

بررسی تأثیر فرایند پوست‌گیری با فناوری پرتودهی مادون قرمز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی

زهرا محمدی^{۱*}، مهدی کاشانی نژاد^۲، امان محمد ضیائی فر^۳، محمد قربانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- استاد گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۳۱)

چکیده

از حرارت‌دهی با پرتو مادون‌قرمز می‌توان به عنوان روشی مناسب و کارآمد در فرایند پوست‌گیری محصولات کشاورزی با اهداف کاهش مصرف آب و مواد شیمیایی و افزایش کیفیت محصول نهایی بهره گرفت. در این پژوهش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی پس از پوست‌گیری خشک با پرتودهی مادون‌قرمز بررسی گردید. اثر توان منبع پرتودهی (۸۵۰-۲۵۰ وات)، فاصله منبع پرتودهی از نمونه (۷۰-۱۰ میلی‌متر) و مدت زمان حرارت‌دهی (۱۲۵-۴۵ ثانیه) بر روی ضخامت پوست جدا شده، محتوای اسید آسکوربیک، شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* ، بریکس، pH و اسیدیته کل کیوی مورد مطالعه قرار گرفت. کیوی پوست‌گیری شده با روش قلبایی در شرایط بهینه به عنوان نمونه کنترل در نظر گرفته شد. پارامترهای عملیاتی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) و نرم افزار Design-Expert بهینه‌سازی شدند. شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت توان ۴۴۶ وات، فاصله ۷۰ میلی‌متر و مدت زمان ۱۲۵ ثانیه به دست آمد. در این شرایط مقادیر به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها عبارت بودند از: ضخامت پوست جدا شده ۰/۴ میلی‌متر، محتوای اسید آسکوربیک (mg/۱۰۰g) ۱۴۰، شاخص‌های رنگی $L^*= ۳۷/۶۱$ ، $a^*= -۴/۸۰$ و $b^*= ۱۷/۵۵$ ، بریکس ۱۲/۰۳ درصد، pH= ۳/۵ و اسیدیته کل (g/۱۰۰) ۱/۱۶. کیوی‌های پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز نسبت به نمونه‌های کنترل به طور معنی‌داری دارای محتوای اسید آسکوربیک بیش‌تر و ضخامت پوست جدا شده، تغییرات رنگی و بریکس کم‌تری بودند.

کلید واژگان: کیوی، پوست‌گیری، پرتو مادون قرمز، اسید آسکوربیک، روش سطح پاسخ

۱- مقدمه

مبدأ اصلی کیوی جنگل‌های مناطق معتدل جنوب چین است و ارقام مختلف آن به صورت پراکنده از سیبری تا اندونزی وجود دارد [۱]. پیشینه کشت این محصول در ایران به سال ۱۳۶۰ و پس از آن باز می‌گردد و به طور عمده در نواحی شمالی کشور کشت می‌شود. سودآوری و ارزآوری مناسب این محصول سبب شده تا سطوح زیر کشت آن رشد چشم‌گیری داشته باشد [۲]. این محصول اغلب به صورت تازه‌خوری مصرف می‌شود اما با توجه به آنکه تمام میوه‌های برداشت شده برای عرضه مستقیم به بازار مناسب نیستند بنابراین می‌توان آن‌ها را به محصولات فرایند شده با ارزش افزوده بالا از جمله کیوی منجمد، کنسرو کیوی، پالپ کیوی، لواشک کیوی، نوشیدنی‌های حاصل از کیوی، مواد مستخرج از کیوی (مانند پروتئاز، موسیلاژ و آرومای کیوی) و برگه‌های خشک شده کیوی تبدیل کرد [۱]. از سویی دیگر این میوه ارزش تغذیه‌ای بالایی داشته و غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله اسید آسکوربیک^۱ (AA) است. این ویتامین به شرایط مختلف فرایند و نوع پوست‌گیری اعمال شده حساس می‌باشد، بنابراین می‌توان میزان پایداری این ویتامین را پس از پوست‌گیری به عنوان شاخصی از کیفیت فرایند و محصول در نظر گرفت.

پوست‌گیری عملیات واحدی لازم و مهم در فرآوری کیوی محسوب می‌شود که بر کیفیت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول نهایی تأثیر دارد. در حال حاضر در دنیا پوست‌گیری عمدتاً با چهار روش مکانیکی، قلیایی، حرارتی و آنزیمی صورت می‌گیرد [۳]. اما در میان این روش‌ها، پوست‌گیری قلیایی^۲ به علت کیفیت بالای محصول گسترده‌تری دارد. با این وجود پساب تولیدی پس از استفاده از این روش دارای مواد آلی بالایی می‌باشد که مشکلاتی از جمله مدیریت پساب و تأمین بلند مدت آب را به همراه دارد که منجر به هزینه‌های بالایی برای صنعت-گران و اثرات منفی قابل توجهی بر محیط زیست می‌شود [۴-۶]. بنابراین نیاز فوری به گسترش پوست‌گیری پایدار و مقرون به صرفه وجود دارد که بتواند استفاده از آب و تولید فاضلاب را توأم با حفظ کیفیت محصول کاهش دهد. اخیراً فناوری پوست-

گیری غیر شیمیایی، از لحاظ جنبه‌های اقتصادی و محیط زیستی، برای فرایند میوه‌ها و سبزی‌ها در اولویت قرار گرفته است. پوست‌گیری حرارتی خشک با استفاده از فناوری نوین پرتودهی مادون‌قرمز به علت راندمان بالا، روش مناسبی معرفی گردیده است [۷].

گینزبرگ (۱۹۶۹) طی پژوهشی عمق نفوذ پرتو مادون‌قرمز^۳ را در مواد غذایی متفاوت بررسی کرد. به علت قابلیت انتقال حرارت بالا و عمق نفوذ کم، پرتو مادون‌قرمز روش حرارت‌دهی مناسبی برای پوست‌گیری میوه‌ها معرفی شد. همچنین ساکایی و هانزاوا (۱۹۹۴) طی تحقیقاتی دریافتند که تقریباً تمام انرژی پرتو تابیده شده در سطح ماده به گرما تبدیل می‌شود [۸]. به علت عدم استفاده از آب و یا بخار، هارت و همکاران (۱۹۷۰) اولین بار اصطلاح پوست‌گیری خشک^۴ را برای این روش ارائه دادند. همچنین اسپرول و همکاران (۱۹۷۵) مطالعات اولیه‌ای بر کاربرد مادون‌قرمز روی سیب‌زمینی و هلو داشتند و از نتایج آن می‌توان کاهش قابل توجه در ضایعات پوست‌گیری، پساب و عدم استفاده از قلیا را نام برد [۹]. در این روش پارامترهای کلیدی که مستقیماً بر عملکرد پوست‌گیری مانند ضخامت پوست جدا شده مؤثرند عبارت‌اند از: توان منبع پرتودهی، مدت زمان حرارت‌دهی و فاصله منبع پرتودهی با محصول [۱۰]. لی و همکاران (۲۰۱۴) برای پوست‌گیری هلو از تابنده‌ی مادون‌قرمز دو طرفه استفاده کردند. نتایج حاکی از اثر معنادار مدت زمان پرتودهی بر روی رنگ محصول می‌باشد. تشعشعات مادون‌قرمز تنها لایه‌ای کم عمق از سطح محصول را به سرعت گرم می‌کند درحالی‌که قسمت گوشته محصول بدون تغییر و سالم باقی می‌ماند [۱۱]. در پوست‌گیری قلیایی، محلول قلیا (سدیم یا پتاسیم هیدروکسید) به پوست محصول نفوذ کرده و از طریق پدیده انتشار، مواد پکتینی و همی سلولزی دیواره‌های سلولی را در خود حل می‌کند و با خروج پکتین، شبکه دیواره سلولی تضعیف شده که موجب جدا شدن پوست از گوشته می‌شود [۱۲]. همچنین در پژوهشی دیگر، لی و همکاران (۲۰۱۴) پوست‌گیری گوجه‌فرنگی را بررسی کردند. رنگ گوجه‌فرنگی‌های پوست‌گیری شده با دو روش قلیا و پرتودهی مادون‌قرمز در مدت زمان‌های پایین حرارت‌دهی

