



بررسی جامع تکنیک‌های پوست‌گیری در میوه‌های هسته‌دار با تأکید بر آلو

علی محمد دهقان^۱، رسول خداپخشیان کارگر^۲، مهدی خجسته‌پور^۳، مرتضی جوادپور^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد؛ alimohammad.dehghan@mail.um.ac.ir
۲. دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد؛ Khodabakhshian@um.ac.ir
۳. استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد؛ mkhpour@um.ac.ir
۴. دانشیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آموزش عالی گناباد؛ javadpour_m@yahoo.com

چکیده

در سال‌های اخیر، بهینه‌سازی فرآیند پوست‌گیری میوه‌های هسته‌دار به منظور بهبود کیفیت محصول نهایی، کاهش تلفات و افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع غذایی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این مقاله با تمرکز بر میوه آلو، مروری جامع بر روش‌های مرسوم و نوین پوست‌گیری ارائه می‌دهد. ابتدا به روش‌های سنتی شامل پوست‌گیری مکانیکی، شیمیایی و حرارتی پرداخته شده و سپس فناوری‌های نوینی همچون استفاده از اشعه مادون قرمز، گرمادهی اهمی، میدان الکتریکی پالسی و امواج فراصوت بررسی شده‌اند. در ادامه، مطالعات انجام شده در زمینه روش‌های ترکیبی پوست‌گیری معرفی شده و مزایا و محدودیت‌های این رویکردها تحلیل گردیده است. همچنین، با توجه به اهمیت آلو در کشاورزی و صنایع تبدیلی ایران، وضعیت تولید و روش‌های پوست‌گیری سنتی آلو در کشور مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین به‌ویژه به صورت ترکیبی با روش‌های سنتی، می‌تواند کارایی فرآیند پوست‌گیری را بهبود بخشد، کیفیت محصول نهایی را ارتقا دهد و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. این مرور می‌تواند به عنوان مبنایی برای توسعه تحقیقات آینده و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی پوست‌گیری میوه‌های هسته‌دار مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی

پوست‌گیری، آلو، قلیا، مادون قرمز، میدان الکتریکی پالسی، فراصوت



۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، بهبود کیفیت فراوری میوه‌ها به‌ویژه در صنایع تبدیلی، به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های صنعت کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل شده است. فراوری میوه‌های هسته‌دار به‌ویژه آلو، به دلیل حساسیت‌های فیزیکی و ویژگی‌های بافتی خاص آن، همواره نیازمند به‌کارگیری روش‌های نوین و بهینه در مراحل مختلف فراوری بوده است. پوست‌گیری به‌عنوان یکی از مراحل حیاتی در فراوری پس از برداشت میوه‌ها و سبزی‌ها، نقش مؤثری در بهبود کیفیت نهایی، ارتقای ارزش افزوده، و افزایش مدت ماندگاری محصول دارد [۳۹ و ۵۱]. این فرآیند نه تنها موجب بهبود ویژگی‌های حسی و خوراکی محصول می‌شود، بلکه گاهی برای کاهش آلودگی‌های میکروبی و باقی‌مانده سموم نیز ضروری است [۷۵ و ۱۳]. به طور خاص، در میوه‌های هسته‌دار مانند آلو، فرآیند پوست‌گیری از آن جهت اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که کیفیت گوشت میوه تأثیر مستقیمی بر قابلیت فراوری و بازارپسندی محصول دارد. پوست میوه‌ها ساختاری پیچیده و غنی از ترکیبات پلی‌ساکاریدی، موم‌ها و پروتئین‌های ساختاری است که نقش مهمی در محافظت از بافت داخلی، کاهش تبخیر، و جلوگیری از نفوذ عوامل بیماری‌زا ایفا می‌کند [۵۲ و ۱۱]. ترکیباتی نظیر پکتین، سلولز و همی سلولز باعث اتصال قوی پوست به گوشت میوه می‌شوند و این اتصالات در فرآیند پوست‌گیری باید با دقت و بدون آسیب‌زدن به بافت داخلی شکسته شوند [۶۵ و ۶۶]. در بسیاری از میوه‌ها، به‌ویژه انواع هسته‌دار نظیر آلو، هلو و زردآلو، پوست‌گیری با دشواری‌هایی مواجه است؛ زیرا چسبندگی پوست به گوشت میوه بالا بوده و بافت میوه نیز نسبت به حرارت و مواد شیمیایی حساس است [۷۵].

آلو از متنوع‌ترین میوه‌های هسته‌دار مناطق معتدله که با عوامل اقلیمی مختلف سازگار است و در زیرخانواده Pronoidease از خانواده Rosaceae و زیر جنس Prunophora قرار می‌گیرد که رایج‌ترین گونه‌های آن *Prunus domestica* L. (آلوی اروپایی) و *Prunus salicina* L. (آلوی ژاپنی) است [۲۰]. آلوی اروپایی متعلق به جنوب شرق اروپاست و بیش از ۲۰۰۰ سال است که کشت می‌شود، آلوی ژاپنی در حقیقت متعلق به کشور چین است و با این نام شناخته می‌شود [۱]. بطور کلی حدود ۷۵ گونه آلو شناخته شده است [۶۰]. ایران از لحاظ تولید آلو در رتبه پنجم دنیا قرار دارد و رتبه‌های اول تا چهارم را کشورهای چین، نیوزیلند، ایتالیا و یونان به خود اختصاص داده‌اند [۲۴]. طبق جدیدترین آمار وزارت جهاد کشاورزی [۲]، میزان تولید آلو ۳۴۴,۳۳۲ تن و میزان سطح کشت آلو ۲۸,۹۳۲ هکتار در ایران است. در ایران، استان‌های البرز، خراسان رضوی، آذربایجان غربی، گلستان و تهران به ترتیب رتبه‌های اول تا پنجم در میزان تولید آلو را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعه داده‌های آماری نشان می‌دهد که عملکرد تولید آلو در واحد سطح در استان‌های مختلف ایران، تفاوت‌های معناداری دارد. برای مثال، استان البرز (۲۶۹۹ هکتار) با وجود سطح زیر کشت کمتر نسبت به استان خراسان رضوی (۷۶۵۵ هکتار)، از تولید بیشتری برخوردار است که بیانگر عملکرد بالاتر در واحد سطح است. از سوی دیگر، استان‌هایی نظیر گلستان و تهران نیز مشاهده می‌شود که با وجود سطح زیر کشت کمتر نسبت به استان‌های فارس و همدان، تولید بیشتری دارند. این الگوی مشاهده‌شده به وضوح نشان می‌دهد که افزایش صرف سطح زیر کشت به تنهایی نمی‌تواند ضامن رشد تولید باشد؛ بلکه عواملی مانند کیفیت مدیریت باغداری، انتخاب ارقام مناسب، شرایط آب و هوایی مطلوب، برنامه‌ریزی صحیح تغذیه‌ای و روش‌های مؤثر کنترل آفات و بیماری‌ها، نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در ارتقای سطح بهره‌وری و افزایش تولید دارند.

استان خراسان رضوی، شهرستان نیشابور، شهر خرو مرکز تولید این محصول است که به‌عنوان قطب تولید و پرورش آلو در این استان شناخته می‌شود. بررسی میدانی در این منطقه، نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از تولیدکنندگان، خرده‌مالکانی با باغ‌هایی کوچک و پراکنده هستند. این ساختار بهره‌برداری سنتی، منجر به ضعف در مدیریت علمی، مکانیزاسیون، آبیاری بهینه و استفاده از نهاده‌های کشاورزی مناسب می‌شود و در نتیجه عملکرد در واحد سطح را کاهش می‌دهد. ارقام آلو موجود در این منطقه عبارت‌اند از بخارا، حاج حسنی، کالیفرنیا، کبرایی، شوقانی، پاکوتاه، طرجه، رطبی، شمس و قطره‌طلا. بیشترین تولید آلو در این منطقه مربوط به رقم بخارا است. ارقام آلو گفته‌شده، به‌جز سه رقم آلوی کالیفرنیا، شوقانی و رطبی که پس از هسته‌گیری به‌صورت برگه‌ای خشک شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند، همگی پوست‌گیری می‌شوند. پوست‌گیری در این منطقه به‌صورت



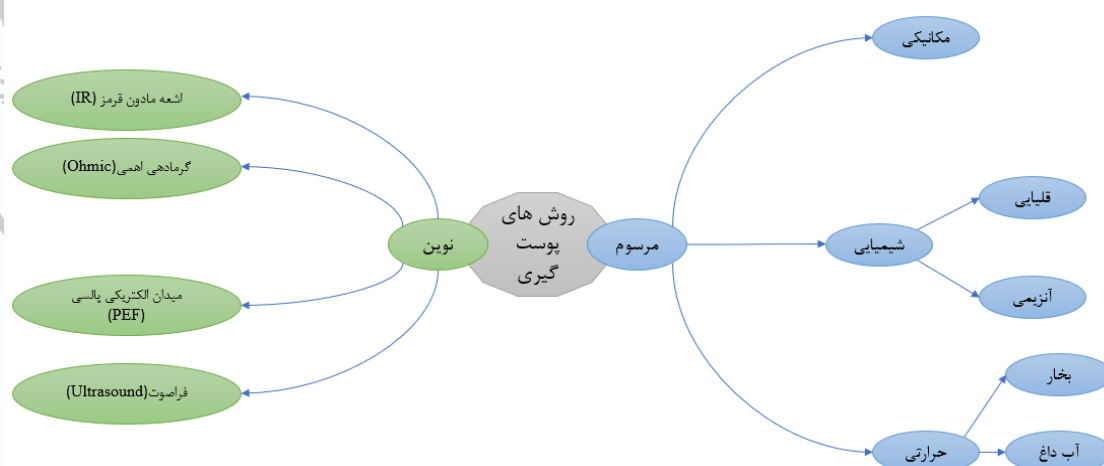
3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

دستی و سنتی انجام می‌گیرد؛ به این صورت که آلو را به مدت ۸ الی ۱۰ ساعت در آب‌نمک قرار می‌دهند و پس از آن آلو به راحتی با دست پوست‌گیری می‌شود. این روش از لحاظ طولانی بودن زمان پوست‌گیری، مشکلات بهداشتی و عدم یکنواختی در کیفیت محصول، برای باغداران و کشاورزان منطقه مشکل‌ساز است [۲].

در این میان، فرآیند پوست‌گیری آلو یکی از مراحل کلیدی در صنایع فرآوری این محصول است. این فرآیند به منظور حذف لایه بیرونی میوه صورت می‌گیرد که اغلب حاوی آلودگی‌های سطحی، مواد شیمیایی و بقایای موم‌های طبیعی است. حذف دقیق پوست باعث بهبود ظاهر، طعم و ارزش تغذیه‌ای آلو شده و همچنین آماده‌سازی میوه برای مراحل بعدی فرآوری، نظیر خشک‌کردن یا تولید کمپوت و مربا را تسهیل می‌کند. روش‌های سنتی پوست‌گیری اغلب زمان‌بر، پرهزینه و کم‌بازده هستند. از این رو، بهره‌گیری از روش‌های نوین مورد توجه قرار می‌گیرد [۱۱]. هدف این پژوهش، بررسی و معرفی روش‌های مختلف پوست‌گیری میوه‌ها، به ویژه میوه‌های هسته‌دار مانند آلو است. در این پژوهش، روش‌های مرسوم و نوینی که برای پوست‌گیری استفاده می‌شوند معرفی شده و مزایا و معایب هر کدام بیان شده‌اند. همچنین با توجه به اهمیت آلو در ایران، تلاش شده است تا شرایط پوست‌گیری این میوه به عنوان یک نمونه بررسی شود. این مقاله می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر در انتخاب روش مناسب پوست‌گیری در صنایع غذایی و پژوهش‌های مرتبط کمک کند.

