسیون مواد غذایی در آینده به خوبی مشخص می‌گرداند.

منابع

- Abdi, R. & Joye, I.J. (2021). Prebiotic potential of cereal components. *Foods*, 10(10), 2338. <https://doi.org/10.3390/foods10102338>
- Ambuja, S. R. & Rajakumar, S. N. (2018). Review on “dietary fiber incorporated dairy foods: a healthy trend”. *Int J Eng Res Appl*, 8, 34-40.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis Jr, R.H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V. & Williams, C.L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition reviews*, 67(4), 188-205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Barber, T.M., Kabisch, S., Pfeiffer, A.F. & Weickert, M.O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Carlson, J.L., Erickson, J.M., Hess, J.M., Gould, T.J. & Slavin, J.L. (2017). Prebiotic dietary fiber and gut health: comparing the in

vitro fermentations of beta-glucan, inulin and xylooligosaccharide. *Nutrients*, 9(12), 1361. <https://doi.org/10.3390/nu9121361>

Chawla, R.P.G.R. & Patil, G.R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(2), 178-196. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>

Chio, C., Sain, M. & Qin, W. (2019). Lignin utilization: A review of lignin depolymerization from various aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 232-249. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.008>

Dai, F.J. & Chau, C.F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of food and drug analysis*, 25(1), 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>

Dakia, P.A. (2011). Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 293-299). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10035-0>

Dos Santos, J.M., Ignácio, E.O., Bis-Souza, C.V. & da Silva-Barretto, A.C. (2021). Performance of reduced fat-reduced salt fermented sausage with added microcrystalline cellulose, resistant starch and oat fiber using the simplex design. *Meat Science*, 175, 108433. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108433>

Fischer, F., Romero, R., Hellhund, A., Linne, U., Bertrams, W., Pinkenburg, O., Eldin, H.S., Binder, K., Jacob, R., Walker, A. & Stecher, B. (2020). Dietary cellulose induces anti-inflammatory immunity and transcriptional programs via maturation of the intestinal microbiota. *Gut Microbes*, 12(1), 1829962. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1829962>

Freitas, C.M.P., Coimbra, J.S.R., Souza, V.G.L. & Sousa, R.C.S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings*, 11(8), 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

Gan, J., Xie, L., Peng, G., Xie, J., Chen, Y. & Yu, Q. (2021). Systematic review on modification methods of dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 119, 106872. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106872>

Gamonpilas, C., Buathongjan, C., Kirdsawasd, T., Rattanaprasert, M., Klomtun, M., Phonsatta, N. & Methacanon, P. (2021). Pomelo pectin and fiber: Some perspectives and applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 120, 106981. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106981>

Gao, Y., Guo, M., Wang, D., Zhao, D. & Wang, M. (2023). Advances in extraction, purification, structural characteristics and biological activities of hemicelluloses: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 225, 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.099>

Hadri, Z. (2020). Unravelling the effect of viscous fiber on food intake: A review of studies. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 10(5).

He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X. & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>

He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., Su, X. & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>

Hervik, A.K. & Svihus, B. (2019). The role of fiber in energy balance. *Journal of nutrition and metabolism*. <https://doi.org/10.1155/2019/4983657>

Hosseiny, M. & Sedaghati, M. (2023). Production and Characterization of Milk Dessert Supplemented with Date Seed Powder. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(9), 2908-2915. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2023.560928.55>

Hussain, S., Jōudu, I. & Bhat, R. (2020). Dietary fiber from underutilized plant resources—A positive approach for valorization of fruit and vegetable wastes. *Sustainability*, 12(13), 5401. <https://doi.org/10.3390/su12135401>

Iqbal, S., Tirpanalan-Staben, Ö. & Franke, K. (2022). Modification of Dietary Fibers to Valorize the By-Products of Cereal, Fruit and Vegetable Industry—A Review on Treatment Methods. *Plants*, 11(24), 3466. <https://doi.org/10.3390/plants11243466>

Jakobsdottir, G., Nyman, M. & Fåk, F. (2014). Designing future prebiotic fiber to target metabolic syndrome. *Nutrition*, 30(5),

- 497-502.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.08.013>
- Joye, I.J. (2020). Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. *Nutrients*, 12(10), 3045. <https://doi.org/10.3390/nu12103045>
- Lattimer, J.M. & Haub, M.D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266-1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
- Lavanya, D.K.P.K., Kulkarni, P.K., Dixit, M., Raavi, P.K. & Krishna, L.N.V. (2011). Sources of cellulose and their applications—A review. *International Journal of Drug Formulation and Research*, 2(6), 19-38.
- Illippangama, A.U., Jayasena, D.D., Jo, C. & Mudannayake, D.C. (2022). Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118706. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118706>
- Li, S., Hu, N., Zhu, J., Zheng, M., Liu, H. & Liu, J. (2022). Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran. *Food Chemistry: X*, 14, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100298>
- Lin, D., Long, X., Huang, Y., Yang, Y., Wu, Z., Chen, H., Zhang, Q., Wu, D., Qin, W. & Tu, Z. (2020). Effects of microbial fermentation and microwave treatment on the composition, structural characteristics, and functional properties of modified okara dietary fiber. *Lwt*, 123, 109059. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109059>
- Li, D.Q., Li, J., Dong, H.L., Li, X., Zhang, J.Q., Ramaswamy, S. & Xu, F. (2021). Pectin in biomedical and drug delivery applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 49-65. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.088>
- Li, L. (2019). Study on the Application of Dietary Fiber on Special Medicine. *Int. J. New Dev. Eng. Soc*, 3, 19014.
- Liang, L.I. & Luo, Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.027>
- Lyu, F., Luiz, S.F., Azeredo, D.R.P., Cruz, A.G., Ajlouni, S. & Ranadheera, C.S. (2020). Apple pomace as a functional and healthy ingredient in food products: A review. *Processes*, 8(3), 319. <https://doi.org/10.3390/pr8030319>
- Ma, C., Ni, L., Guo, Z., Zeng, H., Wu, M., Zhang, M. & Zheng, B. (2022). Principle and Application of Steam Explosion Technology in Modification of Food Fiber. *Foods*, 11(21), 3370. <https://doi.org/10.3390/foods11213370>
- Makki, K., Deehan, E.C., Walter, J. & Bäckhed, F. (2018). The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell host & microbe*, 23(6), 705-715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
- Maphosa, Y. & Jideani, V.A. (2016). Dietary fiber extraction for human nutrition—A review. *Food Reviews International*, 32(1), 98-115. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1057840>
- McRorie Jr, J.W. & McKeown, N.M. (2017). Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: an evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(2), 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021>
- Mu, R., Hong, X., Ni, Y., Li, Y., Pang, J., Wang, Q., Xiao, J. & Zheng, Y. (2019). Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.013>
- Mudgil, D. (2017). The interaction between insoluble and soluble fiber. In *Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease* (pp. 35-59). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805130-6.00003-3>
- Murtaza, M.S., Sameen, A., Rafique, S., Shahbaz, M., Gulzar, N., Murtaza, M.A., Farooq, U. & Hafiz, I. (2022). Impact of dietary fiber (inulin and resistant starch) on the quality parameters of low fat cheddar cheese from buffalo milk. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 55(2). <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20200630120620>
- Nagy, R., Máthé, E., Csapó, J. & Sipos, P. (2020). Modifying effects of physical processes on starch and dietary fiber content of foodstuffs. *Processes*, 9(1), 17. <https://doi.org/10.3390/pr9010017>
- Nsor-Atindana, J., Chen, M., Goff, H.D., Zhong, F., Sharif, H.R. & Li, Y. (2017). Functionality and nutritional aspects of microcrystalline cellulose in food.

- Carbohydrate polymers*, 172, 159-174. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.021>
- Ötles, S. & Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta scientiarum polonorum Technologia alimentaria*, 13(2), 191-202. doi.org/10.17306/J.AFS.2014.2.8
- Perinelli, D.R., Santanatoglia, A., Caprioli, G., Bonacucina, G., Vittori, S., Maggi, F. & Sagratini, G. (2023). Inulin Functionalized “Giuncata” Cheese as a Source of Prebiotic Fibers. *Foods*, 12(18), 3499. <https://doi.org/10.3390/foods12183499>
- Pop, C., Suharoschi, R. & Pop, O.L. (2021). Dietary fiber and prebiotic compounds in fruits and vegetables food waste. *Sustainability*, 13(13), 7219. <https://doi.org/10.3390/su13137219>
- Rezende, E.S.V., Lima, G.C. & Naves, M.M.V. (2021). Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. *Nutrition*, 89, 111217. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111217>
- Slavin, J.L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3), 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018>
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Snauwaert, E., Paglialonga, F., Vande Walle, J., Wan, M., Desloovere, A., Polderman, N., Renken-Terhaerd, J., Shaw, V. & Shroff, R. (2023). The benefits of dietary fiber: the gastrointestinal tract and beyond. *Pediatric Nephrology*, 38(9), 2929-2938. <https://doi.org/10.1007/s00467-022-05837-2>
- Soliman, G.A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(5), 1155. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>
- Swann, O.G., Kilpatrick, M., Breslin, M. and Oddy, W.H. (2020). Dietary fiber and its associations with depression and inflammation. *Nutrition Reviews*, 78(5), 394-411. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz072>
- Teferra, T.F. (2021). Possible actions of inulin as prebiotic polysaccharide: A review. *Food Frontiers*, 2(4), 407-416. <https://doi.org/10.1002/fft2.92>
- Theuwissen, E. & Mensink, R.P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & behavior*, 94(2), 285-292. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.01.001>
- Torres, L.A.Z., Woiciechowski, A.L., de Andrade Tanobe, V.O., Karp, S.G., Lorenci, L.C.G., Faulds, C. & Soccol, C.R. (2020). Lignin as a potential source of high-added value compounds: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121499>
- Visuthranukul, C., Kwanbunbumpen, T., Chongpison, Y., Chamni, S., Panichsillaphakit, E., Uaariyapanichkul, J., Maholarnkij, S. & Chomtho, S. (2022). The impact of dietary fiber as a prebiotic on inflammation in children with obesity. *Foods*, 11(18), 2856. <https://doi.org/10.3390/foods11182856>
- Wan, X., Guo, H., Liang, Y., Zhou, C., Liu, Z., Li, K., Niu, F., Zhai, X. & Wang, L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate polymers*, 246, 116589. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116589>
- Wu, T., Deng, C., Luo, S., Liu, C. & Hu, X. (2023). Effect of rice bran on properties of yogurt: Comparison between addition of bran before fermentation and after fermentation. *Food Hydrocolloids*, 135, 108122. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108122>
- Yangilar, F. (2013). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of food and nutrition research*, 1(3), 13-23.
- Zhang, H., Wang, H., Cao, X. & Wang, J. (2018). Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review. *Food Research International*, 113, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.068>
- Zhu, B.J., Zayed, M.Z., Zhu, H.X., Zhao, J. & Li, S.P. (2019). Functional polysaccharides of carob fruit: a review. *Chinese medicine*, 14(1), 40.
- Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E., Yessimbekov, Z. & Baryshnikova, N. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: a review. <https://doi.org/10.15159/ar.19.163>

بررسی کارایی پوست انار در حذف نیکل و کروم از پساب صنعت آبمیوه

نسرین هاشمی^a، مسعود هنرور^{b*}، الهه قره خانی^c

^a دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^b دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^c استادیار گروه شیمی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، استان مرکزی، ایران

چکیده

مقدمه: آلودگی آب با فلزات سنگین سمی در اثر تخلیه فاضلاب صنعتی یک مشکل زیست محیطی در سراسر جهان است. حذف فلزات سنگین از پساب صنعتی موضوعی قابل توجه در زمینه آلودگی آب است که یک مشکل جدی در کاهش کیفیت آب می‌باشد. فلزات متعددی مانند نیکل، کادمیوم، کروم، کبالت، مس، سرب، جیوه و روی به میزان قابل توجهی سمی می‌باشند. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر پوست انار به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف فلزات نیکل و کروم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پوست انار ابتدا با محلول سود ۰/۱ نرمال اصلاح شد و توانایی جذب بررسی گردید. تاثیر سود بر روی جاذب توسط تکنیک‌های CHN، FT-IR و SEM مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اصلاح جاذب با سود در حذف یون‌های کروم و نیکل از پساب صنعتی موثر بوده است. آزمایشات جذب در غلظت‌های مختلف جاذب، زمان، دما و pHهای مختلف انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که شرایط بهینه برای یون نیکل (II) ۴/۵ g/L از جاذب، pH=۶، دما 308.15 K و زمان ۶۰ دقیقه و شرایط بهینه برای یون کروم (VI)، ۴ g/L از جاذب، pH=۵/۵، دمای 300.65K و زمان ۱۰۰ دقیقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: تحقیقات صورت گرفته و نتایج حاصل از آن با توجه به مزایای بالقوه، استفاده از این جاذب به‌عنوان جاذب زیستی جهت حذف نیکل و کروم در پساب صنعتی را به‌عنوان چشم اندازی امیدوار کننده و دوستدار محیط زیست پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، پوست انار، جذب، فلزات سنگین، فاضلاب.