3. Infrared radiation
4. Dry peeling

1. Ascorbic Acid
2. Chemical/Lye/Caustic peeling

۲-۲- پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز

جهت پوست‌گیری کیوی‌ها از دستگاه پوست‌گیر خشک مادون‌قرمز در مقیاس آزمایشگاهی استفاده گردید که نمای شماتیک آن در شکل ۱ آورده شده است. این دستگاه از دو بخش منبع پرتودهی مادون‌قرمز و گرداننده میوه تشکیل شده است. عملکرد دستگاه بدین صورت است که با چرخاندن آهسته و یکنواخت میوه زیر منبع پرتودهی، امواج مادون‌قرمز به لایه‌ی سطحی میوه نفوذ کرده و تنها دمای سطح آن را افزایش می‌دهد. در این حالت پوست از گوشته جدا خواهد شد. سرعت چرخش نمونه‌ها یک دور در دقیقه تنظیم گشت. با تغییر ولتاژ ورودی به منبع پرتودهی می‌توان منبع را تغییر داد و فاصله منبع پرتودهی با سطح نمونه نیز قابل تنظیم می‌باشد.

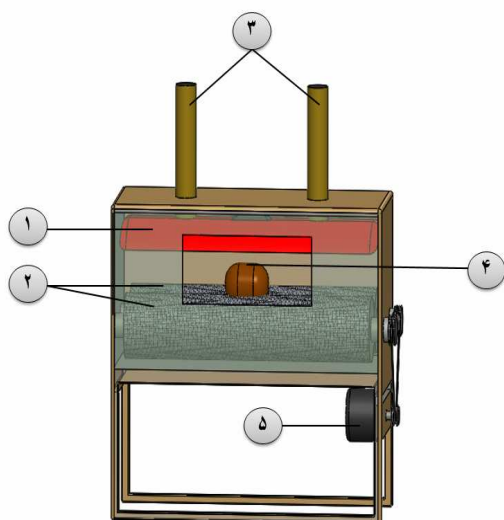


Fig 1 The schematic diagram of the Infrared Dry Fruit Peeler system

1. Ceramic IR emitter; 2. Sample rotating part; 3. Height adjustment screws;
4. Product (kiwifruit); 5. Electric motor.

برای تثبیت دمای دستگاه پنج دقیقه زمان داده شد. سپس نمونه‌ها به طور جداگانه روی بخش گرداننده پرتودهی شدند. پس از اتمام زمان پرتودهی، نمونه از دستگاه خارج و با دست پوست‌گیری شد [۱۰]. جهت تعیین حدود بالا و پایین پارامترهای عملیاتی (توان منبع پرتودهی، فاصله منبع پرتودهی با محصول و مدت زمان حرارت‌دهی) آزمون‌های اولیه‌ای انجام شد. طبق آزمون‌های اولیه محدودده توانی دستگاه ۲۵۰ تا ۸۵۰ وات، فاصله

نسبتاً پایدار باقی ماند ولی با افزایش زمان حرارت‌دهی تغییر رنگ محصول در هر دو روش معنادار گزارش شد [۱۳]. گالداس (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای پوست‌گیری قلبایی کیوی را بررسی و پایداری بیش‌تر اسید آسکوربیک را پس از پوست‌گیری قلبایی نسبت به پوست‌گیری دستی گزارش نمود [۱۴]. اثر روش‌های پوست‌گیری قلبایی، دستی و استفاده از آب داغ بدون قلبا بر روی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی کیوی توسط گومز لوپز و همکاران در سال ۲۰۱۴ بررسی شد و معناداری مؤلفه‌های رنگی و بریکس و عدم معناداری pH و اسیدیته کل کیوی پوست‌گیری شده گزارش گردید [۳]. تاکنون مطالعه‌ای در خصوص پوست‌گیری کیوی با روش پرتودهی مادون‌قرمز گزارش نشده است. لذا در این پژوهش پس از پوست‌گیری کیوی با این روش، اثر پارامترهای فرایند بر ضخامت پوست جدا شده، ارزش تغذیه‌ای (AA) و دیگر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی آن مانند رنگ، بریکس، pH و اسیدیته کل مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت شرایط پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز برای کیوی بهینه‌سازی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه و آماده‌سازی کیوی

کیوی‌های واریته هایوارد (*Actinidia deliciosa*, cv Hayvard) از باغات شهر کردکوی استان گلستان تهیه شدند و به سردخانه‌ای با دمای صفر درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد انتقال یافتند. پس از سایزبندی، نمونه‌های سالم با ابعاد یکسان به صورت تصادفی برای انجام آزمایش انتخاب گردیدند. متوسط ابعاد و بریکس اندازه‌گیری شده به ترتیب حدود ۷۰×۵۲×۵۰ میلی‌متر و ۹ درصد بود. همچنین با ترازوی دیجیتال (Kern ساخت کشور آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم، متوسط وزن نمونه‌ها ۱۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت ایجاد شرایط بهینه دمایی، نمونه‌ها دو ساعت قبل از شروع آزمایش از سردخانه خارج شد تا به دمای اتاق برسند. سپس با استفاده از پرتودهی مادون‌قرمز و بهترین حالت روش قلبایی (تیمار کنترل) پوست‌گیری شدند.

گردید. سپس اسید آسکوربیک استاندارد را با اسید استیک ۸ درصد به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و ۲ میلی‌لیتر از آن با ۴۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۸ درصد مخلوط و با محلول تیتراسون تیتراژ شد. در مرحله بعد نمونه پوست‌گیری شده یکنواخت شد و سپس ۵ گرم از آن با ۴۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۸ درصد مخلوط گردید. سپس از مخلوط حاصل عصاره‌گیری شد. ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با ۴۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۸ درصد مخلوط و با محلول حاوی نمک ۶٫۲ دی کلروفل ایدوفنل تیتراژ گردید. در فرمول ۱ نحوه محاسبات AA بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم نمونه تازه آورده شده است [۱۷].