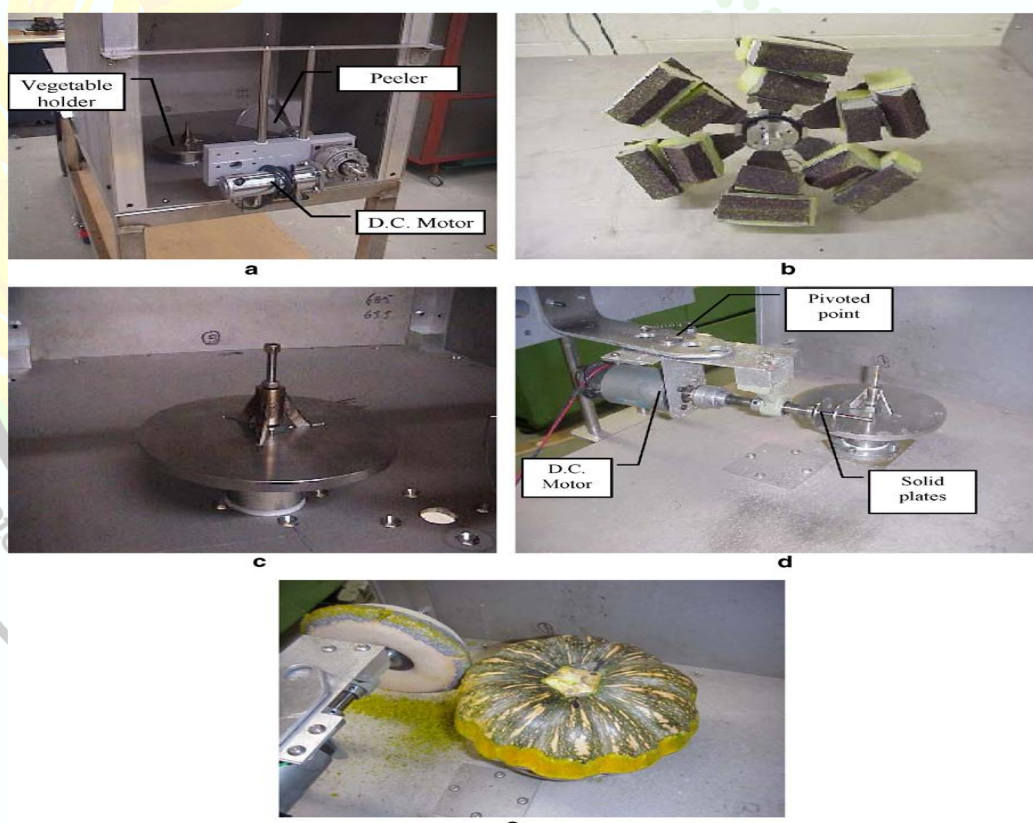
۲- روش‌های پوست‌گیری

باتوجه به نقش کلیدی مرحله پوست‌گیری در زنجیره فرآوری میوه‌ها و سبزی‌ها، انتخاب روشی مناسب برای حذف پوست می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر کیفیت محصول نهایی، ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای و پذیرش مصرف‌کننده داشته باشد [۷۵]. بر همین اساس، روش‌های مختلف پوست‌گیری (شکل ۱) بر مبنای نوع فرآیند به کاررفته، به دودسته کلی روش‌های مرسوم و روش‌های نوین تقسیم می‌شوند [۳۸]. روش‌های مرسوم، شامل تکنیک‌های پوست‌گیری مکانیکی، شیمیایی (قلیایی و آنزیمی) و حرارتی (بخار و آب داغ) هستند که اگرچه کاربرد وسیعی دارند، اما اغلب با مشکلاتی مانند مصرف بالای انرژی، تلفات بالا، آسیب به بافت و باقی ماندن مواد شیمیایی همراه‌اند [۲۸]. در مقابل، روش‌های نوین نظیر تابش اشعه مادون قرمز، گرمادهی اهمی، میدان الکتریکی پالسی و فراصوت، باهدف بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش تلفات و افزایش کیفیت محصول طراحی شده‌اند و به عنوان جایگزین‌هایی پایدار و دوستدار محیط‌زیست در حال توسعه‌اند [۳۸ و ۶۷].



شکل ۱. روش‌های پوست‌گیری

۱-۲ مکانیکی: پوست گیری مکانیکی شامل استفاده از ابزارهایی نظیر چاقو، تیغه های گردان و سطوح ساینده برای جدا کردن پوست میوه و سبزیجات است [۲۹]. این روش تناسبی با محصولاتی با پوست نرم همچون آلو ندارد و امکان استفاده از این روش برای پوست گیری آلو وجود ندارد؛ زیرا این ابزارها انعطاف پذیری لازم را ندارند و باعث افزایش ضایعات می شوند [۳]. در پوست گیری سایشی، از سطوح ساینده ای مانند دیسک چرخان، درام های دوار یا کاسه های چرخان استفاده می شود. پوست میوه توسط نیروی برشی بین سطح ساینده و محصول جدا شده و سپس با آب شسته می شود. در مقابل، در روش غیرسایشی از تیغه های چرخان با سرعت بالا یا تیغه های ثابت استفاده می شود که با توجه به ویژگی های فیزیکی و هندسی محصول انتخاب می شوند [۳۸]. روش های سایشی خشن باعث افزایش نرخ تنفس محصول می شوند که این مسئله به دلیل جدا شدن برخی از بافت های زیر اپیدرمی همراه با پوست است. در مقابل، استفاده از ساینده ای ملایم، نرخ تنفس پایین تری داشته و به حفظ کیفیت نهایی کمک می کند [۷]. در مطالعه ای از یک پد سایشی^۱ و دیسک سایشی^۲ برای پوست گیری کدوتنبل که در شکل ۲ مشخص است، استفاده کردند. پد سایشی دارای شش زبانه بود که روی هر کدام دو قطعه ساینده به شکل سه گوشه و چهار گوشه نصب شده بود. در دیسک سایشی، با استفاده از چسب مخصوص به دیسک های فومی شکل (سه شکل مختلف) چسبانده شدند. این دو روش نوآورانه برای پوست گیری کدوم تنبل استفاده شدند و نتایج نشان دادند که هرچقدر هم پوشانی پد و محصول افزایش یابد باعث افزایش عملکرد در قسمت های مقعر پوست شده می شود اما مقدار ضایعات را افزایش می دهد. همچنین افزایش سرعت دورانی محصول مقادیر عملکرد در قسمت های مقعر و محدب را کاهش می دهد [۲۱].



شکل ۲. دستگاه آزمایش و قطعه اتصال مورد استفاده برای آزمایش های پدهای ساینده و دیسک های ساینده. (a) محفظه دستگاه آزمایش (موتور محرک نگهدارنده سبزیجات که در زیر محفظه قرار دارد)، (b) پد سایشی (c) نگهدارنده (d) اجزای پوست کن (موتور محرک نگهدارنده در زیر محفظه قرار دارد) (e) دیسک سایشی [۲۱].

^۱ Abrasive pad

^۲ Abrasive disk



۲-۱-۲ شیمیایی: در این روش از مواد شیمیایی برای انجام فرآیند پوست گیری استفاده می شود که رایج ترین آن ها استفاده از محلول قلیایی (سود سوزآور مرطوب یا خشک) [۵۱] و آنزیم ها است. و به همین منظور به دو روش قلیایی و آنزیمی تقسیم بندی می شود.

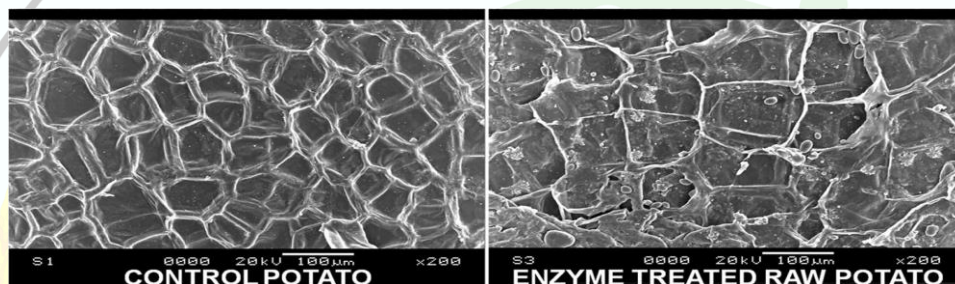
۲-۱-۲-۱ قلیایی: در پوست گیری با سود سوزآور، انتقال جرم و حرارت و واکنش های شیمیایی بطور همزمان رخ می دهد [۲۲]. در روش قلیایی از محلول سدیم هیدروکسید (NaOH) و پتاسیم هیدروکسید (KOH) استفاده می شود که هیدروکسید سدیم به دلیل هزینه کمتر ترجیح داده می شود [۱۵]. غلظت مورد استفاده متناسب با نوع محصول، زمان نگهداری و دمای محلول خواهد بود [۳]. این روش را می توان به دو زیرمجموعه تقسیم کرد: پوست گیری قلیایی مرطوب و پوست گیری قلیایی خشک [۵۱]. در روش مرطوب، میوه ها و سبزیجات در یک محلول قلیایی داغ و غلیظ برای مدت زمان مشخصی غوطه ور می شوند که این فرآیند باعث نرم شدن پوست آن ها می شود. پس از این مرحله، پوست نرم شده با استفاده از شست و شوی پرفشار یا تجهیزات ساینده به راحتی جدا می گردد [۶۹ و ۱۵]. پوست گیری قلیایی خشک در واقع نسخه بهینه سازی شده روش مرطوب است که هدف آن کاهش حجم پساب و حل مشکلات زیست محیطی ناشی از دفع مواد قلیایی است. در این روش، محلول قلیایی مستقیماً روی سطح محصول اسپری شده و با استفاده از حرارت بالا، فعالیت شیمیایی قلیا تسریع می شود؛ در نتیجه غلظت محلول مورد نیاز نیز کاهش می یابد [۵۱]. سرعت و کیفیت پوست گیری در فرآیند قلیایی به شدت تحت تأثیر عواملی مانند دمای محلول، غلظت قلیا، زمان غوطه وری، شکل هندسی محصول و ضخامت پوست قرار دارد [۸]. برای هر نوع میوه یا سبزی، شرایط بهینه ممکن است متفاوت باشد؛ برای کاساوا از غلظت ۹.۷ درصد NaOH در دمای ۸۶ درجه سلسیوس و مدت زمان ۵ دقیقه استفاده می شود [۹]. بنابراین، شناخت دقیق حداقل دما، غلظت و زمان لازم برای جلوگیری از آسیب به بافت و کاهش تلفات ضروری است [۳۵]. یکی از مزیت های قابل توجه روش قلیایی این است که هزینه فرآوری نسبتاً پایین تر است و میزان کاهش وزن محصول در طول فرآیند کمتر خواهد بود [۸]. در پژوهشی بر روی پوست گیری فندق، اثر زمان (۲ تا ۱۲ دقیقه)، دمای محلول (۶۳ تا ۹۷ درجه سلسیوس) و غلظت سود سوزآور (۴۰ تا ۱۴۰ گرم در هر کیلوگرم محلول) بر کارایی فرایند و کیفیت محصول ارزیابی شد. نتایج نشان داد افزایش دما و غلظت قلیا زمان مورد نیاز برای جداسازی پوست را کاهش می دهد، در حالی که جذب آب در طول فرآیند تغییرات معناداری در رطوبت فندق ایجاد کرد ($P < 0.05$). همچنین ویژگی هایی مانند روغن، اسیدهای چرب، عدد پراکسید و شاخص های رنگی تحت تأثیر تیمار قرار گرفتند. برای تعیین شرایط بهینه از روش سطح پاسخ (RSM^2) استفاده شد و فاکتورهای ماندن باقی مانده سود و عمق نفوذ محلول نیز بررسی گردید. نتایج نشان داد زمان بیشترین تأثیر را بر پاسخ ها دارد و شرایط بهینه معادل ۹۴.۹ درجه سلسیوس، ۵۸.۵ گرم سود در هر کیلوگرم محلول و ۲.۹ دقیقه زمان بود که منجر به راندمان پوست گیری بالای ۹۸ درصد و حفظ کیفیت تغذیه ای و حسی محصول شد [۳۵]. با وجود کارایی مناسب، استفاده از قلیا در صنایع غذایی با مشکلاتی همراه است. ماهیت خورنده قلیا می تواند منجر به از بین رفتن بخش خوراکی میوه ها شود و بازده فرآیند را کاهش دهد [۶۹]. همچنین، پس از اتمام فرآیند، باقی ماندن مواد قلیایی و نیاز به دفع مناسب پساب به دلیل آثار زیست محیطی، نگرانی جدی برای استفاده صنعتی از این روش ایجاد می کند. افزون بر آن، کیفیت نهایی محصول نیز ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد، به ویژه در مواردی مانند تغییر در بافت، رنگ و رایحه که به شدت وابسته به دما و مدت زمان پوست گیری هستند [۴۹ و ۶۱].