مقدمه

آب همواره یکی از منابع راهبردی و حیاتی بوده که توجه زیادی در هر عصری به خود معطوف کرده است. در زمان حاضر با توجه به توسعه صنایع و گسترش شهرنشینی از یک طرف، محدود بودن منابع آب از طرف دیگر ضروری است که از منابع آب موجود به نحو احسن استفاده نمود. با توجه به اینکه آب می‌بایستی عاری از آلودگی شیمیایی و میکروبی باشد تا باعث بروز مشکل در مصارف صنعتی و خانگی نگردد برای تصفیه آب گاهی روش‌های علمی و پیچیده مورد نیاز می‌باشد (Hoseini et al., 2012). رشد سریع جمعیت شهری، وجود حجم زیادی از فاضلاب مراکز صنعتی، شهری و نگرانی‌های زیست-محیطی از سویی و کمبود منابع آب شیرین از سوی دیگر، ضرورت بهره‌برداری مطلوب از پساب‌های شهری و صنعتی را دو چندان می‌کند. با بیشتر شدن فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های تصفیه نشده به محیط‌های آبی که شامل آلاینده‌های مختلف محیط زیستی هستند، مشکلات زیادی برای انسان و سایر موجودات زنده ایجاد شده است و آلودگی منابع آبی به یک مشکل جدی محیط زیست جهانی تبدیل شده است (Romero-Cano et al., 2016).

فاضلاب‌های صنعتی حاوی مواد آلاینده متنوعی هستند که می‌توانند به طور جدی به محیط زیست آسیب برسانند. این فاضلاب‌ها معمولاً شامل مواد آلی، شیمیایی، فلزات سنگین، ترکیبات نفتی، رنگ‌ها، مواد رادیواکتیو و میکروارگانیسم‌ها هستند. تخلیه پساب‌های غیر استاندارد صنعتی، استفاده از آنها در کشاورزی و تخلیه به آب‌های سطحی، مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی زیادی را به دنبال خواهد داشت. به منظور جلوگیری از تهدید بهداشت عمومی، آلوده شدن خاک، ورود آلاینده‌ها به منابع آب و آلودگی محصولات کشاورزی، کنترل کیفی پساب و شناسایی ترکیبات آن به منظور انتخاب روش مناسب تصفیه، اهمیت بسیار زیادی دارد (معری‌پور و همکاران، ۲۰۱۹). اکثر صنایع بزرگ دارای امکانات تصفیه فاضلاب‌های صنعتی هستند اما این موضوع در مورد صنایع کوچک وجود ندارد، زیرا سود آن‌ها بسیار کم است و نمی‌توانند سرمایه‌گذاری عظیمی در تجهیزات کنترل آلودگی داشته باشند. فلزات سنگین دسته مهمی از آلاینده‌ها هستند که برای محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها

بررسی کارایی پوست انار در حذف نیکل و کروم از پساب صنعت آمیموه

خطر جدی محسوب می‌شوند. حذف فلزات سنگین از فاضلاب، یکی از مهم‌ترین مراحل تصفیه فاضلاب‌های صنعتی می‌باشد چرا که آلودگی فلزات سنگین توسط فعالیت‌های صنعتی و توسعه تکنولوژیکی به علت سمیت این آلاینده‌ها، غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بودن آن‌ها و تجمع زیستی تهدیدهای جدی برای محیط زیست و بهداشت عمومی ایجاد نموده است. هنگامی که فلزات سنگین در حالت عنصر و یا مواد آلی فلزی در می‌آیند، می‌توانند تاثیرات قابل توجهی بر سلامت جوامع بشری داشته باشند. تماس با فلزات سنگین می‌تواند سبب اختلالات عصبی، پیر سلولی، نارسایی کبدی و کلیوی و سرطان‌زایی شود. (Lefebvre and Edwards, 2010). فلزات سنگین به علت سمیت، تجمع در زنجیره غذایی و تجزیه ناپذیر بودن و پایداری آنها در طبیعت یک تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت عمومی می‌باشند. (Abdullah et al., 2019).

یکی از فلزات سنگین که در اغلب پساب‌های صنعتی مانند کارخانجات فرآوری و آبکاری فلزات، نساجی، کشاورزی، داروسازی، رنگرزی، پالایشگاه‌ها و کارخانجات صنایع غذایی وجود دارد، کروم است. کروم شش ظرفیتی در مقایسه با کروم سه ظرفیتی حلالیت کمتری دارد، بسیار خطرناک و سرطان‌زا بوده و در آب‌های آلوده به صورت محلول یافت می‌شود. خاصیت بالای تجمع‌پذیری کروم در بافت‌های حیوانی و گیاهی باعث ایجاد مشکلات جدی شده و موجب اختلال در کار کبد و کلیه‌ها می‌شود.

نیکل به‌عنوان یکی از فلزات سنگین مهم و تجزیه ناپذیر بوده و غلظت بیش از حد مجاز آن نیز می‌تواند برای انسان و سایر موجودات زنده خطرناک باشد، هر چند وجود آن برای انجام برخی از واکنش‌های آنزیمی و فعالیت‌های متابولیکی بدن انسان ضروری است. ممکن است نیکل در محیط‌های آبی تجمع پیدا کند. مقادیر کم نیکل برای تولید سلول‌های گلبول‌های قرمز نیاز است ولی در مقادیر متوسط، نیکل به طور خفیف می‌تواند باعث مسمومیت شود اما مقادیر زیاد آن در بدن می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، آسیب به قلب و کبد و سوزش پوست گردد (Khajeh Mahrizi and Shahi, 2019).

روش‌های مختلفی برای حذف آلاینده‌ها از پساب وجود دارد که در این میان، فرآیند جذب سطحی به‌عنوان

جایگزینی مناسب نسبت به روش‌های گران‌قیمت تصفیه پساب (تشنه‌نشینی شیمیایی، تبادل یونی، فرآیندهای غشایی و روش‌های الکتروشیمیایی) شناخته شده است (Tavakoli, 2020). نجیم^۱ و همکارانش در مطالعه‌ای از پوست انار اصلاح شده با فرمالدئید به‌عنوان جاذب برای حذف کروم (VI) از محلول آبی استفاده کردند. یک سری آزمایش برای ارزیابی اثر متغیرها انجام شد. اثر pH، غلظت اولیه کروم (VI)، زمان تماس، مقدار جاذب و دما در نظر گرفته شد. مقادیر pH بهینه حذف کروم (VI) ۲/۰ بود. زمان مورد نیاز برای تعادل حدود ۱۰۰ دقیقه بود. غلظت اولیه کروم (VI) و مقدار جاذب تأثیر زیادی بر جذب کروم (VI) دارد. حداکثر ظرفیت جذب ۲۲/۲۸ میلی‌گرم کروم (VI) در هر گرم جاذب بود (Najim and Yassin, 2009). جذب نیکل بر روی پوست انار اصلاح شده مورد مطالعه قرار گرفت. پوست انار ابتدا با آب دوبار تقطیر شسته شد و در آن با دمای 80 ± 2 درجه سانتیگراد به مدت یک شبانه روز خشک شد. پوست‌های خشک شده از نظر حرارتی در دمای 60 ± 5 درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت در حضور هوا فعال شدند و سپس با آب مقطر شسته شده تا محتویات خاکستر خارج شود و در نهایت در آن با دمای 110 ± 5 درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. مواد به دست‌آمده به اندازه ذرات ۱۰۴-۷۵ میلی‌متر الک شدند. مدل‌های سینتیکی تحلیل شده و مدل مرتبه دوم جذب بهتر یون‌های نیکل را ثبت کرد. مدل ایزوترم لانگمویر داده‌های تجربی را پوشش داد و حداکثر ظرفیت جذب برای یون‌های نیکل ۵۲/۲ میلی‌گرم بر گرم بود. پارامترهای ترمودینامیکی نشان داد که ماهیت فرآیند جذب گرماگیر و خودبخودی است (Bhatnagar and Minocha, 2010).

در تحقیقی پتانسیل استفاده از پوست انار به‌عنوان یک جاذب زیستی اقتصادی و سازگار با محیط زیست برای حذف کروم (VI) از محلول آبی توسط Giri و همکاران (۲۰۲۱) بررسی شد و ویژگی‌های جذب آن مورد مطالعه قرار گرفت. جاذب تهیه شده با استفاده از طیف‌سنجی قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی با آنالیز پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX) مشخص شد. راندمان حذف پوست انار و تأثیر پارامترهای تجربی بر جذب کروم (VI) از طریق آزمایش‌های پیوسته ارزیابی شد.

راندمان حذف توسط پوست انار به pH محلول کروم (VI) وابسته است که $pH=2$ بهینه است. علاوه بر این، مشاهده شد که حذف کروم (VI) با افزایش مقدار جاذب، دما، زمان تماس و سرعت همزدن افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش pH، غلظت‌های اولیه و قدرت یونی کاهش می‌یابد. ظرفیت حذف (۹۶٪) در $pH=6$ ، مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم جاذب و زمان تماس ۳۰ دقیقه مشاهده شد. سینتیک جذب کروم (VI) به‌خوبی با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم مطابقت داشت و ظرفیت جذب محاسبه‌شده مدل مطابقت خوبی با مقادیر تجربی نشان داد. ایزوترم لانگمویر مکانیسم جذب کروم (VI) را بر روی پوست انار توصیف کرد که نشان دهنده جذب تک لایه کروم (VI) با ظرفیت جذب (qmax) مقدار ۸۷/۲۰ میلی‌گرم بر گرم است. مطالعات ترمودینامیکی بیشتر جذب خود به خودی و گرماگیر بودن کروم (VI) روی سطح جاذب را نشان داد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که پوست انار می‌تواند به‌عنوان یک جاذب زیستی کارآمد، سازگار با محیط زیست و کم هزینه برای حذف کروم (VI) از پساب آلوده استفاده شود.

یک مطالعه توسط Ben-Ali (۲۰۲۱) برای بررسی پتانسیل پوست انار جهت تصفیه فاضلاب انجام شده است. خواص فیزیکی و شیمیایی پوست انار اصلاح شده با خواص پوست انار خام مقایسه شده است. عملکرد پوست انار خام و اصلاح شده و ظرفیت جذب فلزات، رنگ‌ها و آلاینده‌های آلی ارزیابی شده است. شرایط تجربی جذب مانند غلظت، زمان تماس، pH، دما و مقدار جاذب مورد استفاده در مقالات نشان داده شده است. مدل‌های سینتیک و ایزوترم مطالعه شده و بهترین برازش را با داده‌های تجربی و پارامترهای ترمودینامیکی مقایسه می‌کنند. اثرات فعال کردن شرایط فیزیکی و یا شیمیایی بر روی خواص پوست انار فعال ارائه شده است. این مطالعه ویژگی‌های قابل توجه پوست انار خام برای تصفیه فاضلاب را در مقایسه با این فرم فعال نشان می‌دهد. مقایسه بین مورفولوژی پوست انار فعال و خام نشان می‌دهد که فعالسازی لزوماً ظرفیت جذب پوست انار را بهبود نمی‌بخشد. علیرغم تحقیقات محدودی که بر روی جاذب زیستی پوست انار خام انجام شده است، از این مطالعه به نظر می‌رسد که پوست انار دارای خواص جذب بسیار خوبی است که آن را به یک بستر تجدیدپذیر

^۱ Najim

جدی و کم هزینه برای کاربردهای عملی در تصفیه فاضلاب در مقایسه با سایر زیست توده‌های زائد کشاورزی تبدیل می‌کند.