فرمول ۱

AA= نمونه

(حجم تتر شله AA استاندارد × وزن نمونه / حجم نمونه × حجم تتر شله × ۱۰ × ۲)

۲-۶- رنگ

رنگ سطحی نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند با یک دستگاه اسکنر رنگی (Canon, Cano Scan, LiDE 120 Scanner) و با دقت DPI ۶۰۰ اسکن شد. تصاویر با فرمت JPEG و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. سپس با نرم افزار Image J^۲ و برنامه Color Space Converter از فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ تبدیل گردیدند. بدین ترتیب، مقادیر L^* ، a^* و b^* هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها در ۳ نقطه از تصویر محاسبه و میانگین آن‌ها گزارش شدند [۱۸].

۲-۷- بریکس، pH و اسیدیته کل

بریکس با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (CETI, ABBE. Belgium, کشور ژاپن) اندازه‌گیری شد. pH از میوه هموزنیزه شده با استفاده از pH متر دیجیتالی (PHS-3BW MICROPROCESSOR PH/Mv pH meter, کشور ایتالیا) اندازه‌گیری شد. آزمون اسیدیته کل با استفاده از تیتراسیون عصاره کیوی با سود ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی صورت گرفت و بر حسب گرم اسید غالب موجود در کیوی (اسید سیتریک) در ۱۰۰ گرم نمونه بیان گردید [۱۴].

۲-۸- تجزیه و تحلیل آماری

منبع پرتودهی با نمونه ۱۰ تا ۷۰ میلی‌متر و مدت زمان حرارت دهی ۴۵ تا ۱۲۵ ثانیه برای آزمون‌های پیشنهادی روش سطح پاسخ^۱ (RSM) در نظر گرفته شد.

۲-۳- پوست‌گیری قلیایی

با بررسی منابع، گالداس و بیندرلی (۲۰۱۴) محلول سدیم هیدروکسید با غلظت ۲۳ درصد، دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴/۵ دقیقه را شرایط بهینه برای پوست‌گیری قلیایی کیوی (از نظر پوست‌گیری کامل و حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی) گزارش کردند [۱۵]. اما با توجه به تفاوت‌های اقلیمی، زمانی و آزمایشگاهی شرایط پوست‌گیری قلیایی کیوی پیش از آزمون اصلی با روش آزمون و خطا بهینه‌یابی شد. در این پژوهش، محلول سدیم هیدروکسید با غلظت ۱۵ درصد، دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴ دقیقه به عنوان شرایط بهینه در نظر گرفته شد که با یافته‌های گومز لویز و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد [۳].

محلول سدیم هیدروکسید ۱۵ درصد تهیه و تا دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. نمونه در محلول قلیای داغ با نسبت ۱ به ۳ به مدت ۴ دقیقه غوطه‌ور گشت [۱۴، ۱۶]. جهت جلوگیری از پخته شدن و حذف قلیا و پوست، نمونه به سرعت زیر شیر آب با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا سرد شود.

۲-۴- ضخامت پوست جدا شده

ضخامت پوست جدا شده نمونه‌ها پس از پوست‌گیری با هر دو روش پرتودهی مادون‌قرمز و قلیایی با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر در سه نقطه از پوست اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها برای هر نمونه در محاسبات آماری مورد استفاده قرار گرفت [۹].

۲-۵- اندازه‌گیری اسید آسکوربیک (AA)

در این بررسی جهت اندازه‌گیری میزان AA از روش محلول استاندارد اسید آسکوربیک استفاده شد. به منظور انجام این آزمایش ابتدا با استفاده از نمک ۶٫۲ دی کلروفل ایدوفنل و بی-کربنات سدیم (مرک، کشور آلمان) محلول تیتراسیون آماده

2. Image J software version 1.42e, USA

1. Response surface methodology

برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت [۱۹].

۳-۲- ضخامت پوست جدا شده

ضخامت پوست جدا شده می‌تواند شاخصی از عملکرد پوست-گیری و دستگاه پوست‌گیر خشک میوه مادون‌قرمز (شکل ۱) باشد. بدین صورت که با تغییر هرکدام از پارامترهای توان دستگاه، فاصله و زمان پرتودهی هرچه ضخامت پوست جدا شده از میوه کم‌تر باشد عملکرد پوست‌گیری بالاتر خواهد بود. شکل ۲ اثر پارامترهای عملیاتی بر ضخامت پوست جدا شده را نشان می‌دهد. در توان‌های کم و فواصل زیاد ضخامت پوست جدا شده بیشتر بود. همچنین در توان‌های پایین و مدت زمان حرارت‌دهی کوتاه این پاسخ کم‌ترین مقدار خود را داشت.

با توجه به معادله ۱، توان منبع پرتودهی بیشترین اثر معنی‌داری را بر این پاسخ داشت ($p < 0/0001$). به طوری که با افزایش توان دستگاه از ۲۵۰ به ۸۵۰ وات ضخامت پوست جدا شده از ۰/۷۵ به ۰/۲۵ میلی‌متر کاهش یافت. اثر خطی زمان نیز بر ضخامت پوست جدا شده در سطح ۵ درصد معنادار بود. از میان اثرات متقابل، تنها اثر توان دستگاه و فاصله بر این پاسخ معنادار به دست آمد ($p < 0/01$). اثرات درجه دوم تمام پارامترهای عملیاتی توان، فاصله و زمان بر تغییرات ضخامت پوست جدا شده معنادار گزارش شد. با توجه به مدل ارائه شده برای ضخامت پوست مؤثرترین عامل در مقدار پوست جدا شده نمونه‌ها، توان منبع پرتودهی بود و سایر پارامترها اعم از فاصله و زمان پرتودهی تأثیر کمتری داشتند. موارد سنجش کفایت مدل شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۹۴۳، ۰/۸۹۲ به دست آمد. در تمام معادلات آورده شده A توان دستگاه، B فاصله منبع پرتودهی از نمونه و C مدت زمان حرارت‌دهی می‌باشد.

$$\text{Thickness of peel} = 0.28 - (0.0008 \times A) + (0.012 \times B) + (0.011 \times C) - (4 \times 10^{-6} \times AB) + (9 \times 10^{-7} \times AC) - (2 \times 10^{-5} \times BC) + (5 \times 10^{-7} \times A^2) - (0.0001 \times B^2) - (6 \times 10^{-5} \times C^2)$$

لی و همکاران (۲۰۱۴) میانگین ضخامت پوست جدا شده گوجه-فرنگی پوست‌گیری شده با پرتو مادون‌قرمز را در محدوده ۰/۳۹ تا ۰/۹۱ میلی‌متر گزارش کردند که با کاهش مدت زمان حرارت-

در این پژوهش روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD^1) برای پیش‌بینی اثر متغیرهای فرایند پوست‌گیری با روش پرتودهی مادون‌قرمز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی به کار برده شد. تیمارها در ۲۰ آزمایش بر اساس طرح CCD شامل ۶ تکرار در نقطه مرکزی چیده شدند. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل توان منبع پرتودهی (محدوده ۲۵۰-۸۵۰ وات)، فاصله منبع پرتودهی با نمونه (محدوده ۷۰-۱۰ میلی‌متر) و مدت زمان پرتودهی (محدوده ۱۲۵-۴۵ ثانیه) و پاسخ‌های اندازه-گیری شده شامل ضخامت پوست جدا شده، محتوای AA، رنگ، بریکس، pH و اسیدیته بودند. سه سطح کد بندی شده برای سه متغیر مستقل به صورت -۱، ۰ و +۱ بود. سطوح متغیرهای مستقل ورودی در جدول ۱ نشان داده شده است. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Design Expert 9.0.6 صورت پذیرفت.