۲-۱-۲-۲ آنزیمی: در پوست گیری آنزیمی از آنزیم های خاصی مانند سلولاز، همی سلولاز و پکتیناز برای تجزیه اجزای دیواره سلولی لایه بیرونی میوه و سبزیجات استفاده می شود. آنزیم ها از طریق تخمیر میکروارگانیسم های قارچی اصلاح شده ژنتیکی تهیه می شوند. این آنزیم ها با تجزیه ترکیباتی نظیر سلولز، همی سلولز و پکتین در بافت اپیدرمی، چسبندگی پوست میوه به گوشت را کاهش داده و شرایطی فراهم می کنند تا پوست به آسانی جدا شود [۴۹ و ۵۰]. ورود آنزیم ها به بافت می تواند با استفاده

^۲ Response Surface Methodology



از خلا بهبود یابد؛ به گونه ای که فشار منفی باعث کشیده شدن محلول آنزیمی به داخل فضای بین سلولی می شود و در نتیجه پوست به راحتی جدا می گردد. در صورت پایین بودن شدت خلا (کمتر از ۵۵۰ میلی متر جیوه)، پوست گیری کامل حاصل نمی شود [۴۵]. عوامل چون غلظت آنزیم، دما و زمان تیمار نقش مؤثری در اثربخشی این روش دارند. به طور معمول، افزایش غلظت آنزیم باعث تسریع در پوست گیری می شود، اما استفاده از دُز بالا ممکن است منجر به آسیب بافتی، از دست رفتن آب میوه و کاهش قوام شود [۵۰ و ۳۸]. در مطالعه ای پوست گیری سیبزمینی با استفاده از آنزیم ها مورد بررسی قرار گرفته است و از سه نوع آنزیم (آمیلاز، سلولاز و زایلاناز) به صورت ترکیبی استفاده کردند. سپس برای دستیابی به شرایط بهینه، از روش آماری طراحی مرکب مرکزی (CCD^۴) و روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد. شرایط بهینه شامل دمای ۶۰ درجه سانتی گراد، pH برابر با ۶ و زمان انکوباسیون ۴ ساعت تعیین شد. همچنین، تصاویر SEM^۵ در شکل ۳ ساختار سلولی تخریب شده و شل شده ای را پس از تیمار نشان دادند. در نهایت، این ترکیب آنزیمی بر روی غده کامل سیبزمینی نیز آزمایش شد. نتایج نشان داد که پوست سیبزمینی به راحتی جدا شده و تنها ۰.۵۲ درصد کاهش وزن پس از پوست گیری مکانیکی مشاهده شد که نسبت به نمونه کنترل (۰.۰۵ درصد) افزایش معناداری داشت [۱۰].



شکل ۳. آنالیز SEM پوست سیبزمینی: سیب زمینی شاهد (چپ) و سیب زمینی تیمار شده با آنزیم (راست) - بزرگنمایی ۲۰۰ برابر [۱۰].

با وجود آنکه روش پوست گیری آنزیمی روشی زیست سازگار محسوب می شود، اما در واقع این روش به دلیل هزینه بالای تولید آنزیم ها، زمان طولانی فرآیند و گاهی اتلاف بالا در مرحله جداسازی پوست، همواره به عنوان گزینه ای کاملاً کاربردی برای پوست گیری صنعتی در نظر گرفته نشده است [۵۷ و ۲۹، ۴۶]. همچنین، ریسک آلودگی میکروبی در طول فرآیندهای طولانی مدت یکی دیگر از چالش های این روش به شمار می رود. از طرفی، دشواری در تصفیه پساب های حاصل از عملیات آنزیمی و بازیابی آنزیم های مصرف شده نیز از جمله موانع اقتصادی و فنی اجرای این فناوری است [۴۹ و ۱۴].

۱-۲-۳ حرارتی: پوست گیری حرارتی یکی از متداول ترین و قدیمی ترین روش های صنعتی برای جدا کردن پوست میوه ها و سبزیجات است. که با استفاده از حرارت مرطوب (بخار یا آب داغ) یا حرارت خشک (مانند شعله مستقیم یا تابش) انجام می شود. این فرآیند، با ایجاد فشار داخلی یا تنش حرارتی، موجب جدا شدن راحت پوست می شود [۷۵]. در این بخش به پوست گیری با بخار و آب داغ اشاره می شود.

۱-۲-۳-۲ بخار: پوست گیری با بخار یکی از روش های رایج و پر کاربرد در صنایع فرآوری میوه ها و سبزیجات است که با استفاده از بخار با دمای بالا در یک محفظه ای تحت فشار انجام می شود. که محصول در محفظه تحت فشار مشخص در مدت زمان مشخص قرار می گیرد. از نظر مکانیزم، پوست گیری با بخار مبتنی بر دو پدیده ای اصلی است: اول، افزایش دمای بالا باعث تبخیر آب درون سلول ها شده و در نتیجه فشار داخلی افزایش می یابد که موجب شکست مکانیکی دیواره سلولی می شود. دوم، حرارت اعمال شده باعث نرم شدن بافت محصول از طریق تجزیه ی پکتین ها و پلی ساکارید های دیواره سلولی می شود. این تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی باعث شل شدن پوست و جداسازی آسان آن می گردد [۲۶ و ۲۲]. استفاده از بخار آب به دلایل زیر به عنوان یک روش پر کاربرد پوست گیری مورد توجه قرار گرفته است [۴۰]: ۱. قابلیت خودکار شدن دستگاه ها؛ ۲. کنترل دقیق

^۴ Central composite design

^۵ Scanning Electron Microscopy



مقادیر فشار و دما؛ ۳. میزان آلودگی کم؛ ۴. ضایعات کمتر نسبت به روش‌های مکانیکی و سایشی. در پژوهشی اثربخشی پوست‌گیری با بخار را بر دو رقم گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق به منظور یافتن شرایط بهینه فشار و زمان انجام شد. آن‌ها دریافتند که استفاده از فشار بخار پایین (۸۲.۷۴ کیلو پاسکال) در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد برای پوست‌گیری مؤثر کافی نیست. در مقابل، اعمال بخار با فشار بالاتر (۱۲۴.۱۱ کیلو پاسکال) و زمان تماس کوتاه (۴۵ ثانیه) منجر به پوست‌گیری یکنواخت‌تر و کاهش ضایعات شد. این تیم تحقیقاتی تأکید کردند که مدیریت دقیق زمان تیمار از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که تیمار طولانی باعث جدا شدن بیش از حد گوشت همراه با پوست می‌شود، در حالی که زمان کوتاه موجب باقی ماندن بخش‌هایی از پوست خواهد شد. این نتایج، کاربرد بخار تحت فشار بالا را به عنوان یکی از گزینه‌های کارآمد در پوست‌گیری صنعتی گوجه‌فرنگی تأیید کردند [۲۷]. این روش مزایای قابل توجهی از جمله کاهش آلودگی محیط‌زیستی نسبت به روش‌های شیمیایی مانند لایه‌برداری قلیایی و افزایش ظرفیت تولید دارد [۳۸]. باین‌حال، تنظیم دقیق زمان، دما و فشار در این فرآیند بسیار مهم است، زیرا زمان بیش از حد می‌تواند باعث از بین رفتن گوشت میوه شود و زمان کم نیز باعث ناقص ماندن پوست‌گیری می‌گردد [۲۷ و ۳۱]. با وجود آنکه پوست‌گیری با بخار روشی کارآمد و دوستدار محیط‌زیست تلقی می‌شود، اما چالش‌هایی نیز به همراه دارد. مهم‌ترین آن‌ها، تأثیر احتمالی حرارت بالا بر بافت داخلی میوه است که می‌تواند منجر به نرمی بیش از حد محصول گردد و همین‌طور محدودیت انتقال گرما در بخار اشباع است که ممکن است باعث شود برخی نواحی سطح میوه به طور کامل پوست‌گیری نشوند [۱۶].

۲-۳-۱-۲ آب داغ: پوست‌گیری با آب داغ یکی از روش‌های مرسوم در فرآوری میوه‌ها و سبزیجات به شمار می‌رود که بر پایه‌ی اعمال حرارت مستقیم از طریق غوطه‌وری محصول در آب با دمای بالا (۹۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس) عمل می‌کند. در این فرآیند، ساختار پکتیکی و پلی‌ساکاریدی پوست دچار تضعیف می‌شود و اتصال پوست به گوشت میوه کاهش می‌یابد و جداسازی آن تسهیل می‌شود [۷۵]. این روش به‌ویژه برای میوه‌هایی با پوست نسبتاً نازک مانند هلو، کیوی، گوجه‌فرنگی و هویج مناسب است و در فرآوری صنعتی نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. برای نمونه، در کالیفرنیا بیش از ۷۰ درصد گوجه‌فرنگی‌های فرآوری‌شده به یکی از دو روش پوست‌گیری با بخار یا آب داغ آماده‌سازی می‌شوند [۲۷]. از مزایای مهم این روش می‌توان به عدم استفاده از مواد شیمیایی، سادگی فرایند، و امکان کنترل‌پذیری خوب آن بر اساس پارامترهای زمان و دما اشاره کرد [۷۵]. باین‌حال، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. یکی از چالش‌های اصلی در این روش، کاهش ارزش تغذیه‌ای محصول در اثر از دست رفتن ترکیبات محلول در آب مانند ویتامین‌ها و قندهای ساده است. همچنین مانند روش پوست‌گیری با بخار تماس مستقیم با آب داغ ممکن است منجر به نرم شدن یا تخریب بافت، یا کاهش کیفیت ظاهری محصول نهایی گردد [۷۴]. مطالعه‌ای بر روی میوه‌های نامرغوب کیوی از رقم 'Hayward' انجام شد، عملکرد سه روش پوست‌گیری شامل آب داغ، قلیایی و دستی مورد مقایسه قرار گرفت. هدف اصلی پژوهش، تعیین شرایط بهینه پوست‌گیری و انتخاب مؤثرترین روش از نظر حداقل تلفات، کیفیت ظاهری و کارایی عملیاتی بود. در مرحله نخست، میوه‌ها پس از برداشت در دمای صفر درجه سلسیوس نگهداری شدند و سپس در سه زمان متفاوت (روز ۱، روز ۸ و روز ۱۵) با هر سه روش تیمار شدند. پوست‌گیری آب داغ با غوطه‌ورسازی میوه‌ها در آب ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ثانیه انجام شد و سپس به سرعت با آب سرد تا ۲۰ درجه سرد شدند. نتایج نشان داد که زمان ۳۰ ثانیه برای پوست‌گیری آب داغ مناسب‌ترین شرایط را فراهم می‌کند و افزایش بیش از این زمان، به افزایش معنی‌دار تلفات وزنی منجر می‌شود. در مقایسه بین روش‌ها، پوست‌گیری آب داغ توانست کمترین میزان کاهش وزن، بیشترین حفظ رنگ سبز طبیعی میوه و زمان کمتر برای جداسازی پوست را ارائه دهد. [۳۱].

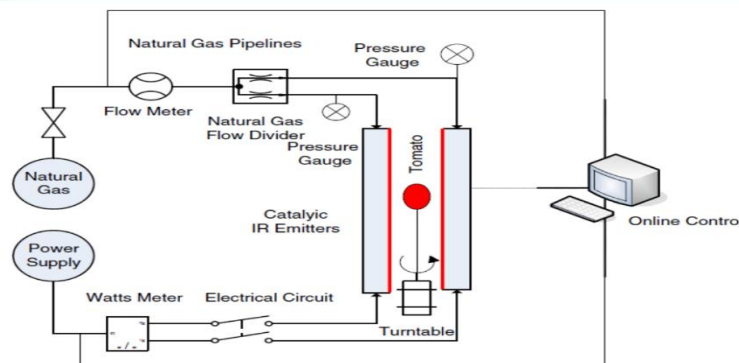
۲-۲ روش‌های نوین: با توجه به محدودیت‌های موجود در روش‌های مرسوم پوست‌گیری از جمله مصرف بالای انرژی، استفاده از مواد شیمیایی خورنده، کاهش کیفیت بافتی، و مشکلات زیست‌محیطی، پژوهشگران در سال‌های اخیر به سوی توسعه‌ی فناوری‌های نوین گام برداشته‌اند. از مهم‌ترین این فناوری‌ها می‌توان به تابش مادون قرمز (IR)، گرمادهی اهمی (Ohmic Heating)،



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

میدان الکتریکی پالسی^۴ (PEF)، و فراصوت (Ultrasound) اشاره کرد. این روش‌ها به‌طور خاص با هدف جایگزینی با فرآیندهای حرارتی و شیمیایی توسعه یافته‌اند و از مزایای آن‌ها می‌توان به کاهش تلفات مواد مغذی، بهبود بازده پوست‌گیری، مصرف انرژی کمتر و عدم نیاز به مواد شیمیایی مضر اشاره کرد. در عین حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌ی اولیه بالا، نیاز به طراحی دقیق دستگاه‌ها و لزوم تنظیم بهینه پارامترهای فرآیندی نیز وجود دارد که می‌تواند مانع از تجاری‌سازی فوری این فناوری‌ها گردد [۳۸ و ۷۵].