هدف از این تحقیق، حذف یون کروم و نیکل از پساب صنعتی با استفاده از پوست انار به‌عنوان یک زیست توده طبیعی با فرآیند جذب کارآمد، کم هزینه و سازگار با محیط زیست است. در این تحقیق از روش سطح پاسخ برای طراحی آزمایش و بهینه‌سازی نتایج استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای حذف فلزات سنگین نیکل و کروم از پساب صنعت آبمیوه و از پوست انار به‌عنوان جاذب زیستی استفاده گردید. غلظت اولیه فلز کروم و نیکل در پساب به ترتیب 130ppm و 100ppm است. همچنین، با روش‌های مشخصه‌یابی (SEM^۱) شرکت TESCAN مدل MIRA III و (FT-IR)^۲ شرکت THERMO مدل AVATAR میزان قابلیت به دام اندازی فلزات سنگین و پیوندهای تشکیل شده با پوست انار بررسی شد.

به‌منظور اندازه‌گیری مقدار کربن، اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن از دستگاه CHN مدل TruSpec ساخت کمپانی LECO استفاده شد. دستگاه CHN جهت آنالیز عنصری و اندازه‌گیری کربن، هیدروژن، نیتروژن و گوگرد موجود در نمونه‌ها به کار می‌رود. با استفاده از آنالیز CHN می‌توان عناصر کربن (C)، نیتروژن (N) و هیدروژن (H) را شناسایی و مقدار آن‌ها را در نمونه تعیین نمود. آنالیز CHN و CHNS، روشی برگشت ناپذیر بوده و نمونه پس از تست CHN و CHNS تخریب می‌گردد. برای آزمون CHN نمونه از گازهای خالص هلیوم به‌عنوان گاز حامل و گاز اکسیژن به‌عنوان اکسیدانت استفاده می‌گردد. دستگاه CHN دارای دو ستون احتراق و احیا می‌باشد. نمونه در ابتدا وارد ستون احتراق شده (۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) و در دمای بالا و توسط گاز اکسیژن سوخته و تبدیل به گاز می‌شود. پس از آن به‌وسیله گاز حامل هلیوم وارد ستون احیا شده (۸۵۰ درجه سانتی‌گراد) و اکسیژن موجود جذب می‌گردد. در نهایت عناصر به‌صورت ترکیبات گازی N₂، H₂O، SO₂ و CO₂ توسط ستون‌های جاذب گرفته شده و توسط دتکتور TCD در فواصل زمانی مختلف شناسایی

می‌گردند. پاسخ نهایی بر اساس درصد عناصر موجود می‌باشد (Gnaiger and Bitterlich, 1984).

برای تهیه جاذب، ابتدا پوست انار خشک را تمیز، خرد و سپس با دستگاه آسیاب گلوله‌ای ماهواره‌ای مدل NARYA.MPM-2×250 H شرکت امین آسیا فناوری پارس آسیاب شد. پودر جمع‌آوری شده چند بار با آب مقطر تا زمان بی‌رنگ شدن محلول شسته شد و سپس در دمای اتاق خشک گردید. سپس ۱۰۰ گرم از پوست انار خشک شده با ۵۰ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۵۰ مولار درون یک بشر در دمای اتاق به مدت یک روز همزده شد تا سطح آن فعال شود (Giri et al., 2021).

پودر جاذب تهیه شده برای جذب آلاینده‌های سمی در شرایط مختلف دما، زمان، pH با مقادیر مختلف به پساب اضافه گردید و به‌وسیله دستگاه جذب اتمی میزان حذف فلزات سنگین از پساب بررسی شد.

به منظور بررسی میزان حذف نیکل و کروم به‌وسیله جاذب ابتدا ۵۰ میلی‌لیتر پساب صنعتی حاوی فلزات سنگین نیکل و کروم به یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس دمای آن در ۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم و جذب آن به‌وسیله دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری جذب فلزات نیکل و کروم تنظیم pH با استفاده از محلول هیدروکلریک اسید ۰/۱۰ مولار و یا محلول سدیم هیدروکسید ۰/۰۰۰۱۰ مولار، pH محلول در محدوده ۴-۵-۶-۷-۸، زمان‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ دقیقه، دماهای ۲۰، ۲۷، ۳۵، ۴۲، ۵۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های جاذب ۱، ۲/۵، ۴، ۵/۵، ۷ گرم برلیتر انجام شد. اندازه‌گیری و کنترل دما توسط دماسنج دیجیتال شرکت TESTO مدل ۱۱۱۳ انجام گردید. لازم به ذکر است مقدار عدم قطعیت اندازه‌گیری شده برای دما ۰،۱ ثبت شد. اندازه‌گیری pH، با قرار دادن الکتروود شیشه‌ای در محلول انجام شد. تنظیم دستگاه با استفاده از محلول‌های تامپون، معمولاً ۴، ۷ و ۹ صورت می‌گیرد. نمونه‌های مورد نظر درون بشرهای حاوی مگنت ریخته، سپس بر روی میکسر قرار داده (تا تمام یون‌های محلول پراکنده شوند) و الکتروود دستگاه درون بشرهای حاوی نمونه گذاشته و عدد pH یادداشت گردید (Rice et al.,

¹ Scanning Electron Microscope

² Fourier Transform Infrared Spectrometer

سدیم هیدروکسید افزوده شده به پساب حاوی کروم و نیکل تغییراتی در طیف دارند. طیف سنجی مادون قرمز یا تبدیل فوریه شکل ۲ نتایج آنالیز طیف IR نمونه جاذب قبل و بعد از جذب است. نتایج طیف سنجی FT-IR نمونه‌های پوست انار خام، پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید که به پساب حاوی فلزات سنگین کروم و نیکل افزوده شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

SEM -

این آنالیز یک روش میکروسکوپی با قابلیت بزرگنمایی بالا می‌باشد که به بررسی مورفولوژی، ترکیب و ساختار سطح جاذب در ابعاد نانومتر می‌پردازد. جاذب در این مطالعه از مواد آلی و غیرآلی تشکیل شده است، که ساختار نامنظم و حاوی خلل و فرج دارد. مورفولوژی سطح دو نمونه پوست انار خام و پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید توسط آنالیز SEM مورد بررسی قرار گرفته است.

- آنالیز عنصری CHN

از نتایج جدول ۱ مشخص است که بالاترین درصد وزنی در ساختار جاذب به عناصر کربن و اکسیژن و مقادیر کمتر نیتروژن و هیدروژن تعلق دارد.

(2012). جهت تنظیم pH در محدوده مورد نظر از اسید سیتریک و سدیم هیدروکسید استفاده گردید.

جاذب فعال شده با سدیم هیدروکسید به دقت توزین و به پساب‌های داخل بشر اضافه گردید و محلول‌ها روی همزن مغناطیسی مدل IKA C-MAG HS7 قرار داده شد. به منظور بررسی میزان کاهش جذب نیکل و کروم، در فواصل زمانی معینی، حدود ۲/۰ میلی‌لیتر از محلول به لوله سانتریفیوژ منتقل گردید. بعد از سانتریفیوژ کردن در دستگاه سانتریفیوژ شرکت بنیامین طب، جذب آن به وسیله دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری شد. باقی‌مانده محلول داخل لوله سانتریفیوژ به همراه جاذب به محلول داخل بشر بازگردانده شد (Abbasi *et al.*, 2009; Hadigol *et al.*, 2013; Ghaneian *et al.*, 2019).

یافته‌ها

- طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه FT-IR

آنالیز FT-IR برای درک گروه‌های عاملی مسئول در جذب نیکل و کروم از پساب به وسیله پوست انار استفاده شد. طیف سنجی مادون قرمز با تبدیل فوریه با دستگاه FT-IR برای نیکل در طول موج ۲۳۲ نانومتر و کروم ۳۵۷,۹ نانومتر انجام پذیرفت. نتایج طیف سنجی FTIR شکل ۲ نشان می‌دهد که نمونه‌های پوست انار خام و اصلاح شده با

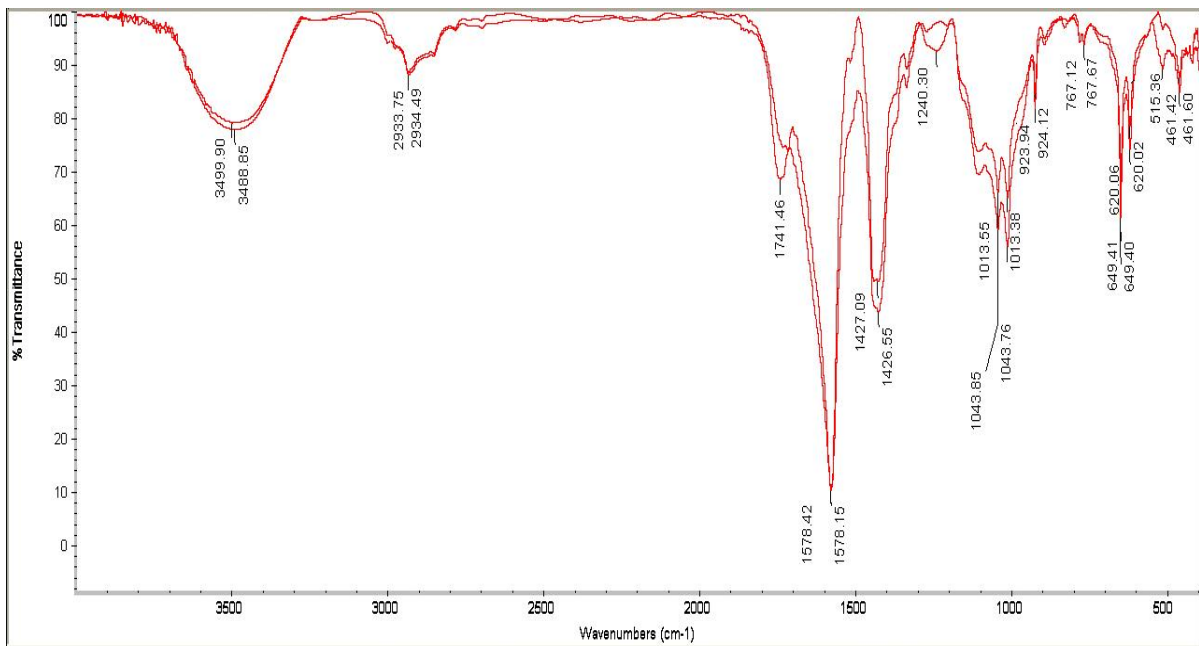


Figure 1- FT-IR Spectrum of Raw Pomegranate Peel and Modified Pomegranate peel with Sodium Hydroxide.

شکل ۱- طیف FT-IR مربوط به پوست انار خام و پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید.

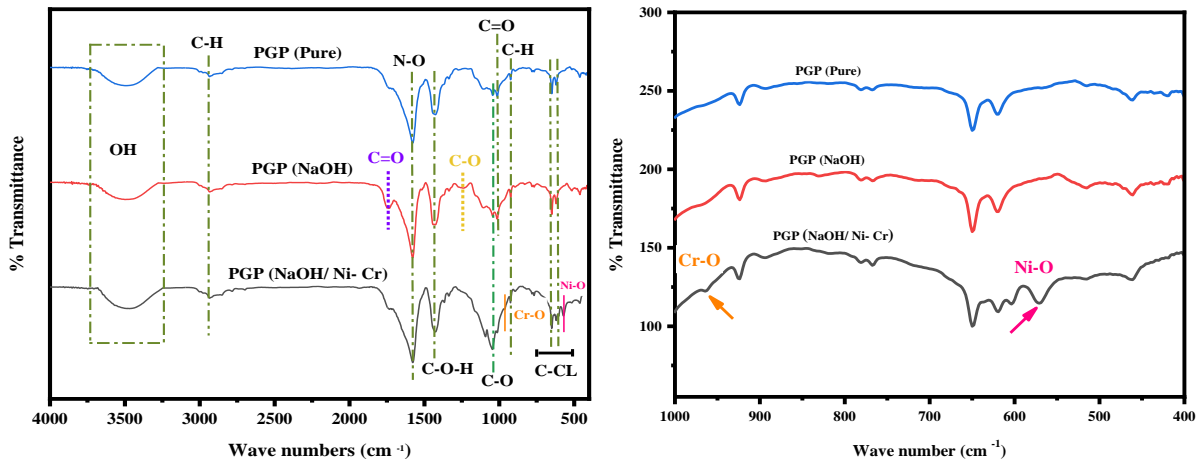


Figure 2- Comparison of FTIR Spectroscopy Results for (a) Raw Pomegranate Peel, (b) Washed Pomegranate Peel Treated with Sodium Hydroxide, and (c) Washed Pomegranate Peel Treated with Sodium Hydroxide Containing Heavy Metals Chromium and Nickel.