Table 1. Coded and non-coded values of variables levels

Independent variables	Coded levels	-1	0	+1
Power (W)	X ₁	250	550	850
Distance (mm)	X ₂	10	40	70
Time (s)	X ₃	45	85	125

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر متغیرهای فرایند بر خصوصیات

فیزیکوشیمیایی کیوی به روش RSM

تجزیه واریانس جهت ارزیابی اثرات معنادار متغیرهای فرایند بر روی هریک از پاسخ‌ها انجام شد. با انجام آنالیز رگرسیون چند متغیره، مدل‌های مختلف بر اساس R^2 و R^2 اصلاح شده مقایسه شد. به صورتی که مدلی که دارای بیشترین مقادیر این دو فاکتور باشد معادله‌ای دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش^۲ و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و

1. Central Composite Design
2. Lack of fit

دهی مقادیر مربوط به این پاسخ افزایش یافته است. زیرا در توان-ها و زمان‌های پایین حرارت‌دهی و فواصل زیاد دمای مورد نیاز پوست‌گیری تأمین نشده و تغییرات مؤثری در ساختار پوست برای تسهیل جداسازی صورت نمی‌گیرد. بنابراین هنگام جداسازی مقادیر بیشتری از گوشت میوه به پوست چسبیده و در این شرایط ضخامت پوست جدا شده افزایش می‌یابد [۱۳].

فاکتورهای این مدل عبارتند از:

$$\begin{aligned} \text{AA content} = & 161.63 + (0.063 \times A) + \\ & (0.596 \times B) - (1.060 \times C) + (0.0002 \times AB) + \\ & (0.0001 \times AC) - (0.001 \times BC) - (0.0001 \times A^2) - \\ & (0.003 \times B^2) + (0.005 \times C^2) \end{aligned}$$

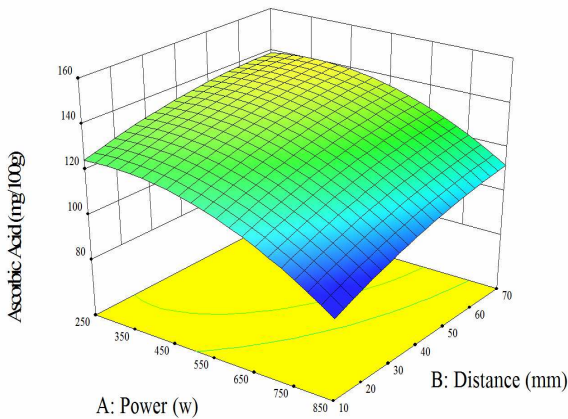


Fig 3 3D surface plot showing the interaction effects on the Ascorbic acid contents

۳-۴- مؤلفه‌های رنگی

پارامترهای پوست‌گیری بر رنگ محصول اثرگذار هستند. مؤلفه L^* نشان‌دهنده میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه‌ی آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. مقادیر مؤلفه a^* بین منفی ۱۲۰ تا مثبت ۱۲۰ قرار دارد و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز می‌باشد. مقادیر مؤلفه b^* نیز مانند مؤلفه a^* می‌باشد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد است. مقدار میانگین L^* ، a^* و b^* در نمونه پوست‌گیری شده با قلیای داغ به ترتیب ۴۸، ۳/۴- و ۱۹/۶ بود. شکل ۴ اثر پارامترهای پوست‌گیری با پرتو مادون‌قرمز بر مؤلفه‌های L^* (روشنایی)، a^* (سبزی) و b^* (زردی) کیوی پوست‌گیری شده را نشان می‌دهد.

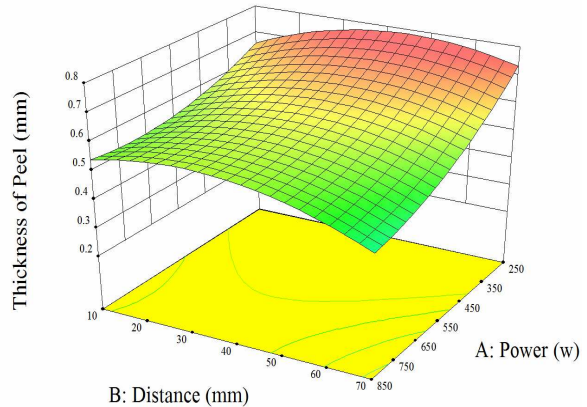


Fig 2 3D surface plot showing the interaction effects on the thickness of peel

۳-۳- محتوای اسید آسکوربیک

با افزایش توان دستگاه و کاهش فاصله منبع پرتودهی از نمونه، میزان این پاسخ نیز تا حدود ۱۰۰ (mg / ۱۰۰g) کاهش یافت. بیشترین میزان AA حدود ۱۵۵/۵ (mg / ۱۰۰g) در کمترین توان و زمان و بیشترین فاصله (۲۵۰ وات، ۴۵ ثانیه و ۷۰ میلی‌متر) می‌باشد. از آنجا که ویتامین ث به شرایط خارجی مانند حرارت‌دهی حساس است، در شرایط مذکور پرتودهی کمتر و در نتیجه دمای تولیدی کمتر بود و این ویتامین بیشتر حفظ گردید (شکل ۳). با توجه به معادله ۲، اثرات خطی سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی توان دستگاه، فاصله و زمان بر محتوای AA نمونه‌ها به ترتیب در سطوح ۰/۰۱، ۰/۰۱ و ۱ درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثرات درجه دوم توان دستگاه و زمان پرتودهی بر این پاسخ معنادار بود ($p < 0.01$). مدل پیشنهادی، اثر منفرد پارامترها و اثر برهم‌کنش آنها را بر محتوای AA کیوی پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز توصیف می‌کند. موارد سنجش کفایت آن شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر

1. Lightness/Brightness
2. Greenness
3. Yellowness

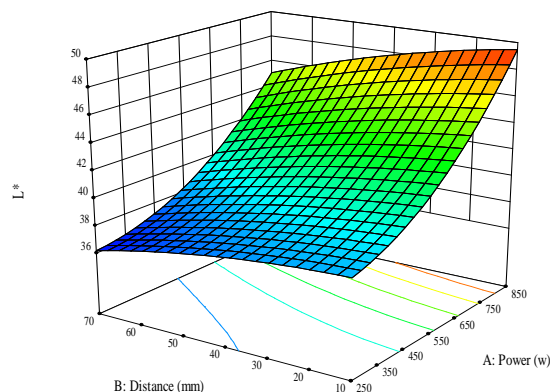
۳-۴-۱- شاخص L^*

اثر پارامترهای عملیاتی و برهم‌کنش آن‌ها بر روی شاخص روشنایی نمونه‌ها پس از پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز در شکل ۴-a مشاهده می‌شود. با افزایش توان دستگاه و کاهش فاصله نمونه از لامپ، میزان روشنایی نمونه‌ها افزایش یافت. این در حالی است که تغییرات مدت زمان پرتودهی اثر چندانی بر روی این پاسخ نداشت. با توجه به معادله ۳، اثرات خطی توان و فاصله در سطح ۰/۰۱ و ۱ درصد معنادار بود و نمونه‌ها پس از اعمال این روش پوست‌گیری مقداری روشن‌تر شدند. همچنین اثر درجه دوم توان دستگاه بر روی روشنایی نمونه‌ها معنادار بود ($p < 0/05$). درحالی که تغییرات مدت زمان پرتودهی بر این پارامتر اثر معناداری نداشت ($p > 0/05$). موارد سنجش کفایت مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای بافت کیوی پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۹۵۴۳ و ۰/۹۱۳۲ به دست آمد. مدل پیشنهادی و ضرایب فاکتورهای این مدل عبارتند از:

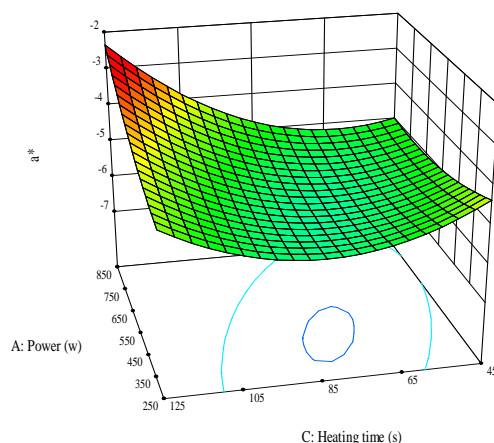
$$L^* = 37.17 - (0.003 \times A) + (0.001 \times B) + (0.023 \times C) - (0.00005 \times AB) - (0.00002 \times AC) + (0.0001 \times BC) + (0.00002 \times A^2) - (0.0005 \times B^2) - (0.00008 \times C^2)$$

۳-۴-۲- شاخص a^*

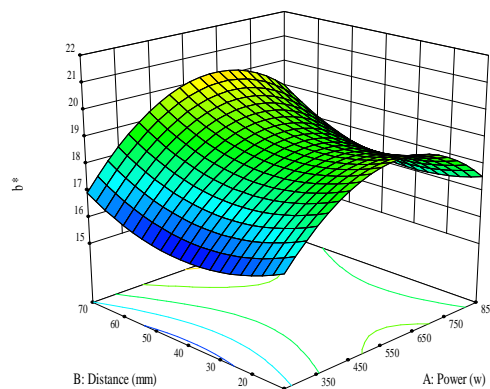
شاخص قرمزی-سبزی (a^*) در صورت منفی بودن بیانگر سبزی بیشتر نمونه است. تمامی نمونه‌ها a^* منفی داشتند. با توجه به شکل ۴-b میزان سبزی بودن نمونه‌ها با افزایش توان دستگاه مدت زمان پرتودهی، کاهش یافت. با افزایش فاصله نمونه از لامپ تا ۴۰ میلی‌متر شاخص a^* کاهش و پس از افزایش یافت. اثر خطی توان و زمان بر روی این پاسخ در سطح ۱ درصد معنادار بود و طبق معادله ۴ اثر متغیر زمان بیشتر از سایر متغیرها بود. همچنین اثر متقابل توان دستگاه و زمان و درجه دوم فاصله و زمان نیز معنادار به دست آمد ($p < 0/0001$). اثر متقابل فاصله و زمان نیز بر این پاسخ معنادار گزارش شد ($p < 0/05$). علت کاهش رنگ سبز نمونه‌ها می‌تواند حساسیت کلروفیل به دمای بالا و فرایند باشد. به طوری که پس از اعمال فرایند پوست‌گیری در فاصله‌های کم منبع پرتودهی از نمونه و یا مدت زمان‌های بالا، مقداری از کلروفیل‌ها از بین رفته و موجب کاهش معنی‌دار مقدار a^* شد. موارد سنجش کفایت مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای



a



b



c

Fig 4 3D surface plots showing the interaction effects on the color parameters a: L^* , b: a^* and c: b^*

۶ پیشنهاد می‌گردد که موارد سنجش کفایت آن شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۹۸۹۴ و ۰/۹۷۹۹ ارزیابی شد.

$$\text{Brix} = 9.497 + (0.002 \times A) - (0.00025 \times B) + (0.01 \times C) - (7 \times 10^{-6} \times AB) + (1 \times 10^{-6} \times AC) - (0.0001 \times BC) + (3 \times 10^{-6} \times A^2) + (6 \times 10^{-5} \times B^2) - (2 \times 10^{-5} \times C^2)$$

شکل ۵ اثر پارامترهای پوست‌گیری بر بریکس کیوی پوست‌گیری شده را نشان می‌دهد. با افزایش توان دستگاه و مدت زمان حرارت‌دهی میزان بریکس نمونه افزایش یافت. درحالی‌که با افزایش فاصله لامپ از میزان بریکس نمونه کاسته شد.

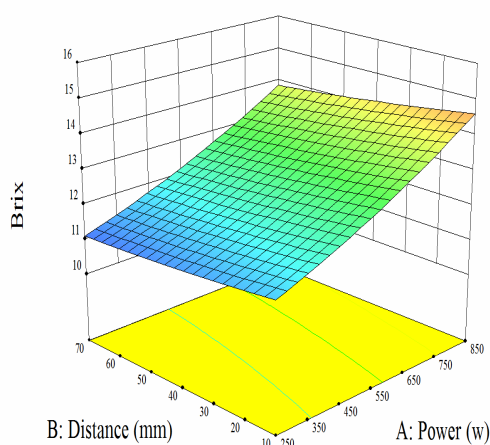


Fig 5 3D surface plot showing the interaction effects on brix

۳-۶- pH

تجزیه‌های آماری نشان داد که توان دستگاه و مدت زمان حرارت‌دهی بر pH نمونه‌های پوست‌گیری شده کیوی اثر معنی‌دار داشت ($p < 0.01$). اثرات متقابل و توان دوم هر سه پارامتر عملیاتی در سطح ۵ درصد نیز بر pH نمونه‌ها اثر معنادار داشت. یافته‌های گومز لویز و همکاران (۲۰۱۴) در پوست‌گیری دستی، حرارتی و قلیایی کیوی، نشان داد که روش‌های متفاوت پوست‌گیری بر روی pH کیوی‌های پوست‌گیری شده تأثیر معناداری ندارد. با افزایش توان دستگاه و فاصله لامپ از نمونه تا نقطه مرکزی، میزان pH کاهش و پس از آن افزایش یافت. درحالی‌که با افزایش مدت زمان حرارت‌دهی تا نقطه مرکزی، میزان pH نمونه‌ها افزایش و پس از آن کاهش یافت (شکل ۶). در این پژوهش pH نمونه‌ها در دامنه ۳/۳۴ تا ۳/۷۷ قرار داشت. مدل