۱-۲-۲ اشعه مادون قرمز (IR): یکی از نوآوری‌های قابل توجه در زمینه پوست‌گیری میوه‌ها و سبزیجات، استفاده از تابش مادون قرمز است که با هدف جایگزینی روش‌های سنتی و مرسوم توسعه یافته است. مادون قرمز بخشی از طیف الکترومغناطیسی بوده و معمولاً به سه دسته با طول موج کوتاه، متوسط و بلند تقسیم می‌شود. طول موج‌های کوتاه (۰.۷۵-۲.۵ میکرومتر) توان نفوذ بالاتری دارند زیرا می‌توانند مستقیماً سطح محصول را گرم کنند [۳۸ و ۳۴]. گرمای ایجادشده توسط تابش IR به سطح میوه، باعث افزایش دما در پوست شده و از طریق رسانش حرارتی به لایه‌های زیرین منتقل می‌شود. این اثر حرارتی موجب ذوب شدن، تجزید آرایش واکس‌های کوتیکولی، تخریب لایه میانی سلول‌ها، و انبساط دیواره‌های سلولی شده که در نهایت منجر به شل شدن و ترک‌خوردگی پوست می‌شود [۳۸ و ۳۰، ۴۲]. برخلاف روش‌های شیمیایی مانند پوست‌گیری قلیایی، در این فناوری از هیچ‌گونه ماده‌ی شیمیایی خورنده استفاده نمی‌شود. همچنین، مصرف منابع آبی نیز به حداقل می‌رسد و کیفیت ظاهری، بافت و ترکیبات حساس میوه تا حد زیادی حفظ می‌شود [۴۴ و ۶۹]. در مطالعه‌ی این روش در مقایسه با پوست‌گیری قلیایی، باعث کاهش مصرف آب به میزان ۶۴ درصد و کاهش آلودگی آب شیرین تا ۹۸.۵۵ درصد شده است [۶۲]. همچنین به دلیل نبود تماس مستقیم با آب یا قلیا، خطر نرمی بیش از حد بافت یا تغییر رنگ در این روش بسیار کمتر است. از جمله مزایای اصلی این روش می‌توان به کاهش مصرف انرژی، عدم نیاز به آب، جلوگیری از تولید فاضلاب صنعتی، زمان کوتاه فرآیند، و افزایش بازده پوست‌گیری اشاره کرد [۷۵]. با این حال، استفاده از تابش مادون قرمز در مقیاس صنعتی همچنان با چالش‌هایی همراه است. گرمایش ناهمگن به‌ویژه در میوه‌هایی با شکل‌های نامنظم، احتمال بروز پوست‌گیری ناقص یا آسیب به بافت را افزایش می‌دهد. بنابراین طراحی دقیق سیستم تابشی، کنترل مناسب فاصله تابش، زمان فرآیند و چرخش یکنواخت محصول از جمله الزامات عملکرد موفق این روش محسوب می‌شود [۲۹ و ۱۷]. یکی از مطالعات کلیدی در این زمینه که در آن عملکرد پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با استفاده از گرمایش مادون قرمز دوطرفه بررسی شد (شکل ۴) در این تحقیق، گوجه‌فرنگی‌ها در فاصله 90 ± 2 میلی‌متر از منبع تابش قرار گرفتند و به مدت ۳۰ تا ۷۵ ثانیه با سرعت چرخش ۱ دور در دقیقه گرم شدند. نتایج نشان دادند که در مقایسه با پوست‌گیری قلیایی (۱۰۰ گرم در لیتر NaOH در 95 ± 2 درجه سلسیوس به مدت ۴۵ ثانیه)، روش مادون قرمز باعث کاهش تلفات پوست‌گیری (۸.۳ تا ۱۳.۲ درصد در برابر ۱۲.۹ تا ۱۵.۸ درصد)، نازک‌تر شدن پوست جداشده (۰.۳۹ تا ۰.۹۱ میلی‌متر در برابر ۰.۳۸ تا ۱.۰۶ میلی‌متر) و سفت‌تر شدن بافت نهایی (۱۰.۳ تا ۱۹.۷ نیوتن در برابر ۹.۴ تا ۱۳.۷ نیوتن) شد [۴۲].



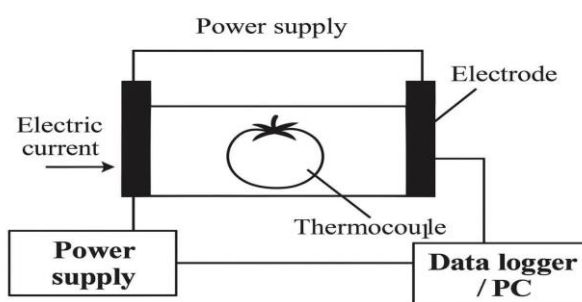
شکل ۴. سیستم لایه‌برداری خشک مادون قرمز با گرمایش چرخشی پیوسته [۴۲].

^۴ Pulsed Electric Field



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

۲-۲-۲ گرمادهی اهمی: گرمادهی اهمی یکی از روش‌های نوین و کارآمد در فرآیند پوست‌گیری میوه‌ها و سبزیجات تازه است که در آن، جریان الکتریکی متناوب از درون محصول غذایی عبور داده می‌شود. این جریان از طریق یک محیط رسانای یونی (مانند NaCl یا سود سوزآور) برقرار می‌گردد و به دلیل وجود مقاومت الکتریکی در بافت ماده غذایی، گرمای حجمی یکنواختی در سراسر محصول ایجاد می‌شود [۷۵ و ۳۸]. در شکل ۵ اجزای یک دستگاه لایه برداری اهمی نشان داده شده است. این فناوری نه تنها منجر به گرمایش سریع‌تر در مقایسه با روش‌های حرارتی سنتی می‌شود، بلکه با فعال‌سازی پدیده‌هایی نظیر الکتروپوراسیون^۷، ساختار بافتی پوست را تضعیف کرده و جداسازی آن از گوشت میوه را تسهیل می‌کند [۶۴]. در مطالعات متعددی، به‌ویژه در فرآیند پوست‌گیری گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی، از محلول‌های قلیایی مانند NaOH به عنوان محیط رسانای الکتریکی در گرمادهی اهمی استفاده شده است. این ترکیب از اثرات حرارتی و شیمیایی، باعث افزایش نفوذ محلول به لایه‌های اپی کوتیکولار پوست، تجزیه پکتین‌ها، و هضم دیواره سلولی اپیدرم و هیپودرم می‌شود. همچنین دمای بالای محلول موجب تبخیر مایعات درون سلول‌ها شده و فشار داخلی افزایش یافته، موجب ایجاد ترک و جدایی پوست از گوشت می‌شود [۳۲ و ۷۳]. در مواردی که پوست میوه‌ها دارای لایه مومی با رسانایی پایین هستند، شروع فرآیند در دمای پایین‌تر از نقطه ذوب این موم‌ها می‌تواند عبور جریان الکتریکی را مختل کند. در نتیجه، افزایش دمای اولیه محیط به بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (نقطه ذوب موم‌های کوتیکولی) اهمیت بالایی دارد [۷۱].



شکل ۵. اجزای یک دستگاه لایه برداری اهمی [۲۹].

در فرآیند پوست‌گیری اهمی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محصول بر این فرآیند تأثیر مستقیم دارند. عواملی مانند میزان رطوبت، تخلخل، ترکیب شیمیایی پوست، اندازه و شکل محصول، و همچنین نسبت جرم محصول به حجم محلول رسانا از پارامترهای کلیدی هستند که می‌توانند رسانایی الکتریکی و گرمایش را تحت تأثیر قرار دهند [۵۹]. این متغیرها باید برای هر محصول به‌صورت خاص تنظیم و بررسی شوند تا فرآیند پوست‌گیری بهینه گردد. دمای اولیه محیط یکی از مؤثرترین عوامل در بهینه‌سازی فرآیند پوست‌گیری اهمی است. در پژوهشی گزارش دادند که ضریب نفوذ محلول NaOH در پوست گوجه‌فرنگی با افزایش دما از ۵۰ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد از 1.1×10^{-12} به 5.0×10^{-10} مترمربع بر ثانیه افزایش یافت که بیانگر اثر مستقیم دما بر تسهیل نفوذ شیمیایی و تسريع فرآیند پوست‌گیری است [۷۳]. قدرت میدان الکتریکی نیز در تعیین کیفیت و زمان فرآیند مؤثر است. در مطالعه‌ای مشاهده شد که افزایش قدرت میدان از ۹.۳ به ۱۲.۱ ولت بر سانتی‌متر، بسته به نوع محلول قلیایی (NaOH یا KOH) می‌تواند اثرات متفاوتی بر کیفیت پوست‌گیری و ترکیبات مغذی (مثل ویتامین C) داشته باشد [۵۶]. در مطالعه‌ای دیگر گزارش کردند که افزایش قدرت میدان در بازه ۴۲۶ تا ۶۳۸ ولت بر سانتی‌متر اثری در بهبود پوست‌گیری گلابی نداشت [۳۲]. گرمادهی اهمی از مزایای متعددی برخوردار است که از آن جمله می‌توان به سرعت بالا، کاهش مصرف مواد قلیایی، حفظ بافت و کاهش آسیب حرارتی اشاره کرد. این روش به دلیل اثر ترکیبی حرارتی و شیمیایی، در بسیاری از موارد امکان استفاده از غلظت‌های پایین‌تر قلیا را فراهم می‌کند. در نتیجه، ضمن حفظ کیفیت پوست‌گیری، مصرف کل مواد شیمیایی کاهش یافته و زمان تماس با ماده غذایی نیز به‌شدت کوتاه‌تر می‌شود [۳۸ و ۷۱]. با این حال، محدودیت‌هایی مانند خوردگی

^۷ Electroporation: ایجاد منافذ میکروسکوپی در غشای سلولی



الکترودها، هزینه تجهیزات، پیچیدگی طراحی سیستم، و مدیریت پسماندهای نیمه شیمیایی از چالش‌های مهم در توسعه صنعتی آن محسوب می‌شوند [۳۰].