شکل ۲- مقایسه نتایج طیف سنجی FTIR نمونه‌های پوست انار خام، پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید و پوست انار شست و شو داده شده با سدیم هیدروکسید حاوی فلزات سنگین کروم و نیکل.

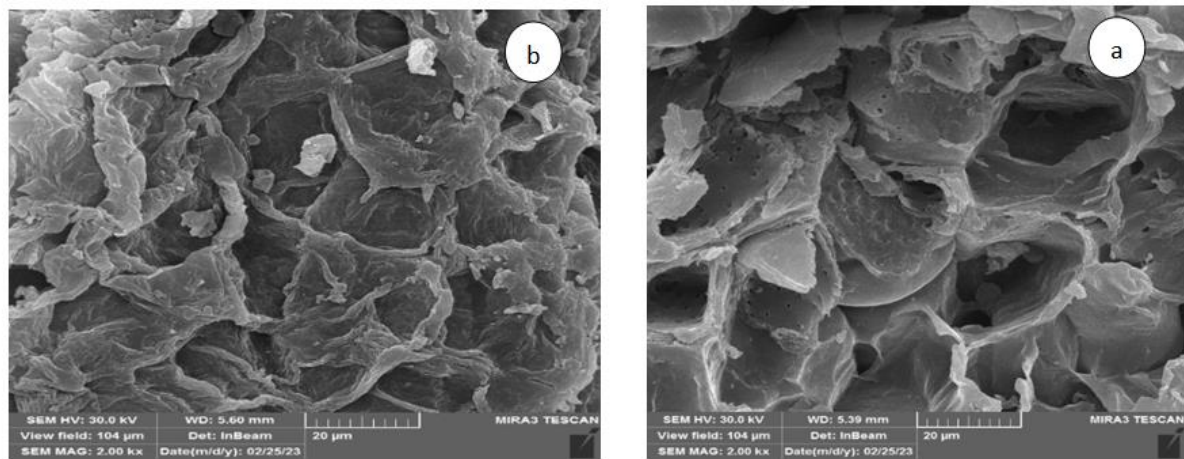


Figure 3- FE-SEM Images of (a) Raw Pomegranate Peel, (b) Washed Pomegranate Peel Treated with NaOH. شکل ۳- تصاویر FE-SEM نمونه پوست انار خام و (b) نمونه پوست انار اصلاح شده توسط NaOH.

جدول ۱- عناصر در پوست انار خام و اصلاح شده با سود (%)

Table 1- Percentage Composition of Elements in Raw and Washed Pomegranate Peel

Percentage Composition of Elements	Carbon %	Oxygen %	Hydrogen %	Nitrogen %
Raw Pomegranate Peel	49.78	43.99	6.01	0.216
NaOH Washed Pomegranate Peel	50.51	45.39	3.92	0.173

در این پژوهش، طراحی مرکب مرکزی (CCD)، برای مطالعه تاثیر متغیرهای pH، دما، زمان و غلظت مورد استفاده قرار گرفت. بازه متغیرها مطابق با جدول ۲ تعیین شد.

طراحی آزمایش در نرم افزار دیزاین اکسپرت ورژن ۱۳ (DESIGN EXPERT 13/0 USA) به روش سطح پاسخ انجام شد. نتایج آزمون‌ها با استفاده از روش تحلیل آماری anova آنالیز و تحلیل شدند.

جدول ۲- سطوح و بازه متغیرها
Table 2- Levels and Ranges of Variables

Parameter	Symbol	Scale	Levels of Independent Variables				
			(-20)	-1	0	+1	(+20)
pH	A	-	4	5	6	7	8
Time	B	min	20	40	60	80	100
Temperature	C	°C	20	27.5	35	42.5	50
Adsorbent concentration	D	g/lit	1	2.5	4	5.5	7

جدول ۳- آزمایش‌های طراحی شده با چهار متغیر مستقل در پنج سطح و شش تکرار در نقطه مرکزی توسط روش CCD
Table 3- Designed Experiments with Four Independent Variables at Five Levels and Six Replicates at Central Point Using CCD Method

Test number	variables				Responses	
	pH	Time	Temperature	Adsorbent concentration	efficiency Ni ²⁺	efficiency Cr ⁶⁺
	-	min	°C	g/lit	%	%
1	6	60	20	4	84.94	94.05
2	4	60	35	4	85.1	93.2
3	7	80	42.5	2.5	65.1	95.3
4	5	80	27.5	2.5	64.1	93.4
5	6	60	35	4	93.1	94.7
6	7	40	27.5	5.5	93.5	87
7	6	60	35	5	96.5	96
8	5	40	42.5	2.5	59.82	88.61
9	5	40	27.5	2.5	54.88	88.1
10	6	60	50	4	88.3	93.21
11	5	40	27.5	5.5	89.1	90
12	7	40	27.5	2.5	55.3	84.01
13	5	80	42.5	2.5	67.1	91.6
14	6	60	35	4	94.7	95.23
15	6	60	35	4	94.65	95.42
16	6	60	35	4	68.94	95.3
17	5	40	42.5	5.5	90.5	86.7
18	7	40	42.5	2.5	57.8	86
19	7	80	42.5	5.5	91.22	82.3
20	8	80	35	4	89.88	91.81
21	6	60	35	4	91.6	94.3
22	7	80	27.5	5.5	89.8	87.1
23	5	80	42.5	5.5	87.8	79.1
24	6	20	35	4	85.3	91.01
25	6	60	35	1	20.56	73.3
26	7	80	27.5	2.5	65.3	92.4
27	5	80	27.5	5.5	84.01	82.5
28	7	40	42.5	5.5	95.1	84.44
29	6	60	35	7	80.1	63.3
30	6	100	35	4	89.1	95.7

بحث

مورفولوژی سطح دو نمونه پوست انار خام و نمونه پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید توسط آنالیز SEM با بزرگنمایی ۲۰ میکرومتر در شکل 3 نشان داده شده است. در این تصاویر ساختار جذب، ساختار حفره‌ها و تغییرات ساختاری بعد از اصلاح را می‌توان مشاهده نمود. همانطور که در شکل 3 قابل مشاهده است، تصویر (a) سطح نمونه پوست انار خام را نشان می‌دهد که دارای ساختار نامنظم است که بر روی آن تخلخل و حفره‌های گسترده با اندازه مشابه ظاهر شده‌اند (Reddy et al., 2015; Abdel-Galil et al., 2021).

مورفولوژی سطح نمونه پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید در شکل (b) نشان داده شده است. نشان‌دهنده این است که در آن حفرات و منافذ موجود در نمونه پوست انار خام پس از اصلاح با سدیم هیدروکسید افزایش یافته و سطح کاملاً متخلخل و ناهموار را به وجود آورده است که این می‌تواند به این دلیل باشد که استفاده از سدیم هیدروکسید، گروه‌های کربوکسیلیک موجود در پوست انار خام را فعال کرده است و موجب افزایش خلل و فرج شده است که این امر باعث افزایش جذب سطحی یون‌های نیکل و کروم شده است (Akkari et al., 2021).

مطابق نتایج طیف‌سنجی FT-IR شکل ۱، نمونه پوست انار خام یک نوار اصلی در 3488 cm^{-1} را نشان می‌دهد که متعلق به ارتعاش کششی OH می‌باشد و به گروه‌های عاملی هیدروکسیلیک مرتبط است (Giri et al., 2015; Shouman and Khedr, 2021) که این پیک در طیف مربوط به نمونه پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید در 3499 cm^{-1} و طیف مربوط به نمونه پوست انار اصلاح شده که به محلول حاوی فلزات سنگین کروم و نیکل افزوده شده در 3470 cm^{-1} ظاهر شده است که به دلیل واکنش بین مولکول‌های نمونه پوست انار خام، مولکول‌های سدیم هیدروکسید و فلزات سنگین جابجا شده است. پیک‌های مشاهده شده در 2934 cm^{-1} و 924 cm^{-1} به ارتعاش کششی C-H اختصاص دارند (Cheyad and Salman, 2017). همچنین نوارهای جذب ظاهر شده در 1578 cm^{-1} ، 1426 cm^{-1} و 1013 cm^{-1} به ترتیب به ارتعاش کششی N-O (ترکیبات نیترو)، ارتعاش خمشی C-OH و ارتعاش کششی C=O متعلق است (Msaadi et

al., 2021; Giri et al., 2021; Cheyad and Salman, 2017). پیک ظاهر شده در 1043 cm^{-1} را می‌توان به کشش C-O نسبت داد که این نوار ممکن است به ارتعاش کششی C-N نیز اختصاص داده شود (Giri et al., 2021; Vardin et al., 2008). در نهایت یک نوار ضعیف در 620 cm^{-1} مشاهده می‌شود که به گروه‌های آلکیل هالید (C-Cl) تعلق دارد (Giri et al., 2021). مطابق نتایج به دست آمده از طیف‌سنجی FT-IR، پیک‌های مشترک ظاهر شده در تمامی نمونه‌ها تایید می‌کند. ساختار اصلی نمونه پوست انار پس از اصلاح با سدیم هیدروکسید و همچنین استفاده از آن در جذب فلزات سنگین حفظ شده است. همچنین در نمونه پوست انار اصلاح شده با سدیم هیدروکسید دو پیک اضافی ظاهر شده در 1741 cm^{-1} و 1240 cm^{-1} به ترتیب متعلق به گروه‌های C=O (اسید کربوکسیلیک، گروه‌های استات COO، آلدهید، کتون) و پیوند C-O (گروه اترها) اختصاص دارند (Giri et al., 2021, Ben-Ali et al., 2017). همچنین دو پیک اضافه ظاهر شده در نمونه پوست انار اصلاح شده که در فرآیند جذب فلزات سنگین استفاده شده در 953 cm^{-1} و 571 cm^{-1} به پیوندهای Cr-O (Badillo-Camacho et al., 2020, Weckhuysen et al., 1996) و Ni-O (Ngo and Hur, 2016; Hong et al., 2021) متعلق است که نشان می‌دهد در مقایسه با نمونه پوست انار خام، نمونه استفاده شده در فرآیند جذب فلزات سنگین، دو فلز کروم و نیکل را از پساب حاوی فلزات سنگین جذب کرده است. باندهای اصلی گروه‌های عاملی هر سه نمونه در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهند که تغییرات در نوارهای طیفی با واکنش‌های مختلف مولکول‌ها در نمونه‌ها مرتبط است. پیک‌های مشاهده شده در نوارهای مختلف طیف از جمله OH، C-H، N-O، C-OH، C=O، C-O و C-Cl نشان‌دهنده واکنش‌های مولکول‌ها هستند و ساختار اصلی پوست انار پس از اصلاح با سدیم هیدروکسید و استفاده در جذب فلزات سنگین حفظ می‌شود. پیک‌های اضافی نیز نشان‌دهنده واکنش‌های مختلف در نمونه‌ها می‌باشند که به تشکیل گروه‌های C=O، COO، آلدهید، کتون و گروه‌های Cr-O و Ni-O مرتبط هستند.

جدول ۴- جدول نوارهای اصلی در نمونه پودر پوست انار

Table 4- Table of main bands in the pomegranate peel powder sample

No	(Cm ⁻¹) Peak Index	Bond	Functional Groups
1	3488	O-H	Hydroxylic
2	2934	C-H	Alkanes
3	1578	N-O	Nitro compounds
4	1426	C-O-H	Aldehyd
5	1043	C-O and C-N	Amines
6	1013	C=O	Carbonyl
7	924	C-H	Alkenes
8	767	C-Cl	Alkyl halides
9	620	C-Cl	Alkyl halides
10	1741	C=O	carboxylic
11	1240	C-O	Esters
12	953	Cr-O	-
13	571	Ni-O	-

CHN -

با توجه به نتایج جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که بالاترین درصد وزنی مربوط به عناصر کربن و اکسیژن است که ساختار جاذب را تشکیل می‌دهد و نیتروژن و هیدروژن در جدول، رتبه بعدی درصد وزنی را به خود اختصاص داده‌اند. همانگونه که در جدول ۱ مشخص است افزایش مقادیر کربن، اکسیژن و همچنین کاهش هیدروژن در پوست انار اصلاح شده، نشانگر ورود موفقیت‌آمیز گروه عاملی کربوکسیلیک (COOH) به ساختار جاذب اصلاح شده است.