شاخص a^* کیوی پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۹۵۳۱ و ۰/۹۱۰۹ به دست آمد. مدل پیشنهادی و ضرایب فاکتورهای این مدل عبارتند از:

$$a^* = -0.003 - (0.007 \times A) + (0.075 \times B) - (0.14 \times C) + (9 \times 10^{-7} \times AB) + (5 \times 10^{-5} \times AC) + (0.0001 \times BC) + (3 \times 10^{-6} \times A^2) - (0.001 \times B^2) + (0.0007 \times C^2)$$

۳-۴-۳- شاخص b^*

مثبت بودن شاخص زردی-آبی (b^*) بیانگر میزان زرد بودن نمونه است. میزان زرد بودن نمونه‌ها با افزایش توان دستگاه ابتدا افزایش و پس از عبور از توان ۵۵۰ وات کمی کاهش یافت. همچنین با کاهش فاصله نمونه از لامپ و افزایش مدت زمان پرتودهی، نمونه‌ها زردتر شدند (شکل ۷-۴). اثرات خطی هر سه متغیر توان دستگاه ($p < 0.01$), فاصله ($p < 0.05$) و زمان ($p < 0.01$) بر روی میزان زرد بودن نمونه‌ها معنادار بود (معادله ۵). همچنین اثرات متقابل توان دستگاه-فاصله و فاصله-زمان نیز در سطح ۱ درصد بر روی این پاسخ معنادار بودند. اثرات درجه دوم توان دستگاه ($p < 0.001$) و فاصله ($p < 0.01$) نیز بر این پاسخ معنادار گزارش شد. مدل پیشنهادی زیر اثر منفرد پارامترها و اثر برهم‌کنش آن‌ها را بر شاخص b^* کیوی پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز توصیف می‌کند. موارد سنجش کفایت آن شامل R^2 و R^2 اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۹۳۵۲ و ۰/۸۷۶۸ به دست آمد. مدل پیشنهادی و ضرایب فاکتورهای این مدل عبارتند از:

$$b^* = 7.49 + (0.032 \times A) - (0.046 \times B) + (0.078 \times C) + (3 \times 10^{-5} \times AB) - (6 \times 10^{-5} \times AC) - (0.0006 \times BC) - (2 \times 10^{-5} \times A^2) + (0.001 \times B^2) - (0.0002 \times C^2)$$

۳-۵- بریکس

با توجه به آنالیز واریانس هر سه پارامتر توان دستگاه، فاصله و زمان حرارت‌دهی اثر معنی‌داری را بر میزان بریکس نمونه‌ها داشتند ($p < 0.01$). همچنین اثر متقابل فاصله و زمان نیز در سطح ۵ درصد بر بریکس نمونه‌ها تأثیر معنادار داشت. بر اساس نتایج به دست آمده از اعمال تیمارها در این تحقیق، مدل معادله

$$(0.0002 \times A) + (0.0137 \times B) - (0.006 \times C) - (8.4 \times 10^{-7} \times AB) + (3.8 \times 10^{-6} \times AC) - (4.3 \times 10^{-5} \times BC) + (3 \times 10^{-7} \times A^2) - (7.3 \times 10^{-5} \times B^2) + (2.23 \times 10^{-5} \times C^2)$$

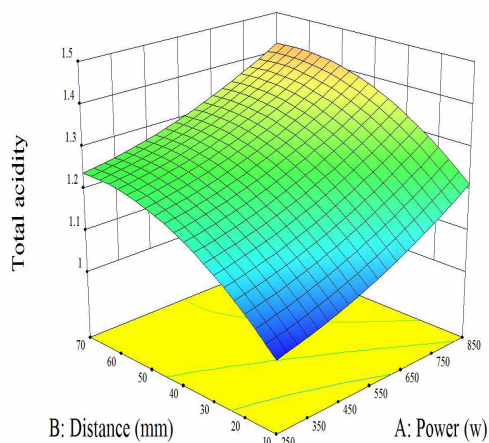


Fig7 3D surface plot showing the interaction effects on the total acidity

۴- بهینه‌یابی پارامترهای عملیاتی

شرایط بهینه پوست‌گیری کیوی با پرتودهی مادون‌قرمز برای دستیابی به پوست‌گیری مناسب و حداقل ضخامت پوست جدا شده، تغییر در محتوای AA، پارامترهای رنگی، بریکس، pH و اسیدیته کل مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌ها و محدوده‌های مورد بررسی برای بهینه‌سازی در جدول ۲ آورده شده است. بر این اساس، شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت توان دستگاه ۴۴۶ وات، فاصله ۷۰ میلی‌متر و مدت زمان ۱۲۵ ثانیه به دست آمد. در این شرایط مقادیر به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها عبارت بودند از: ضخامت پوست جدا شده ۰/۴ میلی‌متر، محتوای اسید آسکوربیک (mg/۱۰۰g) ۱۴۰، شاخص‌های رنگی $L^* = 37/61$ ، $a^* = -4/8$ و $b^* = 17/55$ ، بریکس ۱۲/۰۳ درصد، pH=۳/۵ و اسیدیته کل (g/۱۰۰g) ۱/۱۶.

پیشنهادی برای این پاسخ با R^2 و R^2 اصلاح شده برابر با ۰/۹۳۲۸ و ۰/۸۷۲۴ در معادله ۷ آورده شده است.

$$\text{pH} = 3.345 - (0.001 \times A) - (0.0128 \times B) + (0.02 \times C) + (6.38 \times 10^{-6} \times AB) - (6.04 \times 10^{-6} \times AC) + (2.9 \times 10^{-5} \times BC) + (1.37 \times 10^{-6} \times A^2) + (7.62 \times 10^{-5} \times B^2) - (9.46 \times 10^{-5} \times C^2)$$