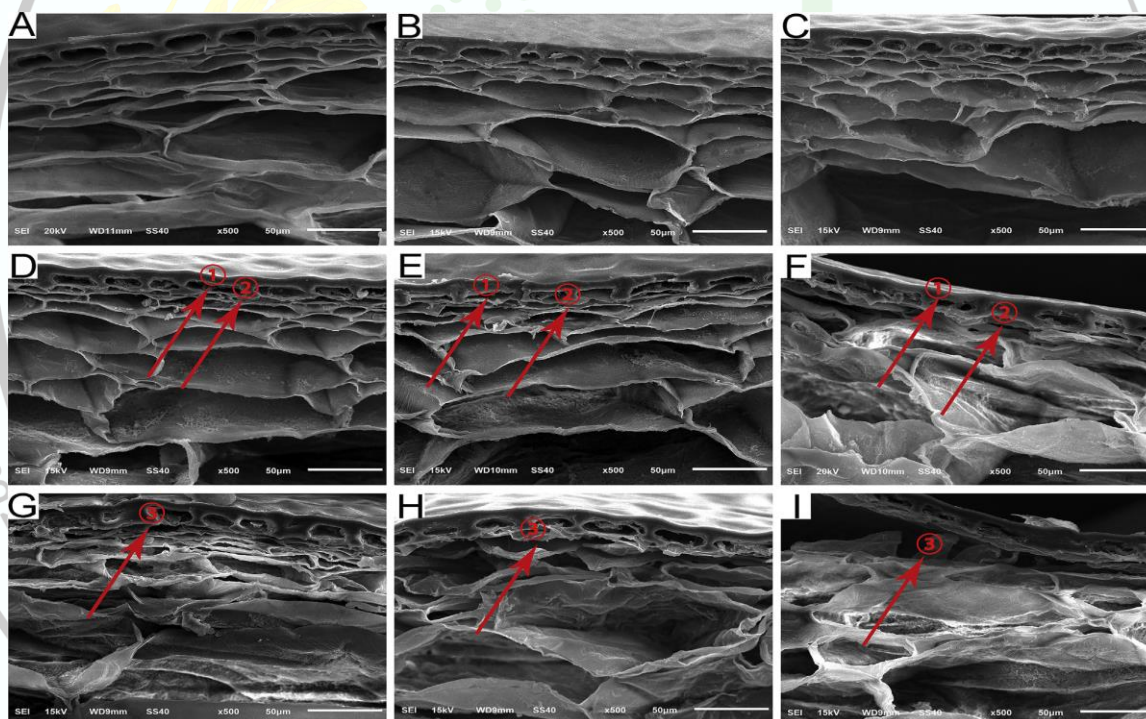
۲-۲-۳ میدان الکتریکی پالسی (PEF): در سال‌های اخیر، فناوری میدان الکتریکی پالسی (PEF) به‌عنوان یک روش غیر حرارتی مؤثر برای فرآوری مواد غذایی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. PEF با اعمال پالس‌های ولتاژ بالا در بازه‌های زمانی کوتاه، موجب نفوذپذیری انتخابی در غشای سلولی می‌شود که به آن الکتروپوراسیون گفته می‌شود [۴۷ و ۴۸]. این پدیده بدون آنکه آنزیم‌ها یا ترکیبات غذایی دچار تخریب شوند، امکان تسهیل انتقال جرم، تسریع استخراج مواد، یا تسهیل در پوست‌گیری را فراهم می‌آورد [۷۵]. مکانیزم دقیق اثر PEF در پوست‌گیری میوه‌ها به‌طور کامل شناسایی نشده است، اما مطالعات نشان می‌دهند که در اثر پالس‌های الکتریکی، ساختار دیواره سلولی دچار اختلال می‌شود و در نتیجه اتصال میان پوست و بافت داخلی میوه ضعیف می‌گردد [۳۸]. این تغییر ساختاری باعث می‌شود پوست، آسان‌تر و با نیروی کمتری از گوشت جدا شود. همچنین، بسته به شدت پالس، این تغییرات می‌تواند برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر باشد [۳۶]. پارامترهایی مانند شدت میدان الکتریکی، انرژی ورودی ویژه، مدت زمان پالس، ویژگی‌های بافتی محصول، اندازه، شکل و تخلخل محصول، نوع محیط اعمال میدان، و جهت‌گیری محصول نسبت به میدان، از عوامل تأثیرگذار در این روش هستند [۷۵ و ۵۹]. در یک مطالعه تجربی اثر PEF بر توانایی پوست‌گیری گوجه‌فرنگی و کیوی بررسی شد. در این پژوهش، میوه‌ها در بازه‌ای از انرژی ورودی (۰.۶ تا ۱۲.۶ کیلوژول بر کیلوگرم) تیمار شدند و نتایج آنها با روش‌های سنتی نظیر بلانچینگ (سفیدکردن) و پوست‌گیری با NaOH مقایسه گردید. در این مطالعه، گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با PEF در انرژی ۱.۲ تا ۵.۰ (کیلوژول بر کیلوگرم) امتیاز بصری پوست‌گیری ۴.۰ تا ۴.۹ کسب کردند که با پوست‌گیری قلیایی (۴.۹) و بلانچینگ (۴.۴) قابل مقایسه بود. برای کیوی نیز، این امتیاز بین ۳.۱ تا ۴.۹ گزارش شد. نتایج نشان داد که تیمار PEF حتی در مقادیر پایین انرژی نیز می‌تواند اثر چشمگیری بر تسهیل پوست‌گیری داشته باشد، بدون آنکه بافت دچار آسیب جدی شود. استفاده از PEF موجب کاهش چشمگیر نیرو شد؛ به‌طوری که در گوجه‌فرنگی این کاهش ۳۳ تا ۴۳ درصد و در کیوی بین ۷۰ تا ۸۳ درصد گزارش گردید. همچنین میزان ضایعات پوست‌گیری در گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با PEF در محدوده ۷.۱ تا ۸.۳ درصد قرار گرفت، درحالی‌که این میزان در روش‌های سنتی مانند قلیا و بلانچینگ به ترتیب ۱۰.۳ و ۹.۸ درصد بود [۳۳]. نکته قابل توجه این‌که برخلاف انتظار، افزایش بیشتر انرژی ورودی از محدوده ۳.۲ کیلوژول بر کیلوگرم به بالا، بهبود آماری قابل‌توجهی در عملکرد پوست‌گیری ایجاد نکرد. این یافته با نتایج [۳۷] نیز همخوانی دارد که نشان دادند رابطه‌ای خطی میان انرژی ورودی و کیفیت پوست‌گیری وجود ندارد. بنابراین، انتخاب دوز مناسب انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. در مجموع، فناوری PEF به‌عنوان جایگزینی پاک، کم‌مصرف، و با راندمان بالا برای روش‌های سنتی پوست‌گیری مطرح شده و می‌تواند با کاهش مصرف انرژی، ضایعات، و حفظ کیفیت نهایی، در زنجیره‌های فرآوری میوه نقش‌آفرینی کند [۷۵ و ۶۰].

۲-۲-۴ فراصوت (Ultrasound): لایه‌برداری با امواج فراصوت، یکی از فناوری‌های غیرحرارتی نوظهور در فرآوری محصولات کشاورزی است که به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و عملکرد مؤثر آن، توجه محققان را به خود جلب کرده است [۱۸ و ۲۵]. امواج فراصوت، با فرکانسی بین ۲۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز، از طریق پدیده‌هایی همچون کاویتاسیون، ایجاد حرارت موضعی، نیروهای برشی و تولید رادیکال‌های آزاد، می‌توانند به تخریب ساختارهای سلولی کمک کرده و انتقال جرم را در مواد غذایی بهبود بخشند [۲۸ و ۵۵]. پدیده کاویتاسیون فراصوت که شامل ایجاد، رشد و فروپاشی میکروحباب‌ها در محیط مایع است، عامل کلیدی در تسهیل جداسازی پوست میوه‌ها محسوب می‌شود. انرژی حاصل از انفجار حباب‌ها باعث ایجاد فشارهای بالا، میکروجت‌های سریع، و نیروهای برشی می‌شود که ساختار دیواره سلولی را تخریب می‌کنند و امکان جدا شدن لایه اپیدرمی و هیپودرم را فراهم می‌سازند [۲۸ و ۱۲]. در کاربردهای صنعتی، فراصوت اغلب به‌صورت ترکیبی با محلول‌های قلیایی به کار گرفته می‌شود. دو رویکرد اصلی در این زمینه وجود دارد: اول، غوطه‌ورسازی مستقیم ماده خام در محلول قلیایی داغ همراه با امواج فراصوت؛ دوم، استفاده از فراصوت پس از مرحله قلیایی در محیطی از آب داغ [۲۸ و ۵۸]. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که استفاده ترکیبی از قلیا و فراصوت می‌تواند میزان مصرف قلیا را کاهش داده و درعین حال کارایی پوست‌گیری را افزایش دهد. برای نمونه در پژوهشی،



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

روشی نوآورانه و دومرحله‌ای برای پوست‌گیری گوجه‌فرنگی پیشنهاد شد که به‌منظور کاهش مصرف مواد قلیایی و بهبود کیفیت محصول طراحی شده بود. در مرحله اول، گوجه‌فرنگی‌ها به مدت ۳۰ ثانیه در محلول قلیایی با غلظت ۴ درصد (w/v^A) سود سوزآور (NaOH) در دمای ۹۷ درجه سلسیوس قرار گرفتند. سپس، نمونه‌ها به مدت‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ ثانیه در محلول آب گرم (۷۰ درجه سلسیوس) تحت تیمار فراصوت با شدت ۳۱.۹۷ وات بر لیتر گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که این روش دومرحله‌ای، بازده پوست‌گیری ۱۰۰ درصد ایجاد کرده و در مقایسه با روش متداول قلیایی (۱۰ درصد NaOH به مدت ۴۵ ثانیه در ۹۷ درجه سلسیوس)، کاهش قابل‌توجهی در مصرف قلیا به همراه داشت. از منظر کیفی، گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با فراصوت قرمزتر و دارای محتوای لیکوپن بالاتری بودند. همچنین از مزمون‌های ساختاری با SEM (شکل ۶) تأیید کردند که در تیمار فراصوت، جداسازی لایه اپیدرمی از لایه هیپودرمی به‌واسطه پدیده کاویتاسیون رخ داده است [۲۸]. با این حال، کاربرد صنعتی این فناوری نیز با محدودیت‌هایی همراه است. برای مثال، گوجه‌فرنگی‌هایی که با این روش تیمار شدند، در غلظت‌های پایین قلیا عملکرد مناسبی داشتند، اما عدم ایجاد شکاف قابل‌توجه در پوست باعث نیاز به پوست‌گیری دستی می‌شد [۲۸ و ۵۸]. از سوی دیگر، شدت کاویتاسیون بافاصله گرفتن از ناحیه نزدیک به نوک پروب صوتی کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند فرآیند پوست‌گیری را به‌صورت غیرهمگن درآورد [۵۴]. همچنین، حضور دمای بالا و قلیا در محلول، می‌تواند بر دوام تجهیزات اولتراسونیک اثر منفی بگذارد. به‌کارگیری موفق این روش نیازمند تنظیم دقیق پارامترهایی نظیر غلظت قلیا، زمان فراصوت، دما و شدت موج صوتی است تا علاوه بر بهبود کارایی پوست‌گیری، از آسیب به بافت محصول و تجهیزات جلوگیری شود [۲۸ و ۶۸].



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی مقطعی از پریکارپ گوجه‌فرنگی تازه (A) و نمونه‌های تیمار شده با محلول قلیایی ۴ درصد (w/v) در دمای ۹۷ درجه سلسیوس به مدت‌های مختلف: ۱۰ ثانیه (B)، ۱۵ ثانیه (C)، ۲۰ ثانیه (D)، ۲۵ ثانیه (E) و ۳۰ ثانیه (F). همچنین نمونه‌هایی که ابتدا به مدت ۳۰ ثانیه تحت همین تیمار قلیایی قرار گرفته‌اند و سپس به مدت ۳۰ (G)، ۴۰ (H) و ۵۰ ثانیه (I) تحت تیمار فراصوت با شدت ۳۱.۹۷ وات بر لیتر در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفته‌اند نیز به تصویر کشیده شده‌اند. فلش‌های قرمز نشان‌دهنده (۱) فروپاشی سلول‌های اپیدرمی و هیپودرمی (۲) تخریب دیواره‌های سلولی در لایه هیپودرمی ناشی از تماس با قلیا، و (۳) جداسازی لایه اپیدرمی از ساختار زیرین به‌واسطه پدیده کاویتاسیون حاصل از اولتراسوند هستند [۲۸].

^A حجم/جرم = weight/volume



۲-۳ روش های ترکیبی: با توجه به چالش های موجود در روش های سنتی و نوین پوست گیری، پژوهشگران تلاش کرده اند با ترکیب دو یا چند فناوری، کارایی فرآیند پوست گیری را ارتقا دهند. همان طور که در بخش های پیشین توضیح داده شد، بسیاری از فناوری های نوین مانند امواج فراصوت، گرمادهی اهمی و میدان الکتریکی پالسی به تنهایی توانایی کافی برای جداسازی کامل پوست از میوه ها یا سبزیجات را ندارند. به همین دلیل، در سال های اخیر رویکردهایی مبنی بر تلفیق این فناوری ها با روش های مرسوم شیمیایی یا حرارتی، با هدف بهره گیری از اثرات هم افزایی و بهبود عملکرد پوست گیری، توسعه یافته اند [۷۵ و ۳۸]. در ادامه، به منظور ارائه تصویری روشن تر از پیشرفت های انجام شده در این حوزه، نمونه هایی از مطالعاتی که با استفاده از روش های ترکیبی به بهبود فرآیند پوست گیری پرداخته اند، در قالب جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است که بخش قابل توجهی از تحقیقات انجام شده در این حوزه بر روی میوه گوجه فرنگی متمرکز بوده است. پوست گیری موفق بدون آسیب به بافت داخلی گوجه فرنگی، چالش مهمی است که این محصول را به مدلی ایده آل برای ارزیابی و توسعه روش های نوین و ترکیبی پوست گیری تبدیل کرده است.