PH خیلی اسیدی و یا خیلی قلیایی باعث کاهش میزان نیتروژن می‌شود. همانطور که در نتایج آنالیز عنصری در جدول ۱ مشخص است نیتروژن موجود در پوست انار پس از اصلاح با سدیم هیدروکسید به دلیل ایجاد شرایط قلیایی، کاهش یافته است.

با افزایش همزمان مقادیر pH و زمان در برهمکنش حذف فلز نیکل، ابتدا یک افزایش صعودی در جذب نیکل مشاهده می‌شود که تا pH=6 و زمان ۶۰ دقیقه ادامه دارد و به حداکثر مقدار جذب می‌رسد. با افزایش بیشتر این پارامترها، مقدار جذب نیز به صورت نزولی کاهش می‌یابد (شکل ۴). این الگو در برهمکنش‌های pH - دما و دما - زمان نیز مشاهده می‌شود، به ترتیب در pH=6، دما ۳۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۶۰ دقیقه بیشترین جذب فلز نیکل را ایجاد می‌کند (شکل ۵-۷). در برهمکنش مقدار پودر جاذب و pH (شکل ۶)، با افزایش مقدار پودر جاذب در تمام مقادیر pH، جذب نیکل افزایش می‌یابد و این افزایش تا

حدی ادامه دارد تا 4.5g/1 و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش همزمان زمان و مقدار پودر جاذب (شکل ۸)، جذب نیز افزایش می‌یابد اما تأثیر مقدار پودر جاذب بیشتر از تأثیر زمان است. در برهمکنش مقدار پودر جاذب و دما (شکل ۹) نیز، افزایش دما در ابتدا اثر مثبت و سپس اثر منفی بر جذب نیکل دارد. به طور خلاصه، افزایش مقدار پودر جاذب در ابتدا باعث افزایش جذب نیکل می‌شود اما با افزایش مقدار به هم چسبیدگی پودر جاذب ایجاد می‌شود و جذب کاهش می‌یابد. کاهش حذف یون‌های فلزی نیکل در pH‌های پایین به علت وجود غلظت بالای یون‌های H⁺ در محلول می‌باشد که با یون‌های فلزی در سطح جاذب برای محل‌های قابل جذب رقابت می‌کنند. کاهش در جذب در pH‌های بالا به دلیل ایجاد گروه‌های هیدروکسیل قابل انحلال می‌باشد؛ همچنین اگر مقدار pH بیش از ۶ شود، یون‌های فلزی رسوب کرده و حذف یون‌های فلزی از محلول و جداسازی آن‌ها سبب کاهش درصد حذف می‌گردد (Sud et al., 2008; Raji et al., 1997). لازم به ذکر است که اثر میزان جاذب نسبت به سایر پارامترها بیشتر می‌باشد؛ زیرا در ابتدا با افزایش غلظت جاذب، فضای بیشتری در اختیار آلاینده‌ها برای جذب وجود دارد اما با افزایش میزان پودر جاذب بیش از ۴ (گرم در لیتر)، به علت تجمع ذرات جاذب در کنار یکدیگر و سطوح فعالی که در دسترس آلاینده‌ها قرار دارد کاهش یافته و در نتیجه راندمان جذب کاهش می‌یابد. کاهش حذف یون‌های فلزی در pH‌های پایین به علت وجود غلظت بالای یون‌های H⁺

یکی از متغیرها (به عنوان مثال pH=4) و افزایش زمان (از ۲۰ تا ۱۰۰ دقیقه)، درصد حذف کروم به شدت کاهش می‌یابد اما با افزایش همزمان متغیرهای مذکور به مقادیر بالاتر، این روند به صورت معکوس تغییر می‌کند، به طوری که در بیشترین مقدار pH و زمان، یک افزایش قوی در درصد حذف کروم مشاهده شد. در بررسی برهمکنش میان دما و pH (شکل ۱۱)، مشاهده می‌شود که در تمام دماها با افزایش pH، ابتدا درصد حذف کروم به شدت افزایش می‌یابد و سپس به شدت کاهش می‌یابد؛ در مقدار دمای

در محلول می‌باشد که با یون‌های فلزی در سطح جاذب برای محل‌های قابل جذب رقابت می‌کنند. کاهش در جذب در pHهای بالا به دلیل ایجاد گروه‌های هیدروکسیل قابل انحلال می‌باشد؛ همچنین اگر مقدار pH بیش از ۶ شود، یون‌های فلزی رسوب کرده و حذف یون‌های فلزی از محلول و جداسازی آن‌ها سبب کاهش درصد حذف می‌گردد (Sud et al., 2008; Raji et al., 1997).

در بررسی برهمکنش متغیرهای pH و زمان برای حذف فلز کروم (شکل ۱۰)، مشاهده می‌شود که با افزایش

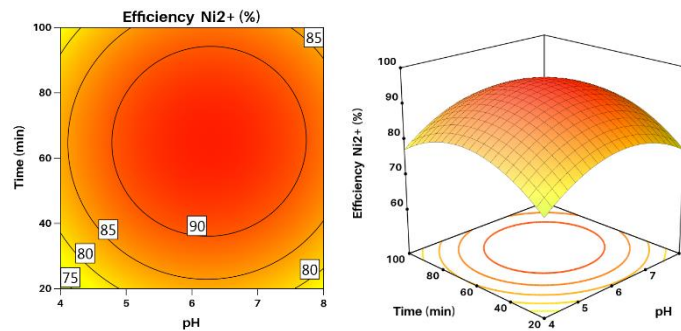


Figure 4- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Duration-pH on Ni^{2+} Removal.

شکل ۴- برهمکنش زمان -pH بر حذف Ni^{2+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

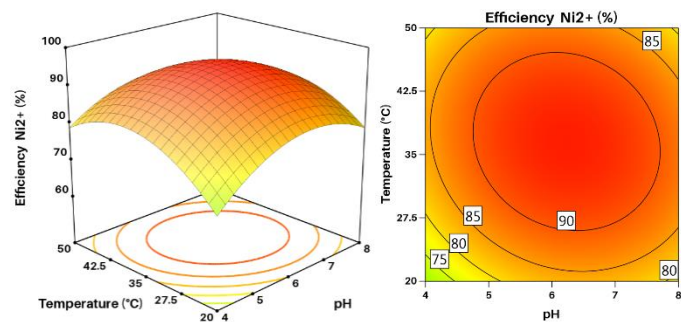


Figure 5- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Temperature-pH on Ni^{2+} Removal.

شکل ۵- برهمکنش دما -pH بر حذف Ni^{2+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

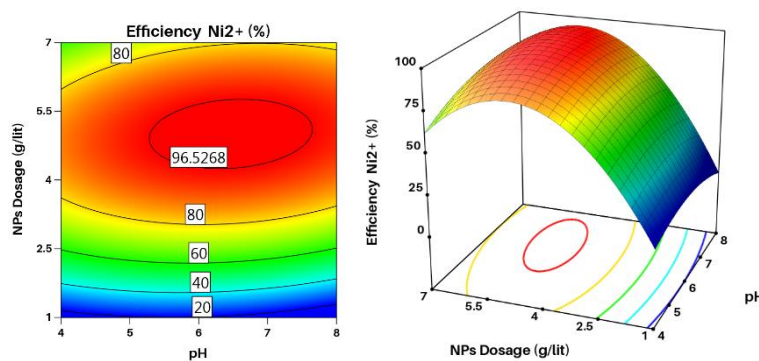


Figure 6- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-pH on Ni^{2+} Removal.

شکل ۶- برهمکنش میزان جاذب -pH بر حذف Ni^{2+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

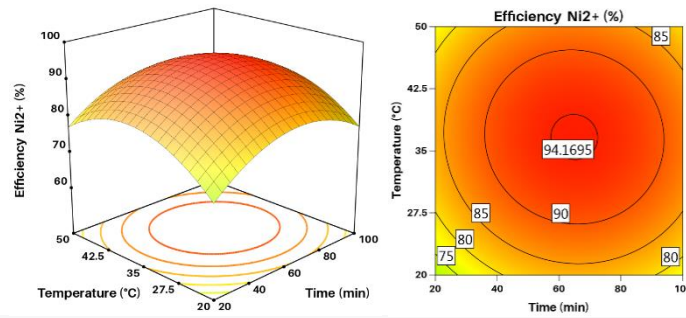


Figure 7- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Temperature-Duration on Ni²⁺ Removal.
 شکل ۷- برهمکنش دما-زمان بر حذف Ni²⁺ به صورت سه بعدی و دو بعدی.

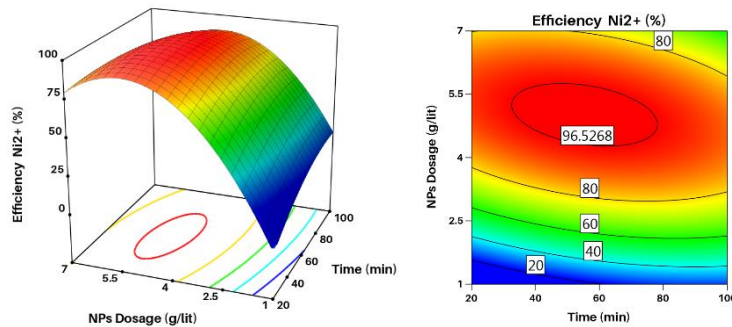


Figure 8- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-Duration on Ni²⁺ Removal.
 شکل ۸- برهمکنش میزان جاذب- زمان بر حذف Ni²⁺ به صورت سه بعدی و دو بعدی.

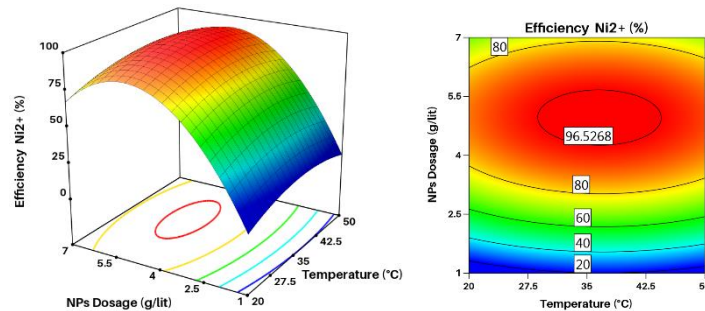


Figure 9- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-Temperature on Ni²⁺ Removal.
 شکل ۹- برهمکنش میزان جاذب- دما بر حذف Ni²⁺ به صورت سه بعدی و دو بعدی.

۸۲

درصد حذف کاهش می‌یابد. بیشترین درصد حذف کروم در بازه دمایی 20-27.5°C و زمان ۱۰۰ دقیقه رخ می‌دهد. در برهمکنش میان مقدار پودر جاذب و زمان (شکل ۱۴) و همچنین میان مقدار پودر جاذب و دما (شکل ۱۵)، با افزایش زمان و دما در بازه افزایشی مقدار پودر جاذب از ۱ تا ۴ g/lit، ابتدا درصد حذف کروم به شدت افزایش یافت و سپس با همان روند کاهش یافت. اثر افزایش زمان نسبت به افزایش دما بر جذب کروم بیشتر است. (شکل ۱۳) جهت تفسیر بهتر این مهم، گونه‌های رایج کروم شش ظرفیتی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید یون‌های

27/5 درجه سانتی‌گراد و pH=5.5 بیشترین درصد حذف کروم را دارد. برهمکنش میان مقدار پودر جاذب و pH (شکل ۱۲) نیز نشان می‌دهد که افزایش مقدار پودر جاذب در تمام مقادیر pH منجر به افزایش قابل توجه در درصد حذف کروم می‌شود، تا زمانی که مقدار پودر جاذب به حدود ۴ g/lit رسیده و سپس به شدت کاهش می‌یابد. این اثر افزایش پودر جاذب نسبت به افزایش pH برای حذف کروم بیشتر است. برهمکنش میان دما و زمان (شکل ۱۳) نشان می‌دهد که با افزایش زمان در بازه 20-35°C، درصد حذف کروم افزایش می‌یابد و پس از آن با افزایش دما،

بررسی کارایی پوست انار در حذف نیکل و کروم از پساب صنعت آمبیه

شبکه H^+ جذب نماید؛ به عبارتی برای حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌ها در pH های ۱ تا ۷، ساز و کار تبادل کاتیونی اثرگذار است (عیوضی و همکاران، ۲۰۱۹)؛ به همین جهت است که در این پژوهش در pH های ۴ تا ۶، درصد جذب بالایی مشاهده شد.