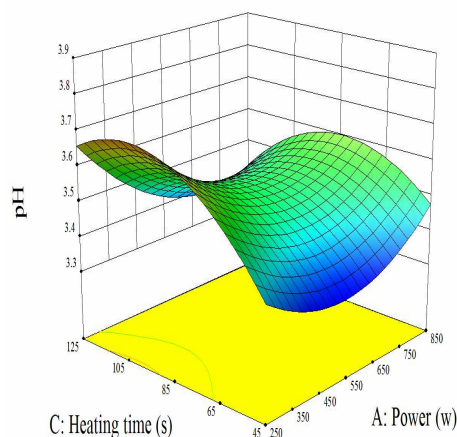


Fig 6 3D surface plot showing the interaction effects on pH

۳-۷- اسیدیته کل

بررسی نتایج آنالیز واریانس نشان داد که سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی توان دستگاه، فاصله و زمان حرارت‌دهی اعمال شده بر میزان اسیدیته کل اثر معنادار داشتند. یافته‌های گالداس (۲۰۰۳) نشان داد که روش مختلف پوست‌گیری کیوی تأثیر معناداری بر اسیدیته کل کیوی نداشتند. شکل ۷ اثر متغیرهای فرایند پوست‌گیری را بر روند تغییرات اسیدیته نمونه‌ها نشان می‌دهد. افزایش توان دستگاه و فاصله و کاهش مدت زمان پرتودهی موجب افزایش اسیدیته شدند. محدوده اسیدیته نمونه‌ها پس از فرایند از (g/۱۰۰g) ۱/۰۰۴ تا ۱/۵ بود. مدل پیشنهادی برای پاسخ اسیدیته با R^2 و R^2 اصلاح شده برابر با ۰/۹۴۹۸ و ۰/۹۰۴۷ در معادله ۸ آورده شده است.

$$\text{Total acidity} = 1.237 -$$

Table 2 Optimizing indexes and ranges

Variable/ Response	Target	Lower limit	Upper limit	Importance
Power (W)	In range	250	850	-
Distance (mm)	In range	10	70	-
Time (s)	In range	45	125	-
Peel Thickness (mm)	minimize	0.25	0.75	+++++
AA content (mg/100g)	maximize	96.939	155.5	+++++
L*	minimize	36.1	49.463	+++++
a*	minimize	-6.85	-3.16	+++++
b*	minimize	15.646	21.259	+++++
Brix (%)	minimize	10.8	15.2	+++++
pH	minimize	3.34	3.77	+++++
Total acidity (g/100g)	maximize	1.004	1.5	+++++

Lightness (L*), Greenness (a*) and Yellowness (b*)

t انجام شد. گالداس در سال ۲۰۰۳ و گومز لویز و همکاران در سال ۲۰۱۴ پس از مطالعه بر روی پوست‌گیری کیوی با استفاده از قلیای داغ به نتایج مشابهی رسیدند. همچنین نتایج آنان نشان داد با افزایش غلظت سود، دما و مدت زمان پوست‌گیری، میزان AA و شاخص a* کاهش و شاخص‌های L*, b*, بریکس و اسیدیتته افزایش یافتند [۳، ۱۴ و ۱۵].

۵- مقایسه دو روش پوست‌گیری پرتودهی

مادون‌قرمز و قلیای داغ

در جدول ۳ خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی‌های پوست‌گیری شده با دو روش بهینه‌سازی شده پرتودهی مادون‌قرمز (توان ۴۴۶ وات، فاصله ۷۰ میلی‌متر و مدت زمان ۱۲۵ ثانیه) و قلیای داغ (سود ۱۵ درصد، دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴ دقیقه) نشان داده شده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون

Table 3 Physicochemical properties of infrared and lye peeled kiwi fruits in optimum conditions

Peeling conditions	Thickness of peel (mm)	AA content (mg/100g)	L*	a*	b*	Brix (%)	pH	Total acidity (g/100g)
Infrared Heating	0.4**	140**	37.61**	-4.80	17.55	12.03**	3.5	1.16
Hot lye	0.64**	119.9**	48.052**	-3.39	19.631	13.85**	3.5	1.19

** Correspond to significant difference at $p < 0.01$.

فرنگی نشان داد که ضخامت پوست جدا شده در روش پرتودهی مادون‌قرمز کمتر از روش قلیای داغ بوده است [۹]. لی و همکاران (۲۰۱۴) میانگین ضخامت پوست جدا شده گوجه‌فرنگی پوست‌گیری شده با قلیای داغ را ۰/۸۵ تا ۱/۰۶ میلی‌متر گزارش نمودند که در روش پرتودهی مادون‌قرمز این مقادیر به ۰/۳۹ تا ۰/۹۱ میلی‌متر کاهش یافت که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد. در روش قلیایی نیاز به محیط حرارت‌دهی (محلول قلیا) است و این رطوبت موجب چسبندگی بیشتر

۵-۱- ضخامت پوست جدا شده

میانگین ضخامت پوست کیوی‌های پوست‌گیری شده در روش پرتودهی مادون‌قرمز ۰/۴ و در روش قلیای داغ ۰/۶۴ میلی‌متر به دست آمد که دارای تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بودند. در روش قلیایی ضخامت پوست جدا شده بیشتر بود که نشان دهنده آن است که گوشت بیشتری از میوه جدا شد و راندمان پوست‌گیری نسبت به روش پرتودهی مادون‌قرمز کمتر بود. مطالعات پن و همکاران در سال ۲۰۰۹ بر پوست‌گیری گوجه-

۵-۴- بریکس

دو روش پوست‌گیری اعمال شده، بر روی بریکس نمونه‌ها اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند که میزان بریکس نمونه‌ها در روش خشک پرتودهی مادون‌قرمز کمتر از روش قلیایی بود. علت این تفاوت معنی‌دار می‌تواند آن باشد که در روش پرتودهی مادون‌قرمز، پرتوهای تابیده شده در سطح نمونه جذب شده و تبدیل به گرما می‌شوند. بنابراین حرارت سطحی بوده و به گوشته میوه نفوذ نمی‌کند. اما در روش قلیایی نمونه تحت تأثیر دو عامل محلول سدیم هیدروکسید و حرارت مرطوب قرار می‌گیرد. در این صورت حرارت به بافت نمونه نفوذ بیشتری داشته و موجب ایجاد واکنش‌های فیزیکوشیمیایی بیشتری شده که منجر به افزایش بریکس خواهد شد.

۵-۵- pH و اسیدیته کل

دو روش پوست‌گیری بهینه‌سازی شده مذکور بر روی pH و اسیدیته کل نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری نداشتند. گالداس (۲۰۰۳) پس از پوست‌گیری کیوی با روش‌های دستی و قلیایی عدم تغییرات معنی‌دار را در این دو پارامتر را گزارش کرده است.

۶- نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی وارپته‌ها یواراد پس از پوست‌گیری با روش خشک پرتودهی مادون‌قرمز بررسی گردید. هر سه متغیر مستقل توان منبع پرتودهی، فاصله منبع پرتودهی با سطح نمونه و زمان پرتودهی بر روی متغیرهای پاسخ ضخامت پوست جدا شده، محتوای AA، شاخص‌های رنگی، بریکس، pH و اسیدیته کل نمونه‌ها تأثیرگذار بودند. این روش پوست‌گیری با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه‌سازی شد که شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت توان ۴۴۶ وات، فاصله ۷۰ میلی‌متر و مدت زمان ۱۲۵ ثانیه به دست آمد. تیمار کنترل، بهینه‌ی روش قلیای داغ (محلول سدیم هیدروکسید با غلظت ۱۵ درصد، دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۴ دقیقه) در نظر گرفته شد. در شرایط بهینه پرتودهی مادون‌قرمز مقادیر به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها عبارت بودند از: ضخامت پوست جدا شده ۰/۴ میلی‌متر، محتوای اسید آسکوربیک (mg/۱۰۰g) ۱۴۰، شاخص‌های رنگی $L^* = 37/61$ و $a^* = -4/8$ و $b^* = 17/55$ ، بریکس ۱۲/۰۳ درصد، pH=۳/۵

گوشت به پوست میوه در مقایسه با روش خشک پرتودهی مادون‌قرمز می‌شود [۱۳].