۳- مطالعات انجام شده:

فرآیند پوست گیری در میوه های هسته دار مانند آلو، هلو، زردآلو و... نقش مهمی در بهبود کیفیت ظاهری و آماده سازی این محصولات برای مصارف تازه خوری یا فرآوری صنعتی دارد. در سال های اخیر، مطالعات متعددی به معرفی و ارزیابی روش های مختلف پوست گیری این گروه از میوه ها پرداخته اند. در این بخش، به منظور ارائه تصویری جامع از پیشرفت های موجود، نتایج پژوهش های انجام شده در زمینه پوست گیری میوه های هسته دار، شامل نوع محصول، روش پوست گیری به کاررفته، پارامترهای کلیدی فرآیند و نتایج حاصل، در قالب جدول ۲ مرور و ارائه شده است. در حالی که مطالعات جهانی درباره پوست گیری میوه های هسته دار عمدتاً بر محصولاتی مانند هلو، شلیل و زردآلو متمرکز بوده است، فرآیند پوست گیری آلو عمدتاً در ایران از اهمیت بالایی برخوردار است. به ویژه در فرآوری محصولاتی نظیر آلو خشک شده پوست گیری نقش تعیین کننده ای در کیفیت نهایی محصول ایفا می کند. در سایر کشورها، معمولاً آلو بدون پوست گیری مستقیم خشک یا فرآوری می شود. در ادامه به مطالعاتی در مورد پوست گیری آلو در ایران اشاره می شود. در مطالعه ای به ارزیابی پوست گیری آلو بخارا به روش عملیات حرارتی در مقیاس آزمایشگاهی پرداخت. در این پژوهش، پارامترهایی مانند دما (۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد)، فشار بخار (۲ تا ۴ بار)، و زمان فرآیند (۱۰ تا ۳۰ ثانیه) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در فشار بخار ۳ بار و زمان ۲۰ ثانیه، عملکرد پوست گیری بهینه بود و بیش از ۹۵ درصد از پوست جدا شد، در حالی که کیفیت داخلی محصول نیز حفظ گردید [۳]. در پژوهشی دیگر با بررسی تیمارهای مختلف پوست گیری (آب نمک، آب جوش، بخار آب) و روش های متفاوت خشک کردن (سنتی، کابینتی صنعتی، کابینتی غیرفعال خورشیدی)، نشان دادند که تیمار آب نمک به مدت ۱۵ ساعت به همراه خشک کردن صنعتی بهترین نتایج را در حفظ ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی اکسیدانی آلو خشک شده داشته است. این نتایج تأکید بر اهمیت انتخاب صحیح روش پوست گیری در بهبود کیفیت نهایی آلو خشکبازی دارند [۵]. در پژوهشی، فرآیندهای پوست گیری، دوددهی و خشک کردن آلو بخارا رقم سانتوروزا به منظور بهینه سازی شرایط فرآوری مورد بررسی قرار گرفت. روش های پوست گیری شامل غوطه وری در آب نمک ۷۰ درصد، تیمار با محلول سود ۱.۵ درصد جوشان به مدت ۳۰ ثانیه و بخاردهی بودند. علاوه بر پوست گیری، تیمارهای مختلف جلوگیری از قهوه ای شدن آنزیمی شامل سوزاندن گل گوگرد و غوطه وری در محلول متابی سولفیت سدیم ۲.۵ درصد و همچنین دو روش خشک کردن ارزیابی شد. نتایج نشان داد که استفاده از سود داغ در فرآیند پوست گیری تأثیر معنی داری بر تغییرات pH، میزان مواد جامد محلول و اسیدیته آلو داشت [۴].



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

جدول ۱. مطالعاتی از روش های پوست گیری ترکیبی

مرجع	نتایج	پارامترهای کلیدی	روش	محصول
[۶۹]	مدول های دینامیکی (ذخیره و اتلاف) پوست گوجه فرنگی تحت اثر هر دو تیمار نسبت به نمونه تازه تغییر کرد، دمای انتقال پوست در تیمارهای IR بین ۶۳-۷۲ درجه سلسیوس و در تیمارهای قلیا بین ۷۵-۴۳ درجه سلسیوس بود (کمتر از نمونه کنترل تازه)، مدول های ذخیره و اتلاف در پوست های تیمار شده با IR بالاتر و در تیمار شده با قلیا پایین تر از کنترل تازه بود، پوست های تیمار شده با IR رفتار کشسانی بیشتری داشتند در حالی که پوست های تیمار شده با قلیا نرم تر شدند.	تیمار با NaOH ۱۰ درصد در دما ۹۶ درجه سلسیوس برای زمان های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ ثانیه، تیمار با مادون قرمز دوطرفه با فواصل برابر با ۹۰ میلی متر و سرعت چرخش ۱ دور بر دقیقه.	قلیا داغ و مادون قرمز	گوجه فرنگی
[۶۸]	بالاترین نمره سهولت پوست گیری (۴.۱ از ۵) بین همه روش های مقایسه شده، ضخامت پوست جدا شده و افت وزن مناسب و کمتر نسبت به روش های سنتی، کیفیت رنگ و مواد مغذی حفظ شد، کاهش اثرات منفی زیست محیطی نسبت به روش قلیایی، میوه های پوست گیری شده با ULP ^۹ کیفیت مناسبی از نظر ظاهر و طعم داشتند، افت نسبی بافت در مقایسه با سایر روش ها مشاهده شد، اما قابل قبول بود.	غلظت سود: ۰.۵۰ مولار، دمای محلول: ۹۰ درجه سلسیوس، توان فراصوت: ۲۷۰ وات بر لیتر، زمان فرآیند: ۹۰ ثانیه، فرکانس اولتراسوند: ۴۰ کیلوهرتز.	اولتراسوند و سود داغ	هلو
[۲۸]	دستیابی به ۱۰۰ درصد پوست گیری، افزایش معنی دار بازده پوست گیری نسبت به روش سنتی (۹۲.۸ درصد در مقابل ۸۲.۷ درصد)، کاهش مصرف سود (از ۱۰ درصد به ۴ درصد)، افزایش قابل توجه محتوای لیکوپن، کاهش ضایعات پوست گیری نسبت به روش سنتی.	قلیا ۴ w/v، ۹۷ درجه سانتی گراد، ۳۰ ثانیه، فراصوت ۳۱.۹۷ وات بر لیتر، ۷۰ درجه سانتی گراد، ۵۰ ثانیه.	قلیا و اولتراسوند	گوجه فرنگی
[۵۳]	افزایش شدید استخراج کاروتنوئیدها (مثلاً استخراج لیکوپن تا ۳۷.۹ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه پوست در دمای ۶۰ درجه سلسیوس)، افزایش شاخص فعالیت آنتی اکسیدانی نسبت به نمونه کنترل، افزایش نفوذپذیری غشای سلولی که باعث بهبود استخراج رنگ دانه های طبیعی شد، مصرف انرژی کمتر نسبت به بلانچینگ بخار.	شدت میدان الکتریکی: ۰.۵ (کیلوولت بر سانتی متر)، انرژی ویژه: ۱ (کیلوژول بر کیلوگرم)، تعداد پالس: ۱۰ هرتز با عرض ۲۰ میکروثانیه، دمای اولیه میوه ها: ۲۰ درجه سلسیوس؛ با بخار: دما: ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی گراد، زمان: ۱ دقیقه.	(PEF) و بلانچینگ با بخار	گوجه فرنگی
[۳۲]	راندمان پوست گیری بالای ۹۵ درصد، کیفیت پوست عالی با حداقل آسیب به میوه، کاهش مصرف سود از ۱۸ درصد (روش سنتی) به ۲-۳ درصد، بهبود جدایی پوست و کاهش هزینه های زیست محیطی.	غلظت سود: ۲ درصد (بهینه)، ۳ درصد؛ شدت میدان: ۵۳۲ ولت بر متر (NaOH) ۲ درصد، ۴۲۶ و ۴۷۹ ولت بر متر (NaOH) ۲ درصد؛ دمای سود: حدود ۱۰۱-۹۰ درجه سلسیوس؛ زمان: ۶۰ ثانیه.	گرمادهی اهمی و قلیا	گلایی
[۷۲]	کیفیت پوست گیری معادل یا بهتر از پوست گیری با ۷ درصد سود سنتی، کاهش وزن گوجه در حد پوست گیری سنتی (کمتر از ۱۰ درصد)، نیاز به غلظت بسیار کمتر سود (فقط ۰.۵ درصد به جای ۷ درصد)، حفظ بهتر بافت و سفتی میوه، کاهش قابل توجه اثرات زیست محیطی به دلیل مصرف کمتر مواد شیمیایی.	غلظت (KOH): ۰.۵ درصد، غلظت (NaCl): ۰.۰۱ درصد، شدت میدان الکتریکی: ۲۰۲۰ ولت بر متر، زمان تیمار اهمی: ۱ دقیقه، دمای نهایی محیط: نزدیک به ۱۰۰ درجه سلسیوس، در تیمار سفت کنندگی (Post-treatment) برای افزایش سفتی؛ محلول: ۲ درصد CaCl ₂ ؛ شدت میدان اهمی در مرحله پس تیمار: ۴۰۳ یا ۴۸۴ ولت بر متر؛ زمان تیمار سفت کنندگی: ۵ دقیقه.	گرمادهی اهمی و سود رقیق	گوجه فرنگی

^۹ Ultrasound-Assisted Lye Peeling



جدول ۲. مطالعاتی از پوست گیری میوه های هسته‌دار

موضوع	روش	پارامترهای کلیدی	نتایج	مرجع
هلو (رقم) Amarillo (Jarillo)	قلیا	غلظت سود: ۱.۶، ۳.۲، ۵.۶ و ۷.۳ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر؛ دمای محلول: ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۷ درجه سلسیوس؛ زمان تیمار: ۰ تا ۸ دقیقه (در بازه‌های ۱ دقیقه‌ای)؛ ضخامت پوست: ۰.۰۵-۰.۰۲ سانتی‌متر.	توسعه مدل ریاضی برای پیش‌بینی زمان پوست‌گیری بر اساس دما، غلظت سود و ضخامت پوست، تهیه نقشه‌های پوست‌گیری برای شرایط عملیاتی مختلف، تغییرات بافت به‌عنوان تابعی از زمان و دمای پوست‌گیری مدل‌سازی شد و امکان بهینه‌سازی شرایط پوست‌گیری برای کاهش افت کیفیت میوه.	[۸]
هلو کلینگستون	IR	فاصله المنت‌ها: ۹۰، ۱۱۵ و ۱۴۰ میلی‌متر؛ زمان گرمادهی: ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ ثانیه؛ دمای سطح: تا حدود ۱۴۵ درجه سلسیوس؛ سایز میوه: کوچک (۶۰±۲ میلی‌متر)، متوسط (۶۵±۲ میلی‌متر)، بزرگ (۷۰±۲ میلی‌متر)؛ مقایسه با روش سود داغ (KOH): ۳ گرم بر میلی‌لیتر در ۹۵ درجه سلسیوس.	بهترین عملکرد پوست‌گیری با ۱۸۰ ثانیه گرمادهی در فاصله ۹۰ یا ۱۱۵ میلی‌متر، Peelability: بیش از ۸۰ درصد، Peeling yield: بیش از ۹۰ درصد، کیفیت رنگ و بافت میوه‌های پوست‌گیری شده با IR نزدیک به پوست‌گیری قلیایی بود، رطوبت از دست‌رفته در روش IR کمتر از پوست‌گیری قلیایی، تغییرات میکروسکوپی نشان داد پوست‌گیری با IR ناشی از انبساط حرارتی و تخریب سلول‌های نزدیک به پوست است.	[۴۳]
زردآلو، شلیل، هلو	آنزیمی	دما: زردآلو: ۴۵ درجه سلسیوس؛ شلیل: ۴۴-۴۷ درجه سلسیوس؛ هلو: ۴۱-۴۶ درجه سلسیوس. زمان: زردآلو: ۶۰-۵۷ دقیقه؛ شلیل: ۵۸-۵۳ دقیقه؛ هلو: ۵۴-۴۴ دقیقه. pH: زردآلو: ۳.۵-۳؛ شلیل: ۴.۱-۳.۵؛ هلو: ۴.۵-۳.۶، غلظت آنزیم: بین ۰.۷ تا ۰.۹ میلی‌لیتر آنزیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول، معادل ۰.۷ درصد تا ۰.۹ درصد حجمی/حجمی.	راندمان پوست‌گیری در شرایط بهینه بین ۹۵ تا ۱۰۰ درصد، جذب محلول آنزیم کمتر از ۵ درصد وزن میوه، حفظ بهتر بافت میوه نسبت به روش‌های شیمیایی، نیاز به دمای متوسط (حدود ۴۵ درجه سلسیوس) نسبت به بخار یا سود داغ، عدم نیاز به تیمارهای شدید حرارتی یا شیمیایی، اثبات امکان صنعتی‌سازی پوست‌گیری آنزیمی برای میوه‌های هسته‌دار.	[۶۶]
هلو زرد (رقم) Anhui Dangsha (Jinxu)	IR	فاصله تابش: ۷۶ میلی‌متر، زمان گرمادهی: ۲۵۶ ثانیه، توان تابش: ۱۰۰۰ وات، دمای سطح میوه: ۲۱۷ درجه سلسیوس، پس از گرمادهی، غوطه‌وری در محلول سدیم کربنات ۰.۸ مولار برای کمک به جداسازی پوست.	کاهش زمان پوست‌گیری به حدود ۱۵۳ ثانیه، افت سفتی : حدود ۳.۷×۱۰ ^{-۵} پاسکال (میزان قابل قبول صنعتی)، پوست‌گیری کامل بدون آسیب قابل توجه به بافت، مقایسه با روش‌های سنتی: کاهش خطرات زیست‌محیطی و بهبود کیفیت نهایی، مدل ریاضی چندمتغیره توسعه داده شد تا بهینه‌ترین پارامترهای فرآیند پیش‌بینی شود، اختلاف بین نتایج پیش‌بینی‌شده و آزمایش کمتر از ۵ درصد، نشان‌دهنده قابلیت اطمینان مدل.	[۱۹]
هلو (ارقام) Redhaven Elegant و Lady و شلیل (رقم) Stark Red (Gold)	قلیا	غلظت سود (NaOH): ۷ درصد، دمای محلول سود: ۸۰ درجه سلسیوس، مدت زمان غوطه‌وری: ۳۰ ثانیه، پس از پوست‌گیری: شستشو در محلول ۱ درصد اسید سیتریک، فرآیند تبدیل به پوره و نکتار در دمای کنترل‌شده با افزودن اسید آسکوربیک.	بهبود رنگ محصولات نسبت به روش مرسوم، کاهش محتوای فنولیک و کاروتنوئیدی نسبت به میوه‌های فرآوری نشده (به دلیل حذف پوست)، حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشابه با فرآیند سنتی به دلیل افزودن اسید آسکوربیک، مدل‌سازی سینتیکی تغییر رنگ و کاهش اسید آسکوربیک طی نگهداری در دماهای ۲۳ و ۳۷ درجه سلسیوس.	[۴۱]