$HCrO_4^-$ گونه غالب در pH های ۱ تا ۷ می‌باشد و در pH های ۷ تا ۱۲، گونه‌های CrO_4^{2-} مشاهده شده است؛ بنابراین سطح جاذب ساخته شده در pH های کمتر از ۶/۵ دارای بار مثبت بوده و قادر است کاتیون‌های موجود در محلول را از طریق تبادل کاتیون‌های متعادل کننده با

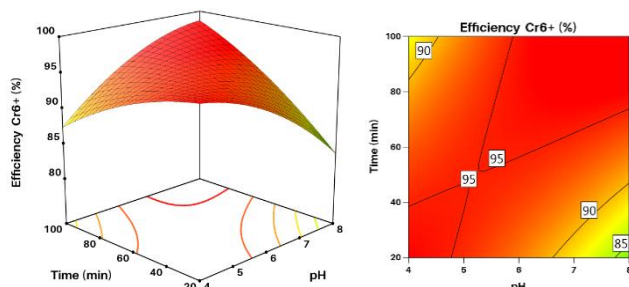


Figure 10- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Duration-pH on Cr^{6+} Removal.
شکل ۱۰ - برهمکنش زمان -pH بر حذف Cr^{6+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

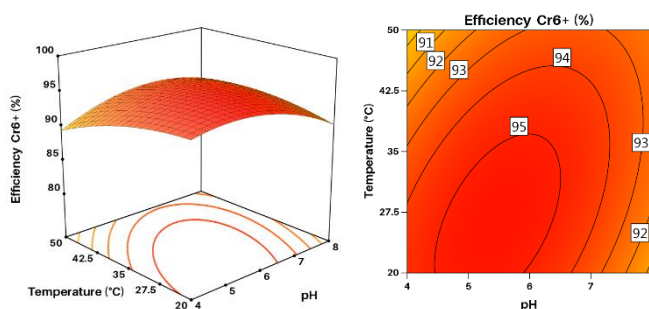


Figure 11- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Temperature-pH on Cr^{6+} Removal.
شکل ۱۱ - برهمکنش دما -pH بر حذف Cr^{6+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

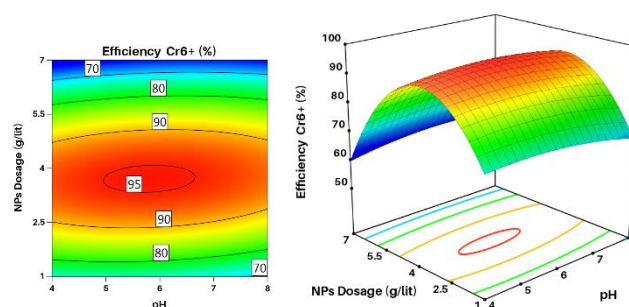


Figure 12- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-pH on Cr^{6+} Removal.
شکل ۱۲ - برهمکنش میزان جاذب -pH بر حذف Cr^{6+} به صورت سه بعدی و دو بعدی.

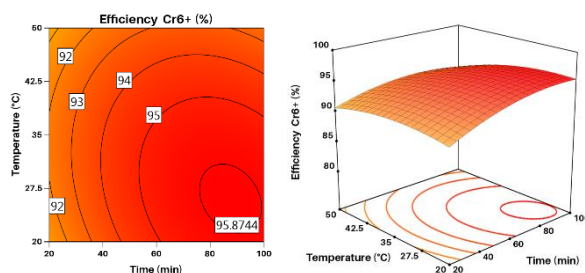


Figure 13- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Temperature-Duration on Cr^{6+} Removal.
شکل ۱۳ - برهمکنش دما -زمان بر حذف Cr^{6+} به صورت سه بعدی و دو بعدی

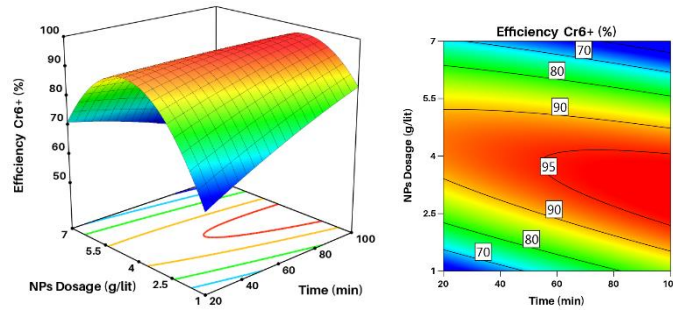


Figure 14- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-Duration on Cr⁶⁺ Removal.
 شکل ۱۴- برهمکنش میزان جاذب-زمان بر حذف Cr⁶⁺ به صورت سه بعدی و دو بعدی.

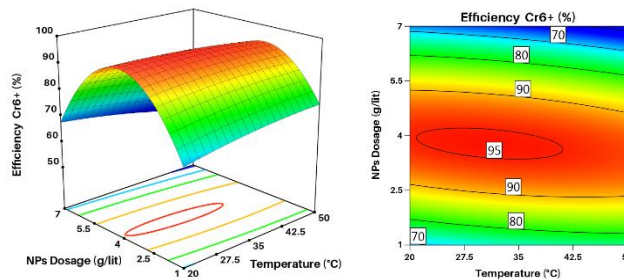


Figure 15- Three-dimensional and Two-dimensional Interaction of Adsorbent-temperature on Cr⁶⁺ Removal.
 شکل ۱۵- برهمکنش میزان جاذب-دما بر حذف Cr⁶⁺ به صورت سه بعدی و دو بعدی.

(۹۴٪) دستیابی می‌شود. همچنین، در مقدار pH برابر با ۶ زمان تماس ۸۰ دقیقه، دما ۲۷/۵ درجه سانتیگراد، و مقدار جاذب ۴ گرم در لیتر، ۹۶٪ از یون کروم شش ظرفیتی حذف می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که جذب کروم و نیکل به میزان قابل توجهی به pH محلول بستگی دارد به طوری که حذف نیکل در pH کمتر از ۶ از طریق تبادل کاتیونی با یون های H⁺ انجام می‌شود ولی حذف نیکل در pHهای بالاتر از ۶ به علت کاهش یون های H⁺ کاهش یافته است. همچنین، حذف کروم در pHهای کمتر از ۶ توسط تبادل کاتیونی با یون های HCrO₄⁻ و در pHهای بالاتر از ۶، توسط یون های CrO₄²⁻ انجام می‌شود. بیشترین میزان جذب کروم توسط جاذب تهیه شده در شرایطی حاصل می‌شود که pH محلول در محدوده ۴ قرار گیرد. همچنین جذب یون کروم و نیکل با غلظت اولیه آن در محلول نسبت عکس دارد. میزان جذب کروم با غلظت جاذب در محلول رابطه یکنواختی دارد به گونه‌ای که با افزایش غلظت جاذب در محلول تا یک مقدار بهینه میزان جذب افزایش می‌یابد. در نتیجه، پودر جاذب پوست انار به عنوان یک جاذب ارزان و در دسترس برای حذف یون های فلزی، به خصوص در شرایط بهینه تعیین شده، عملکرد قابل توجهی دارد.

بهینه‌یابی نتایج (بهینه‌سازی)

هدف این بخش، تعیین مقادیر بهینه برای متغیرهای pH، زمان، دما و مقدار پودر جاذب به منظور دستیابی به بالاترین درصد حذف فلزات نیکل و کروم است. برای این منظور، از تحلیل نمودارهای سه‌بعدی و دوبعدی استفاده شده و بازه‌های اثرگذاری هر متغیر تعیین شده است (جدول ۵). با توجه به اهداف مورد نظر برای هر متغیر و پاسخ، نرم‌افزار نمودارها و جداول بهینه را تهیه می‌کند (جدول ۶ و ۷). ضریب مطلوبیت برای رسیدن به اهداف با توجه به مقادیر بهینه متغیرها ۸۸/۵ درصد است که جهت دستیابی به نتایج مناسب به کار می‌رود. با توجه به شرایط بهینه تعریف شده در جدول‌ها، آزمایش‌ها تکرار شده و نتایج تجربی با دقت حدود ۲٪ به دست آمده است. این نشان می‌دهد که نرم‌افزار به درستی تشخیص داده‌ها را برای بهینه‌سازی تحلیل کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در شرایطی که مقدار pH برابر با ۶، زمان تماس ۶۰ دقیقه، دما ۳۵ درجه سانتی‌گراد و مقدار جاذب ۴ گرم در لیتر باشد، بالاترین درصد حذف یون نیکل

جدول ۵- بازه‌ها و اهمیت هر پارامتر جهت بهینه‌یابی

variables	goal	lower limit	upper limit	importance
pH	minimize	4	7	3
Time	is in range	40	80	3
Temperature	minimize	27/5	42/5	3
NPs Dosage	is in range	2/5	5/5	3
responses	goal	lower limit	upper limit	importance
Efficiency Ni ²⁺	maximize	20.56	96.6	5
Efficiency Cr ⁶⁺	maximize	63.3	96	5

جدول ۶- نتایج بهینه‌یابی توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت

No.	pH	Time	Temperature	adsorbent amount	Ni ²⁺	Cr ⁶⁺	utility
1	4	54.8	27.5	3.7	76.2	94.67	0.886

جدول ۷- نتایج تجربی حاصل از بهینه‌یابی

No.	pH	Time	Temperature	Amount of adsorbents	Ni ²⁺	Cr ⁶⁺
1	4	54.8	27.5	3.7	78	95

manganese ferrite adsorbents: A study on kinetics and thermodynamics. *Modares Civil Engineering Journal*, 18, 119-132. [In Persian]

Badillo-camacho, J., Orozco-guareño, E., Carbajal-arizaga, G. G., Manríquez-gonzalez, R., Barcelo-quintal, I. D. & Gomez-salazar, S. (2020). Cr (VI) adsorption from aqueous streams on eggshell membranes of different birds used as biosorbents. *Adsorption Science & Technology*, 38, 413-434. <http://doi.org/10.1177/0263617420956893>

Ben-ali, S. (2021). Application of raw and modified pomegranate peel for wastewater treatment: a literature overview and analysis. *International Journal of Chemical Engineering*. <http://doi.org/10.1155/2021/8840907>

Bhatnagar, A. & Minocha, A. (2010). Biosorption optimization of nickel removal from water using Punica granatum peel waste. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76, 544-548. <http://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.12.016>

Chelladurai, S. J. S., Murugan, K., Ray, A. P., Upadhyaya, M., Narasimharaj, V. & Gnanasekaran, S. (2021). Optimization of process parameters using response surface methodology: A review. *Materials Today: Proceedings*, 37, 1301-1304.

منابع

Abbasi, Z., Alikarami, M. & Homafar, A. (2009). Adsorption study on pomegranate peel: removal of Ni 2+ from aqueous solution and Co2+. *Inorganic Chemistry*, 3, 3-6.

Abdul, K. S. M., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P., Jayasumana, C. & De Silva, P. M. C. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental toxicology and pharmacology*, 40, 828-846. <http://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016>

Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W., Jaafar, J. & Ismail, A. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17-38. <http://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>

Akkari, I., Graba, Z., Bezzi, N., Merzeg, F. A., Bait, N. & Ferhati, A. (2021). Raw pomegranate peel as promise efficient biosorbent for the removal of Basic Red 46 dye: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14. <http://doi.org/10.1007/s13399-021-01620-9>

Ayyoubi, B., Jamshidi Zanjani, A. & Khodadadi Darban, A. (2018). Removal of hexavalent chromium ions by adsorption on

Cheyad, M. S. & Salman, T. A. (2017). Characterization and study the inhibition activity of pomegranate peel extract for α -brass corrosion in H₂SO₄ solution. *Oriental Journal of Chemistry*, 33, 1241. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330323>

Gnaiger, E. & Bitterlich, G. (1984). Proximate biochemical composition and calorimetric content calculated from elemental CHN analysis: A stoichiometric concept. *Oecologia*, 62, 289-298.