۴- نتیجه گیری

فرآیند پوست گیری، به عنوان یکی از مراحل کلیدی در آماده سازی میوه های هسته دار به ویژه آلو، تأثیر مستقیمی بر کیفیت نهایی، ارزش تغذیه ای و بازاریابی این محصولات دارد. در این مقاله، با مروری جامع بر روش های مرسوم و نوین پوست گیری و بررسی مطالعات انجام شده، اهمیت انتخاب روش بهینه متناسب با ویژگی های فیزیولوژیکی میوه های هسته دار مورد تأکید قرار گرفت. بررسی ها نشان می دهد که اگرچه روش های سنتی نظیر آب داغ، بخار آب و قلیا همچنان کاربرد فراوانی دارند، اما محدودیت هایی چون آسیب به بافت، مصرف بالای انرژی و مسائل زیست محیطی باعث شده اند که روش های نوینی مانند مادون قرمز، گرمادهی اهمی، میدان الکتریکی پالسی و فراصوت توسعه یابند. در این میان، استفاده از روش های ترکیبی نیز به منظور بهره گیری از اثرات هم افزایی و جبران ضعف های فناوری های منفرد مورد توجه ویژه قرار گرفته است. مطالعات داخلی انجام شده بر روی پوست گیری آلو در ایران نشان می دهد که تاکنون بیشتر پژوهش ها بر بهینه سازی روش های سنتی تمرکز داشته اند و روش های نوین کمتر به کار گرفته شده اند. این در حالی است که با توجه به سهم بالای تولید آلو در ایران و اهمیت این محصول در صنایع فرآوری، توسعه روش های نوآورانه و پایدار در این حوزه ضروری به نظر می رسد. همچنین، نیاز به مطالعات بیشتری برای بررسی رفتار پوست میوه های بومی نظیر آلوهای ایرانی با روش های نوین وجود دارد تا امکان ارتقای کیفیت فرآوری و کاهش ضایعات فراهم گردد.

منابع

- [۱] Maghsoudi, Sh. (۲۰۱۶). *Technology of dried fruits*. Tehran: Agricultural Research, Education and Extension Organization Press. (In Persian)
- [۲] Ministry of Agriculture Jihad. (۲۰۲۳). *Report on area, production, and yield of plum by province in 2023*. Ministry of Agriculture Jihad. <https://www.aj.ir> (In Persian)
- [۳] Momenipour, H. (۲۰۱۴). *Evaluation of plum (Aloo Bokhara) peeling using thermal treatment (saturated steam)* (Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad). (In Persian)
- [۴] Azarpajouh, E. (۲۰۰۳). Optimization of peeling, fumigation, and drying methods of plum (Santorozza cultivar). *Journal of Agricultural Engineering Research*, ۴(۱۶), ۱۳-۲۸. SID. <https://sid.ir/paper/۲۷۹۹۳/fa> (In Persian)
- [۵] Morshedloo, M., Alinajad, M., Mehrparvar, M., & Mardani, S. (۲۰۱۹). Effect of peeling and drying methods on the biochemical properties of dried plum. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, ۱۶(۹۱), ۲۹-۴۳. (In Persian)
- [۶] Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., et al. (۲۰۱۵). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Res. Int.* ۷۷, ۷۷۳-۷۹۸. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015>
- [۷] Barry-Ryan, C., & O'Beirne, D. (۲۰۰۰). Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrot slices. *International Journal of Food Science & Technology*, ۳۵(۲), ۲۴۳-۲۵۴. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00335.x>
- [۸] Barreiro, J. A., Sandoval, A. J., Rivas, D., & Rinaldi, R. (۲۰۰۷). Application of a mathematical model for chemical peeling of peaches (*Prunus persica* l.) variety Amarillo Jarillo. *LWT-Food Science and Technology*, ۴۰(۴), ۵۷۴-۵۷۸. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.016>
- [۹] Bakare, H. A., Adegunwa, M. O., Osundahunsi, O. F., & Olusanya, J. O. (۲۰۱۱). Optimisation of lye-peeling of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) using response surface methodology. *Journal of Natural Sciences, Engineering and Technology*, ۱۰(۲), ۲۳-۳۲.



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

- [۱۰] Bishai, M., Singh, A., Adak, S., Prakash, J., Roy, L., & Banerjee, R. (۲۰۱۵). Enzymatic peeling of potato: A novel processing technology. *Potato Research*, ۵۸, ۳۰۱-۳۱۱.
- [۱۱] Caceres, L. G., Andrade, J. S., & Silva Filho, D. F. (۲۰۱۲). Effects of peeling methods on the quality of cubiu fruits. *Food Science and Technology*, 32(۲), ۲۵۵-۲۶۰.
- [۱۲] Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (۲۰۱۷). Ultrasound assisted extraction of food and natural products: Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, ۳۴, ۵۴۰-۵۶۰. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.030>
- [۱۳] Cengiz, M. F., Certel, M., Karakaş, B., & Göçmen, H. (۲۰۰۷). Residue contents of captan and procymidone applied on tomatoes grown in greenhouses and their reduction by duration of a pre-harvest interval and post-harvest culinary applications. *Food Chemistry*, ۱۰۰, ۱۶۱۱-۱۶۱۹.
- [۱۴] Dang, T. T., Gringer, N., Jessen, F., Olsen, K., Bøknæs, N., Nielsen, P. L., et al. (۲۰۱۸). Emerging and potential technologies for facilitating shrimp peeling: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, ۴۵, ۲۲۸-۲۴۰.
- [۱۵] Das, D. J., & Barringer, S. A. (۲۰۰۶). Potassium hydroxide replacement for lye (sodium hydroxide) in tomato peeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, ۳۰(۱), ۱۵-۱۹. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-45۴۹.۲۰۰۵.۰۰۴۳.x>
- [۱۶] Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., et al. (۲۰۱۹). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, ۵۹(۹), ۱۴۰۸-۱۴۳۲.
- [۱۷] Deng, L. Z., Sutar, P. P., Mujumdar, A. S., Tao, Y., & Xiao, H. W. (۲۰۲۱). Thermal decontamination technologies for microorganisms and mycotoxins in low-moisture foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, ۱۲(۱), ۲۸۷-۳۰۵.
- [۱۸] Dias, A. L. B., Aguiar, A. C., & Rostagno, M. A. (۲۰۲۱). Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound: Current status and trends. *Ultrasonics Sonochemistry*, ۷۴, Article ۱۰۵۵۸۴.
- [۱۹] Ding, T., Song, W., Wang, J., Wu, J., Wang, M., & Zhou, D. (۲۰۲۱). Infrared radiation peeling experiment of yellow peach and optimization of technological parameters. *Food Science and Technology (Campinas)*, Ahead of Print. <https://doi.org/10.1۵۹۰/fst.۶۸۳۲۱>
- [۲۰] Ertekin, C., Gözlekci, S., Kabas, O., Sönmez, S., & Akinci, I. (۲۰۰۶). Some physical, pomological and nutritional properties of two plum (*Prunus domestica* L.) cultivars. *Journal of Food Engineering*, ۷۵(۴), ۵۰۸-۵۱۴. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.۲۰۰۵.۰۴.۰۱۵>
- [۲۱] Emadi, B., Kosse, V., & Yarlagadda, P. K. D. V. (۲۰۰۷). Abrasive peeling of pumpkin. *Journal of Food Engineering*, ۷۹(۲), ۶۴۷-۶۵۶. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.۲۰۰۶.۰۱.۰۷۹>
- [۲۲] Floros, J. D., & Chinnan, N. S. (۱۹۸۸). Microstructural changes during steam peeling of fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, ۵۳(۳), ۸۴۹-۸۵۴.
- [۲۳] Floros, J. D., & Chinnan, M. S. (۱۹۹۰). Diffusion phenomena during chemical (NaOH) peeling of tomatoes. *Journal of Food Science*, ۵۵(۲), ۵۵۲-۵۵۳. <https://doi.org/10.1111/j.۱۳۶۵-۲۶۲۱.۱۹۹۰.tb.۶۸۰۸.x>
- [۲۴] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (۲۰۲۱). Major food and agricultural commodities and producers. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

- [۲۵] Fu, X., Belwal, T., Cravotto, G., & Luo, Z. (۲۰۲۰). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*, ۶۰, Article ۱۰۴۷۲۶.
- [۲۶] Garrote, R., Silva, E., & Bertone, R. (۲۰۰۰). Effect of thermal treatment on steam peeled potatoes. *Journal of Food Engineering*, ۴۵(۱), ۶۷-۷۶.
- [۲۷] Garcia, E., & Barrett, D. M. (۲۰۰۶). Peelability and yield of processing tomatoes by steam or lye. *Journal of Food Processing and Preservation*, ۳۰(۱), ۳-۱۴.
- [۲۸] Gao, R., Ye, F., Lu, Z., Wang, J., Shen, X., & Zhao, G. (۲۰۱۸). A novel two-step ultrasound post-assisted lye peeling regime for tomatoes: Reducing pollution while improving product yield and quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, ۴۵, ۲۶۷-۲۷۸.
- [۲۹] Gavahian, M., & Sastry, S. K. (۲۰۲۰). Ohmic-assisted peeling of fruits: Understanding the mechanisms involved, effective parameters, and prospective applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, ۱۰۶, ۳۴۵-۳۵۴. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.027>
- [۳۰] Gavahian, M., Tiwari, B. K., Chu, Y. H., Ting, Y., & Farahnaky, A. (۲۰۱۹). Food texture as affected by ohmic heating: Mechanisms involved, recent findings, benefits, and limitations. *Trends in Food Science & Technology*, ۸۶, ۳۲۸-۳۳۹. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.022>
- [۳۱] Gómez-López, M., García-Quiroga, M., Arboñes-Macínheira, E., Vázquez-Oderiz, M. L., & Romero-Rodríguez, M. A. (۲۰۱۴). Comparison of different peeling systems for kiwifruit (*Actinidia deliciosa*, cv Hayward). *International Journal of Food Science and Technology*, ۴۹(۱), ۱۰۷-۱۱۳.
- [۳۲] Gupta, S., & Sastry, S. K. (۲۰۱۸). Ohmic heating assisted lye peeling of pears. *Journal of Food Science*, ۸۳(۵), ۱۲۹۲-۱۲۹۸. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14116>
- [۳۳] Giancaterino, M., & Jaeger, H. (۲۰۲۳). Impact of pulsed electric fields (PEF) treatment on the peeling ability of tomatoes and kiwi fruits. *Frontiers in Food Science and Technology*, ۳, ۱۱۵۲۱۱.
- [۳۴] Huang, D., Yang, P., Tang, X., Luo, L., & Sunden, B. (۲۰۲۱). Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science & Technology*, ۱۱۰, ۷۶۵-۷۷۷.
- [۳۵] Kaleoğlu, M., Bayındırlı, L., & Bayındırlı, A. (۲۰۰۴). Lye peeling of 'Tombul' hazelnuts and effect of peeling on quality. *Food and Bioprocess Technology*, ۸۲(۳), ۲۰۱-۲۰۶. <https://doi.org/10.1007/s11467-009-9184-4>
- [۳۶] Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., & Schoessler, K. (۲۰۱۱). Emerging technologies in food processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, ۲, ۲۰۳-۲۳۵. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.10.23.08.124129>
- [۳۷] Koch, Y., Witt, J., Lammerskitten, A., Siemer, C., & Toepfl, S. (۲۰۲۲). The influence of pulsed electric fields (PEF) on the peeling ability of different fruits and vegetables. *Journal of Food Engineering*, ۳۲۲, ۱۱۰۹۳۸. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.11.038>
- [۳۸] Kohli, D., Arora, S., Kumar, M., Kaur, M., & Kaur, P. (۲۰۲۱). Advances in peeling techniques for fresh produce: A review. *Food Reviews International*, ۳۹(۱), ۱-۲۳. <https://doi.org/10.1080/875009129.2021.1876666>
- [۳۹] Kohli, D., Shahi, N. C., & Kumar, A. (۲۰۱۸). Drying kinetics and activation energy of asparagus root (*Asparagus racemosus* Wild.) for different methods of drying. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, ۶(۱), ۱۹۱-۲۰۲. <http://dx.doi.org/10.12944/crnfsj.6.1.22>



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

- [٤٠] Kumar, V., Chavan, S. M., Jain, S. K., Salvi, B. L., Jain, N. K., Kumar, A., & Meena, K. K. (٢٠١٩). Peeling of tough-skinned fruits and vegetables: A review. *International Journal of Chemical Studies*, ٧(٢), ١٨٢٥-١٨٢٩.
- [٤١] Lavelli, V., Pompei, C., & Casadei, M. A. (٢٠٠٩). Quality of nectarine and peach nectars as affected by lye-peeling and storage. *Food Chemistry*, ١١٥(٤), ١٢٩١-١٢٩٨.
- [٤٢] Li, X., Pan, Z., Atungulu, G. G., Zheng, X., Wood, D., Delwiche, M., et al. (٢٠١٤). Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, ٢١, ١٢٣-١٣٠.
- [٤٣] Li, X., Zhang, A., Atungulu, G. G., Delwiche, M., Milczarek, R., Wood, D., ... & Pan, Z. (٢٠١٤). Effects of infrared radiation heating on peeling performance and quality attributes of clingstone peaches. *LWT-Food Science and Technology*, 55(١), ٢٤-٤٢.
- [٤٤] Li, X., & Pan, Z. (٢٠١٤). Dry-peeling of tomato by infrared radiative heating: Part I. Model development. *Food and Bioprocess Technology*, ٧(٧), ١٩٩٦-٢٠٠٤.
- [٤٥] Liu, F., Osman, A., Yusof, S., & Ghazali, H. M. (٢٠٠٥). Effects of enzymeaided peeling on the quality of local mandarin (*Citrus reticulata* B.) ١٦ of ١٨ KOHLI ET AL. segments. *Journal of Food Processing and Preservation*, ٢٨(٥), ٢٢٦-٢٤٧. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.21145.x>
- [٤٦] Lu, Z., Wang, J., Gao, R., Ye, F., & Zhao, G. (٢٠١٩). Sustainable valorisation of tomato pomace: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, ٨٦, ١٧٢-١٨٧.
- [٤٧] Mañnas, P., & Vercet, A. (٢٠٠٦). Effect of PEF on enzymes and food constituents. In J. Raso & V. Heinz (Eds.), *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry* (pp. [pages if known]). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-31122-7_5
- [٤٨] Nowosad, K., Sujka, M., & Pankiewicz, U. (٢٠٢١). The application of PEF technology in food processing and human nutrition. *Journal of Food Science and Technology*, ٥٨, ٢٩٧-٤١١. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04512-4>
- [٤٩] Pagan, A., Conde, J., Ibarz, A., & Pagan, J. (٢٠١٠a). Albedo hydrolysis modelling and digestion with reused effluents in the enzymatic peeling process of grapefruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, ٩٠(١٤), ٢٤٣٣-٢٤٣٩. <https://doi.org/10.1002/jsfa.٤١٠٣>
- [٥٠] Pagan, A., Conde, J., Pagan, J., & Ibarz, A. (٢٠١١). Lemon peel degradation modeling in the enzymatic peeling process. *Journal of Food Process Engineering*, ٣٤(٢), ٢٨٣-٢٩٧.
- [٥١] Pan, Z., Li, X., & Venkitasamy, C. (٢٠١٦). Food peeling: Conventional and new approaches. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-0.3091-2>
- [٥٢] Peschel, S., Franke, R., Schreiber, L., & Knoche, M. (٢٠٠٧). Composition of the cuticle of developing sweet cherry fruit. *Phytochemistry*, ٦٨, ١٠١٧-١٠٢٥. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.01.008>
- [٥٣] Pataro, G., Carullo, D., Bakar Siddique, M. A., Falcone, M., Donsì, F., & Ferrari, G. (٢٠١٨). Improved extractability of carotenoids from tomato peels as side benefits of PEF treatment of tomato fruit for more energy-efficient steam-assisted peeling. *Journal of Food Engineering*, ٢٣٣, ٦٥-٧٣.
- [٥٤] Peshkovsky, A. S., Peshkovsky, S. L., & Bystryak, S. (٢٠١٣). Scalable high-power ultrasonic technology for the production of translucent nanoemulsions. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, ٦٩(٣), ٧٧-٨٢.
- [٥٥] Raj, G., & Dash, K. K. (٢٠٢٠). Ultrasound-assisted extraction of phytocompounds from dragon fruit peel: Optimization, kinetics and thermodynamic studies. *Ultrasonics Sonochemistry*, ٦٨, ١٠٥١٨٠.



- [56] Ramnath, S. S. (۲۰۱۷). Study on ohmic heating characteristics of tomato peeling [Master's thesis, Govind Ballabh Pant University of Agriculture and Technology]. <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/۱۰۵۸۱۰۰۵۶۷۳۸>
- [57] Rock, C., Yang, W., Goodrich-Schneider, R., & Feng, H. (۲۰۱۲). Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*, ۴, ۱-۱۵.
- [58] Rock, C., Yang, W., Nooji, J., Teixeira, A., & Feng, H. (۲۰۱۰). Evaluation of Roma tomatoes (*Solanum lycopersicum*) peeling methods: Conventional vs. power ultrasound. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, ۱۲۳, ۲۴۱-۲۴۵.
- [59] Sarang, S., Sastry, S. K., & Knipe, L. (۲۰۰۸). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, ۸۷(۳), ۳۵۱-۳۵۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jfoodeng.۲۰۰۷.۱۲.۰۱۲>
- [60] Sedaghatthoor, S., Ansari, R., Allahyari, M. S., & Nasiri, E. (۲۰۰۹). Comparison of morphological characteristics of some plum and prune cultivars of Iran. *Scientific Research and Essays*, ۴(۱۰), ۹۹۲-۹۹۶. <http://www.academicjournals.org/sre>
- [61] Srikaeo, K., Khamphu, S., & Weerakul, K. (۲۰۱۱). Peeling of gingers as evaluated by image analysis techniques: A study for pickled ginger process. *International Food Research Journal*, ۱۸(۴), ۱۳۸۷-۱۳۹۲.
- [62] Shen, Y. (۲۰۱۹). Study of infrared peeling technology for pear: Evaluation, characterization, and optimization [PhD thesis, University of California Davis].
- [63] Shen, Y., Khir, R., Wood, D., McHugh, T. H., & Pan, Z. L. (۲۰۲۰). Pear peeling using infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, ۶۵, ۱۰۲۴۷۴.
- [64] Shynkaryk, M. V., Ji, T., Alvarez, V. B., & Sastry, S. K. (۲۰۱۰). Ohmic heating of peaches in the wide range of frequencies (۵۰ Hz to ۱ MHz). *Journal of Food Science*, ۷۵(۷). <https://doi.org/۱۰.۱۱۱۱/j.۱۷۵۰-۳۸۴۱.۲۰۱۰.۰۱۷۷۸.x>
- [65] Taiz, L., & Zeiger, E. (۲۰۰۶). Cell walls: Structure, biogenesis and expansion. In *Plant Physiology* (pp. ۳۱۳-۳۳۸). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- [66] Toker, I., & Bayındırlı, A. (۲۰۰۳). Enzymatic peeling of apricots, nectarines and peaches. *LWT-Food Science and Technology*, ۳۶(۲), ۲۱۵-۲۲۱. [https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۰۲۳-۶۴۳۸\(۰۲\)۰۰۲۳-۷](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۰۲۳-۶۴۳۸(۰۲)۰۰۲۳-۷)
- [67] Vidyarthi, S. K., El Mashad, H. M., Khir, R., Zhang, R., Tiwari, R., & Pan, Z. (۲۰۱۹). Quasi-static mechanical properties of tomato peels produced from catalytic infrared and lye peeling. *Journal of Food Engineering*, ۲۵۴, ۱۰-۱۶. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jfoodeng.۲۰۱۹.۰۳.۰۰۱>
- [68] Wang, W., Wang, L., Feng, Y., Pu, Y., Ding, T., Ye, X., et al. (۲۰۱۸). Ultrasound-assisted lye peeling of peach and comparison with conventional methods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, ۴۷, ۲۰۴-۲۱۳.
- [69] Wang, Y., Li, X., Sun, G., Li, D., & Pan, Z. (۲۰۱۴). A comparison of dynamic mechanical properties of processing-tomato peel as affected by hot lye and infrared radiation heating for peeling. *Journal of Food Engineering*, ۱۲۶, ۲۷-۳۴. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jfoodeng.۲۰۱۳.۱۰.۰۳۲>
- [۷۰] Weaver, M., Huxsoll, C., & Ng, K. (۱۹۸۰). Sequential heat-cool peeling of tomatoes. *Food Technology*, ۳۴, ۴۰.
- [۷۱] Wongsangasri, P., & Sastry, S. K. (۲۰۱۵). Effect of ohmic heating on tomato peeling. *LWT - Food Science and Technology*, ۶۱(۲), ۲۶۹-۲۷۴. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.lwt.۲۰۱۴.۱۲.۰۵۳>
- [۷۲] Wongsangasri, P., & Sastry, S. K. (۲۰۱۶a). Tomato peeling by ohmic heating: Effects of lye-salt combinations and post-treatments on weight loss, peeling quality and firmness. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, ۳۴, ۱۴۸-۱۵۳.



3-5 September 2025, University of Guilan, Rasht, Iran.

- [۷۳] Wongsan-Ngasri, P., & Sastry, S. K. (۲۰۱۶b). Tomato peeling by ohmic heating with lye-salt combinations: Effects of operational parameters on peeling time and skin diffusivity. Journal of Food Engineering, ۱۸۶, ۱۰-۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.005>
- [۷۴] Xiao, H. W., Pan, Z. L., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., et al. (۲۰۱۷). Recent developments and trends in thermal blanching - a comprehensive review. Information Processing in Agriculture, ۴(۲), ۱۰۱-۱۲۷.
- [۷۵] Zhou, Y., Niu, D., Gao, Y., Zhang, J., & Wang, Z. (۲۰۲۲). Conventional and novel peeling methods for fruits and vegetables: A review. Journal of Food Engineering, ۳۱۴, ۱۱۰۷۹۶. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110796>





A comprehensive review of peeling techniques in stone fruits with emphasis on plums

Ali Mohammad Dehghan^۱, Rasool Khodabakhshian Kargar^{۲*}, Mehdi Khojastehpour^{۳*},
Morteza Javadpour^{۴*}

۱. Master's student in Mechanical Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad;
alimohammad.dehghan@mail.um.ac.ir
۲. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Biosystems, Ferdowsi University of
Mashhad; Khodabakhshian@um.ac.ir
۳. Professor, Department of Mechanical Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad;
mkhpour@um.ac.ir
۴. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Gonabad University of Higher
Education; javadpour_m@yahoo.com

Abstract

In recent years, optimizing the peeling process of stone fruits has received special attention in the food industry in order to improve the quality of the final product, reduce losses, and increase energy efficiency. This article, focusing on plum fruit, provides a comprehensive review of traditional and modern peeling methods. First, traditional methods including mechanical, chemical, and thermal peeling are discussed, and then new technologies such as the use of infrared radiation, ohmic heating, pulsed electric field, and ultrasound waves are reviewed. Subsequently, studies conducted on combined peeling methods are introduced and the advantages and limitations of these approaches are analyzed. Also, considering the importance of plums in Iranian agriculture and processing industries, the status of traditional plum production and peeling methods in the country is reviewed. The results show that the use of modern technologies, especially in combination with traditional methods, can improve the efficiency of the peeling process, enhance the quality of the final product, and reduce environmental impacts. This review can be used as a basis for future research development and optimization of industrial processes for peeling stone fruits.

Keywords

Peeling, Plum, Alkali, Infrared, Pulsed Electric Field, Ultrasound.