Ghaneian, M. T., Jamshidi, B., Amrollahi, M., dehvani, M. & Taghavi, M. (2013). Application of biosorption process by pomegranate seed powder in the removal of hexavalent chromium from aqueous environment. *Koomesh*; 15 (2), 206-211. [In Persian]

Giri, R., Kumari, N., Behera, M., Sharma, A., Kumar, S., Kumar, N. & Singh, R. (2021). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution using pomegranate peel as low-cost biosorbent. *Environmental Sustainability*, 4, 401-417. <http://doi.org/10.1007/s42398-021-00192-8>

Hadigol, N., Fahim Danesh, M. & Hosseini, S. (2019). Exploration of the Potential of Activated Carbon Produced from Pomegranate Peel as a Two- and Three-Component Adsorbent for Color and Metal Removal in Liquid Environments. *Research in Iranian Food Science and Industries*. 15 (2), 369-380. [In Persian]

Hong, S. J., Mun, H. J., Kim, B. J. & Kim, Y. S. (2021). Characterization of nickel oxide adsorbents synthesized under low temperature. *Micromachines*, 12, 1168. <https://doi.org/10.3390/mi12101168>

Khajeh Mahriza, M. & Shahi, Z. (2019). Study of factors influencing the removal of heavy metals from wastewater using adsorbent materials (Biological- Natural), *Journal of studies in the world of Color*, 3(9), pp. 15-26. [In Persian].

Lefebvre, D. D. & Edwards, C. (2010). Decontaminating heavy metals from water using photosynthetic microbes. *Emerging Environmental Technologies, Volume II*. Springer.

Msaadi, R., Sassi, W., Hihn, J. Y., Ammar, S. & Chehimi, M. M. (2021). Valorization of pomegranate peel balls as bioadsorbents of methylene blue in aqueous media. *Emergent Materials*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00174-w>

Najim, T. S. & Yassin, S. A. (2009). Removal of Cr (VI) from aqueous solution using modified pomegranate peel: equilibrium and kinetic studies. *E-journal of chemistry*, 6, S129-S142. <https://doi.org/10.1155/2009/936541>

Ngo, Y. L. T. & Hur, S. H. (2016). Low-temperature NO₂ gas sensor fabricated with NiO and reduced graphene oxide hybrid structure. *Materials Research Bulletin*, 84, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.08.004>

Pashaei, H., Ghaemi, A., Nasiri, M. & Karami, B. (2020). Experimental modeling and optimization of CO₂ absorption into piperazine solutions using RSM-CCD methodology. *ACS omega*, 5, 8432-8448. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03363>

Raji, C., Manju, G. & Anirudhan, T. (1997). Removal of heavy metal ions from water using sawdust-based activated carbon.

Reddy, K., Al Shoaibi, A. & Srinivasakannan, C. (2015). Preparation of porous carbon from date palm seeds and process optimization. *International journal of environmental science and technology*, 12, 959-966. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0468-9>

Rezaei, A. & Hosseini, H. (2012). Chromium, environmental-health effects, and purification strategies. *International Journal of Water Engineering* [In Persian].

Romero-Cano, L. A., Gonzalez Gutierrez, L. V. & Baldeño Perez, L. A. (2016). Biosorbents prepared from orange peels using Instant Controlled Pressure Drop for Cu (II) and phenol removal. *Industrial Crops and Products*, 84, 344-349.

Saeed, M. O., Azizli, K., Isa, M. H. & Bashir, M. J. (2015). Application of CCD in RSM to obtain optimize treatment of POME using Fenton oxidation process. *Journal of Water Process Engineering*, 8, e7-e16. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2014.11.001>

Shouman, M. A. H. & Khedr, S. A. A. (2015). Removal of cationic dye from aqueous solutions by modified acid-treated pomegranate peels (*Punica granatum*): Equilibrium and kinetic studies. *Asian Journal of Applied Sciences*, 3.

Sud, D., Mahajan, G. & Kaur, M. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions—A review. *Bioresource*

technology, 99, 6017-6027.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.064>

Taheriyoun, A. P. (2019). Evaluation of coagulation and flocculation processes for the removal of heavy metals from the chemical wastewater of Mobarakeh Steel Complex. *Environmental Science and Technology*, 21(6), 46-60. [In Persian]

Tavakoli, M. (2020). Assessment of Natural Adsorbents in Water and Wastewater Treatment. *Research and Environmental Technology*, 7, 39-54. [In Persian]

Vardin, H., Tay, A., Ozen, B. & Mauer, L. (2008). Authentication of pomegranate juice concentrate using FTIR spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry*, 108, 742-748. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.027>

Weckhuysen, B. M., Wachs, I. E. & Schoonheydt, R. A. (1996). Surface chemistry and spectroscopy of chromium in inorganic oxides. *Chemical Reviews*, 96, 3327-3350.

Efficiency Assessment of Pomegranate Peel in the Removal of Nickel and Chromium from Industrial Fruit Juice Wastewater

N. Hashemi ^a, M. Honarvar ^b*, A. Gharekhani ^c

^a M.Sc. Graduated of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^c Assistant Professor of the Department of Chemistry, Saveh Branch, Islamic Azad University, Markazi Province, Iran.

Received: 27 August 2023

Accepted: 13 March 2024

10

Abstract

Introduction: Water pollution with toxic heavy metals due to industrial wastewater discharge is a global environmental issue. The removal of heavy metals from industrial effluents is a significant concern in the field of water pollution and a serious challenge in reducing water quality. Multiple metals such as nickel, cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, mercury, and zinc are notably toxic. The aim of this study is to investigate the impact of pomegranate peel as a cost-effective adsorbent in removing nickel and chromium metals.

Materials and Methods: Pomegranate peels were initially treated with a 0.1 N sulfuric acid solution, and their adsorption capacity was examined. The effect of sulfuric acid on the adsorbent was assessed using CHN, FT-IR, and SEM techniques.

Results: The results indicated that the modification of the adsorbent with sulfuric acid was effective in removing chromium and nickel ions from industrial wastewater. Adsorption experiments were carried out at various adsorbent concentrations, times, temperatures, and pH levels. Data analysis revealed that the optimal conditions for nickel ions (II) are at concentration of 4.5 g/L of the adsorbent, pH of 6, temperature of 308.15 K, and time of 60 minutes. The optimal conditions for chromium ions (VI) are at concentration of 4 g/L of the adsorbent, pH of 5.5, temperature of 300.65 K, and time of 100 minutes.

Conclusion: The results obtained indicated that the application of this adsorbent for the removal of nickel and chromium in industrial wastewater is a promising and environmentally friendly approach.

Keywords: Adsorption, Heavy Metals, Pollution, Pomegranate Peel, Wastewater.

* Corresponding Author: m.honarvar@srbiau.ac.ir

An Overview of the Place of Fiber in Nutrition, Health, its Application and Methods of Modification in the Food Industry

M. Hosseiny^{a*}, P. Rajaei^b

^a PhD Student of the Department of Food Science and Industry, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Assistant Professor of the Department of Food Science and Industry, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 16 November 2023

Accepted: 10 June 2024

Abstract

Introduction: Nowadays, the health effects of dietary fiber are very much considered. Dietary fiber is found in foods such as fruits, vegetables, and grains and is low in calories and fat.

Materials and Methods: In this review article, the types of fiber, their therapeutic properties, and their modification methods have been investigated.

Results: Fiber is a carbohydrate that cannot be broken down in the body and is not digested by enzymes in the digestive system. Fibers include cellulose, hemicellulose, gum, pectic substances, and lignin, which due to their glucose absorption capacity, cholesterol absorption capacity, oil storage capacity, and very low calories are used to reduce and treat diseases such as obesity, diabetes, various cancers, intestinal diseases, and cardiovascular diseases. They're effective. Many food industry wastes such as fruit pomace, date kernels and cereal bran are important sources of dietary fiber that can be used as prebiotics for the growth and proliferation of beneficial intestinal bacteria. Based on physical properties, fibers are divided into two categories, soluble and insoluble in water. Insoluble fibers are not used due to their unpleasant taste and poor performance, which are converted into soluble fiber by methods such as physical, chemical, enzymatic and combined modification. Due to low cost, short time, simple operation and no production of toxic waste, the physical method is the most widely used.

Conclusion: Due to the ability of fiber to improve taste, texture, sensory, rheological properties and create consistency, their use in the production of food products has received a lot of attention.

Keywords: *Cancer Reduction, Carbohydrate, Diabetes, Dietary Fiber, Prebiotic.*

* Corresponding Author: morva1989@gmail.com

Investigating the Antioxidant and Antibacterial Properties of *Froriepia subpinnata* Extract Encapsulated with Maltodextrin-Whey Concentrate

R. Alipour^a, A. Alizadeh^{b*}, D. Khademi^c

^a MSc Student of the Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

^b Assistant Professor of the Department of Chemistry, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

^c Assistant Professor of the Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

Received: 17 December 2023

Accepted: 13 March 2024

Abstract

∞

Introduction: In recent years, the use of encapsulation has been associated with promising results to preserve and increase the biological effects of the active compounds of plant extracts. The present study was conducted to address the antioxidant and antibacterial properties of the maltodextrin-whey concentrate based on encapsulation of *Froriepia subpinnata* hydroalcoholic extract.

Materials and Methods: *Froriepia subpinnata* was extracted by ultrasonic method. Its antioxidant and antibacterial activities were evaluated and compared at 500 and 1000 ppm concentrations.

Results: The particle size of the encapsulated extract and the encapsulation efficiency measured 169.89 nm and 65.25% respectively. The encapsulated extract had significantly higher activity of DPPH free radical inhibition (91.25%) and beta-carotene (92.24%) than other treatments at 1000 ppm ($P < 0.05$). In addition, the inhibition zones of Gram-positive bacteria, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* (26.02 and 22.03 mm respectively) and Gram-negative bacteria, *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* (20.49 and 19.38 mm respectively) in 1000 ppm encapsulated extract were more than others ($P < 0.05$).

Conclusion: The results showed that the maltodextrin-whey concentrate, based on encapsulation significantly improved the antioxidant and antibacterial properties of *Froriepia subpinnata* extract. Therefore, it is possible to use 1000 ppm of encapsulated *Froriepia subpinnata* extract as a suitable alternative for synthetic antibiotics and antioxidants.

Keywords: Antioxidant, Bacterial Inhibition Zone, Bioactive Compounds, *Froriepia subpinnata*, Encapsulation.

* Corresponding Author: alizadeh3502@gmail.com

Application of Microwave as Pretreatment before Drying of Orange Slices by Infrared Radiation

F. Salehi ^{a*}, M. Tashakori ^b, K. Samary ^b

^a Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

^b MSc Student of the Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 9 January 2024

Accepted: 13 June 2024

Abstract

Introduction: Microwave heating is a form of dielectric heating by which it is possible generate heat in materials of low electrical conductivity by an applied high-frequency electric field. Drying by the use of infrared radiation is a method that offers lower energy loss as compared to the convective drying, since the energy in an electromagnetic wave is directly absorbed by the product.

Materials and Methods: In order to apply microwave pretreatment, the oranges were placed in the microwave for 0, 1, 2, and 3 min, and after the treatment, slices with a thickness of 0.5 cm were prepared from the oranges and, then the slices were dried using an infrared lamp with a power of 250 W. In this research, the effect of microwave pretreatment on mass transfer rate, effective moisture diffusivity coefficient, shrinkage, color indexes, and rehydration of orange slices dried by infrared method was investigated and its drying kinetics was modeled.

Results: By increasing the microwave treatment time from 0 to 3 minutes, the effective moisture diffusivity coefficient was increased. Kinetic modeling results of the experimental data of drying orange slices showed that the best model for this process with the highest fit, the highest value of correlation coefficient, and the lowest error is Midilli's model. The application of microwave had a significant effect on the change of surface shrinkage of dried and rehydrated orange slices ($p < 0.05$) and application of this pretreatment reduced the surface shrinkage of the product. Application of microwave had no significant effect on the change of color indexes (yellowness, redness, lightness, and total color change) of dried and rehydrated orange slices ($p > 0.05$). By increasing the microwave treatment time from 0 to 3 min, the average rehydration of dried orange slices in the infrared dryer increased from 154.25% to 212.85%.

Conclusion: In general, the use of microwave pretreatment before drying orange slices due to increasing mass transfer rate, reducing surface shrinkage, and increasing rehydration, is recommended.

Keywords: Color Indexes, Infrared, Midilli Model, Rehydration, Shrinkage.

* Corresponding Author: F.Salehi@Basu.ac.ir

Evaluation of the Physicochemical, Rheological, Sensory Characteristics and Survival of Bacteria in Functional Milk Dessert Containing *Aloe vera* Gel

Sh. Barande ^a, M. Sedaghati ^{b*}

^a PhD of the Department of Food Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Assistant Professor of the Department of Food Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 15 January 2024

Accepted: 23 April 2024

Abstract

Introduction: This research was carried out with the aim of investigating the possibility of producing functional milk dessert containing *Aloe vera* gel with acceptable physicochemical, rheological and sensory properties.

6

Materials and Methods: *Aloe vera* gel was used at four levels of 0, 3%, 6% and 9% for the production of milk dessert, and its physicochemical properties (pH, syneresis and viscosity), rheological properties (dynamic oscillation test), the sensory and survival characteristics of *Lactobacillus plantarum* bacteria during 20 days of storage were investigated.

Results The results showed that the addition of *Aloe vera* gel decreased the pH of milk dessert samples. The maximum stability of milk dessert samples was observed in sample T3 which contained 9% *Aloe vera* gel. The results showed that in all samples, the viscosity increased significantly with increasing *Aloe vera* gel concentration ($p < 0.05$). The addition of *Aloe vera* gel significantly increased the survival rate of *Lactobacillus plantarum* in the treatment samples ($p < 0.05$). In the evaluation of the rheological properties of the milk dessert, it was found that the storage modulus (G'), viscous modulus (G'') increased and the complex viscosity (η^*) decreased with the increase in *Aloe vera* gel concentration. In the sensory evaluation, it was found that, the highest overall acceptance score belonged to the T2 treatment (6% *Aloe vera* gel). It seems that the reduction of phase separation in the T₂ treatment and its higher viscosity compared to other samples have been effective in increasing its acceptability. While in T₃ treatment, further decrease in pH and increase in viscosity had a negative effect on the acceptability of the product from the point of view of the panelists.

Conclusion: The result of this research work indicated that the addition of 6% *Aloe vera* gel to milk dessert reduced syneresis, increased viscosity and improved the survival of *Lactobacillus plantarum* bacteria, and obtained highest acceptability regarding sensory evaluation.

Keywords: *Aloe vera* Gel, Milk Dessert, Probiotic, Survival.

* Corresponding Author: marjanehsedaghati@yahoo.com

Cold Plasma Hydrogenation of Soybean Oil using Hydrogen-Nitrogen Gas Composition

Z. Chahardehi Sirati^a, M. Gharachorloo^{b*}, H.R. Ghomi Marzdashti^c, R. Azizinezhad^d

^a PhD Student of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^c Associate Professor of the Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

^d Assistant Professor of the Biotechnology and Plant Breeding Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 16 February 2024

Accepted: 31 May 2024

Abstract

Introduction: Due to the high content of unsaturated fatty acids in soybean oil, the possibility of oxidation occurrence in this product is high and its application in the food industry is limited. Therefore, in order to increase the oxidative stability and extend the applications of soybean oil, various modification processes have been investigated. Among modification processes, the hydrogenation process using the cold plasma technology has been considered to produce the partially hydrogenated oil with very low trans fatty acids.

Materials and Methods: this research evaluated the effect of surface dielectric barrier discharge cold plasma on physicochemical properties of soybean oil at 15 kV voltage and 50% hydrogen- 50% nitrogen gas composition for 13-hour treatment. The samples were taken at certain intervals to measure the fatty acid composition, iodine value, refractive index, carotenoid content, melting point, peroxide value, tocopherol, and sterol contents during treatment.

Results: After 13-h treatment, the results showed a decrease in unsaturated fatty acids from 58.62% to 40.24%, carotenoid contents from 26.38 to 6.32 ppm, refractive index from 1.4672 to 1.4400, iodine value from 129.64 to 100.45 and total sterol content from 2636.51 to 2315.86 ppm and an increase in peroxide value from 2.4 to 5.8 meq O₂/kg oil and melting point of 7°C (p<0.05). In addition, the content of trans fatty acids was detected in very small content (0.85%).

Conclusion: According to the obtained results, surface dielectric barrier discharge cold plasma treatment can be used as a new technology for the hydrogenation and probably bleaching of oils.

Keywords: Cold Plasma, Hydrogenation, Physicochemical Properties, Soybean Oil, Trans Fatty Acid.

* Corresponding Author: m_gharachorloo@srbiau.ac.ir

Figures: Should be in limited numbers, with high quality art work and mounted on separate pages. The captions **should be placed below**. The same data should not be presented in tables, figures and text, simultaneously.

References: All manuscripts should be accompanied by relevant references. The author should ensure reference to locally published studies by doing proper literature search. It may not be possible for the editor and reviewers to check the accuracy of all reference citations. To minimize such errors author should verify references against the original documents.

All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. In the text refer to the author's name (without initials) and year of publication (e.g. "Steventon and Donald (1994) studied the effects..." or "...similar to values reported by others (Anderson et al, 1990)..."). For 2 authors all authors are to be listed. When there are more than 2 authors, first author et al. Should be used throughout the text. The list of references should be arranged alphabetically by authors' names and should be as full as possible, listing all authors, the full title of articles and journals, publisher and year. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors' names and dates are exactly the same in the text as in the reference list.

References should be given in the following form:

- Gunstone, F. D. (1986). Chemical Properties, in *The lipid Handbook*, edited by Gunstone, F. D., Harwood, J. L. & Padley, F. B. Chapman & Hall, London, pp. 449-484.
- Ahmed, I. A. & Robinson, R. K. (1999). The ability of date extracts to support the production of aflatoxins. *Food Chemistry*, 66(3), 307-312.
- Karnofsky, G. B. & Hansotte, R. J. (1982). Process for Extracting Oleaginous Seed Materials, Particularly Cottonseed, with Aqueous Alcohol, U. S. Patent 4,359,417.
- National Institutes of Health, Menopausal Hormone Therapy, <http://www.nih.gov/PHTindex.htm> (accessed Jan. 2003).
- Noel, S. & Collin, S. (1995). Trans-2-nonenal degradation products during mashing. In *Proceeding of the 25 th European brewery convention congress* (pp. 483-490). Oxford: IRL Press.

Proof Reading: A computer print out is sent to the corresponding author for proof reading before publication in order to avoid any mistakes. Corrections should be marked clearly and sent immediately to the Journal office.

Abbreviations and symbols: Use only standard abbreviations. **Avoid using them in the title and abstract.** The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text unless it is a standard unit of measurement.

Page charges: There are no charges for publication in this Journal.

Copyright: The entire contents of the Journal of Food Technology and Nutrition are protected under international copyrights. This Journal is for your personal noncommercial use. You may not modify copy, distribute, transmit, display, or publish any materials contained on the Journal without the prior written permission of it or the appropriate copyright owner.

Peer review process: All manuscripts are considered to be confidential. They are peer-reviewed by at least 2 anonymous reviewers selected by the Editorial Board. The corresponding author is notified as soon as possible of the editor decision to accept, reject, or require modifications. If the manuscript is completely acceptable according to the criteria set forth in these instructions, it is scheduled for the next available issue.

Disposal of material: Once published, all copies of the manuscript, correspondence and artwork will be held for 6 months before disposal.

The Editor-in-Chief,
Journal of Food Technology and Nutrition
Islamic Azad University, Science and Research Branch
Hesarak, Ashrafi Esfahani, Poonak
Tehran, Iran 1477893855
Tel: +98 21 44868535-60 (40066)
Email: ftn@srbiau.ac.ir
<http://www.jftn.srbiau.ac.ir>

Guide for Authors

Journal of Food Technology and Nutrition

Aims and Scope: The "Journal of Food Technology and Nutrition" is the official scientific quarterly publication of the, Science and Research Branch, Islamic Azad University.

This Journal accepts Original Papers, Topical Review Articles and Short Communications in the fields of Food Science, Food Technology and Nutrition.

Submission: Always submit three copies of the article and two sets of photographs, illustration, diagrams etc to mentioned address. Manuscript must be accompanied by a covering letter to the Editor-in-Chief, including title and author(s) name and undertaking that it has not been published or submitted elsewhere. In case the manuscript was earlier submitted to some other Journal and was rejected, the authors must provide full information for proper analysis. Manuscript should be typed in double space on one side of the A₄ size paper with clear margins on both sides. Good quality printout with a font size 12 pt are required. Each page should be numbered.

The manuscript should include: **Title page; the Abstract; Introduction; Materials and Methods; Results; Discussion; Conclusion; Acknowledgement and References.**

The title page: The complete title of the manuscript, the name of all the authors with their highest qualifications, the department or institution to which they are attached, address for correspondence with telephone numbers, e-mail, and Fax number.

The **Abstract:** All original articles must accompany a structured abstract up to 250 words. It should be structured as **Introduction, Materials and Methods, Results and Conclusion** followed by **list in alphabetical order up to 5 Keywords**. Keywords will assist indexers in cross indexing the article as they are published with abstract. Authors need to be careful that the abstract reflects the content of the article accurately.

Introduction: This should summarize the purpose and the rationale for the study. It should neither review the subject extensively nor should it have data or conclusions of the study.

Materials and Methods: This should include exact method or observation or experiment. If an apparatus is used, its manufacturer's name and address should be given in parenthesis. If the method is established, give reference but if the method is new, give enough information so that another author is able to perform it. Statistical method must be mentioned and specify any general computer program used. The Info system used should be clearly mentioned.

Results: It must be presented in the form of text, tables and illustrations. The contents of the tables should not be all repeated in the text. Instead, a reference to the table number may be given. Long articles may need sub-headings within some sections (especially the Results and Discussion parts) to clarify their contents.

Discussion: This should emphasize the present findings and the variations or similarities with other work done in the field by other workers. The detailed data should not be repeated in the discussion again. Emphasize the new and important aspects of the study and the conclusions that follow from them. It must be mentioned whether the hypothesis mentioned in the article is true, false or no conclusions can be derived.

Acknowledgement: All contributors who do not meet the criteria for authorship should be covered in the acknowledgement section. It should include persons who provided technical help, writing assistance and departmental head who only provided general support. Financial and material support should also be acknowledged.

Tables: In limited numbers should be submitted with the **captions placed above**. Do not submit tables as photograph. Place explanatory matters in footnotes, not in the heading.

CONTENTS

Vol. 21, No. 2, Spring 2024

Guide for Authors	3
Abstracts of Persian Articles:	
Cold Plasma Hydrogenation of Soybean Oil using Hydrogen-Nitrogen Gas Composition	5
Z. Chahardehi Sirati, M. Gharachorloo, H.R. Ghomi Marzdashti, R. Azizinezhad	
Evaluation of the Physicochemical, Rheological, Sensory Characteristics and Survival of Bacteria in Functional Milk Dessert Containing <i>Aloe vera</i> Gel	6
Sh. Barande, M. Sedaghati	
Application of Microwave as Pretreatment before Drying of Orange Slices by Infrared Radiation	7
F. Salehi, M. Tashakori, K. Samary	
Investigating the Antioxidant and Antibacterial Properties of <i>Froriepia subpinnata</i> Extract Encapsulated with Maltodextrin-Whey Concentrate	8
R. Alipour, A. Alizadeh, D. Khademi	
An Overview of the Place of Fiber in Nutrition, Health, its Application and Methods of Modification in the Food Industry	9
M. Hosseiny, P. Rajaei ²	
Efficiency Assessment of Pomegranate Peel in the Removal of Nickel and Chromium from Industrial Fruit Juice Wastewater	10
N. Hashemi, M. Honarvar, A. Gharekhani	

Journal of Food Technology and Nutrition

Islamic Azad University

Executive Director:

Mehrdad Ghavami, Ph. D., MRSC, CChem

Editor in Chief:

Maryam Gharachorloo, Ph. D.

Editorial Board:

Peyman Mahasti, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Seyyed Zeadin Mazhari, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Vahid Taghikhani, Ph. D., College of Chemical Engineering, Sharif University of Technology

Mehrdad Ghavami, Ph. D., MRSC, CChem, Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Seyyed Mehdi Seyyedain, Ph. D., Cereal Research Center

Majid Amidpour, Ph. D., K. N. Toosi University of Technology

Hoshang Nikoopour, Ph. D., Shaddeed Beheshti Medical University

Maryam Mizani, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Maryam Gharachorloo, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Seyyed Mohamad Ali Moosavian, Ph. D., College of Chemical Engineering, Tehran University

Hossein Bahmanyar, Ph. D., College of Chemical Engineering, Tehran University

Mahnaz Mazaheri Assadi, Ph. D., Iranian Research Organization for Science and Technology

Cyrus Ghotbi, Ph. D., College of Chemical Engineering, Sharif University of Technology

Babak Ghiassi Tarzi, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Masoud Honarvar, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Anosheh Sharifan, Ph. D., Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University

Address:

Islamic Azad University, Science and Research Branch

Hesarak, Ashrafi Esfahani, Poonak

Tehran, Iran

Tel: +98 21 44868535-60 (40066)

E-mail: ftn@srbiau.ac.ir

www.jftn.srbiau.ac.ir