۵-۲- محتوای اسید آسکوربیک

میانگین محتوای AA در روش پرتودهی مادون‌قرمز و قلیای داغ به ترتیب ۱۴۰ و ۱۱۹/۹ (mg/۱۰۰g) گزارش شدند که در سطح ۱ درصد معنادار بودند. نتایج حاکی از آن است که ارزش تغذیه‌ای کیوی پس از پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز بهتر حفظ شد. نتایج گزارش شده توسط داگلاس در سال ۲۰۰۳ نشان می‌دهد که محتوای AA در پوست‌گیری قلیایی نسبت به روش دستی بیشتر حفظ گردید. اما با افزایش دما و مدت زمان حرارت-دهی در روش قلیایی محتوای AA کاهش یافت. این تفاوت معنادار در مقدار اسید آسکوربیک کیوی‌های پوست‌گیری شده در روش‌های متفاوت، مکان قرارگیری این ویتامین در کیوی است. اسید آسکوربیک دقیقاً زیر پوست کیوی، مانند بسیاری از میوه‌های دیگر قرار دارد. همان‌طور که در بخش ضخامت پوست جدا شده گفته شد، حین پوست‌گیری شیمیایی مقدار گوشت بیشتری به پوست چسبیده و جدا می‌شود و از میزان اسید آسکوربیک موجود در کیوی کاسته می‌شود. [۱۴].

۵-۳- شاخص‌های رنگی

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود میزان روشنایی نمونه‌های پوست‌گیری شده با روش پرتودهی مادون‌قرمز بیشتر حفظ شد و با روش قلیایی تفاوت معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت. همچنین میزان رنگ سبز کیوی‌ها در روش پرتودهی مادون‌قرمز بیش‌تر بود و با میزان آن در روش قلیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین در میزان شاخص b^* (زردی) نمونه‌ها پس از پوست‌گیری با روش‌های مذکور تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. گومز لویز و همکاران در سال ۲۰۱۴ یافتند که شاخص زردی کیوی در روش حرارتی با استفاده از آب داغ نسبت به روش‌های متداول دیگر، همچون دستی و قلیایی، دارای بیشترین مقدار خود بوده است. نتایج حاصل از پردازش تصویر نمونه‌ها حاکی از آن است که شاخص‌های رنگی تغییرات کم‌تری پس از پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز نسبت به روش قلیایی داشتند. نتیجه به دست آمده با یافته‌های پژوهش‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۵)، لی و همکاران (۲۰۱۴) و پن و همکاران (۲۰۱۵) بر روی پوست‌گیری عناب و هلو با هر دو روش پرتودهی مادون‌قرمز و قلیایی مطابقت دارد [۱۰، ۱۱، ۲۰].

- [9] Pan, Z., Li, X., Bingol, G., McHugh, T., Atungulu, G., (2009). Technical Note: Development of infrared radiation heating method for sustainable tomato peeling. *Applied engineering in agriculture*, 25(6): 935-941.
- [10] Wang, B., Venkitasamy, C., Zhang, F., Zhao, L., Khir, R., Pan, Z. (2016). Feasibility of jujube peeling using novel infrared radiation heating technology. *LWT-Food Science and Technology*, 69: 458-467.
- [11] Li, X., Zhang, A., Atungulu, G., Delwiche, M., Milczarek, R., Wood, D., Williams, T., McHugh, T., Pan, Z. (2014). Effects of infrared radiation heating on peeling performance and quality attributes of clingstone peaches. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1): 34-42.
- [12] Das, D. and Barringer, S. (2006). Potassium hydroxide replacement for lye (sodium hydroxide) in tomato peeling. *Journal of food processing and preservation*, 30(1): 15-19.
- [13] Li, X., Pan, Z., Atungulu, G., Zheng, X., Wood, D., Delwiche, M., McHugh, T. (2014). Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21: 123-130.
- [14] GULDAS, M. (2003). Peeling and the physical and chemical properties of kiwi fruit. *Journal of food processing and preservation*, 27(4): 271-284.
- [15] Guldaz, M. and Bayindirli, L. (2014). Mathematical analysis of caustic peeling of kiwifruits. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 18(2): 112-117.
- [16] Kaleoğlu, M., Bayindirli, L., Bayindirli, A., (2004). Lye peeling of 'Tombul' hazelnuts and effect of peeling on quality. *Food and bioproducts processing*, 82(3): 201-206.
- [17] Boyer, R.F. (1993). *Modern experimental biochemistry*. Benjamin/Cummings Pub. Co.
- [18] Salehi, F., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., Ziaifar, A. M. (2015). Enrichment sponge cake with dried mushroom powder button in the system, infrared-hot air, *Food novel technologies*, 3(9): 1-9.
- [19] Seyed Abadi, M. M., Sadeghi Mahoonak, A., Maghsodlu, Y. (2016). Effect of ultrafiltration process on quality characteristics of sour orange juice, *Iran Food Science and Technology*, 13(52): 119-129.
- [20] Pan, Z., McHugh, T., Valenti-Jordan, J., Masareje, C., (2015). Infrared based peeling of fruits and vegetables, Google Patents.
- اسیدیته کل (g/100g) 1/16. با توجه به نتایج به دست آمده در این بررسی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی کیوی پس از پوست‌گیری با فناوری پرتودهی مادون‌قرمز در مقایسه با روش متداول پوست‌گیری قلبی‌داغ تغییرات کمتری داشتند. با توجه به نتایج مذکور، پرتودهی مادون‌قرمز ضمن کاهش استفاده از آب و مواد شیمیایی طی فرایند پوست‌گیری، به عنوان روشی کارآمد برای جداسازی پوست کیوی پیشنهاد می‌شود که با استفاده از این فناوری کیفیت محصول تولید شده بیشتر و زمان فرایند کاهش می‌یابد. این مطالعه در راستای بررسی و گسترش روش پوست‌گیری ایمن و تولید محصولی سالم و با کیفیت بالا از کیوی صورت گرفت.

۷- منابع

- [1] Emam Jome, Z., Alaeddini, B. (2005). Quality improving of dried kiwi fruit and its formulation using pretreatment of osmosis, *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36(6): 1421-1427.
- [2] Peykani Machiani, Gh., Rafie, H., Mohammadi, A. (2009). Export Comparative Advantage of kiwi in Iran, *Journal of Research in Agricultural Economics*, 1(3): 47-62.
- [3] Gómez López, M., García Quiroga, M., Arbones Maciñeira, E., Vázquez Odériz, M., Romero Rodríguez, M. A. (2014). Comparison of different peeling systems for kiwifruit (*Actinidia deliciosa*, cv Hayward). *International Journal of Food Science & Technology*, 49(1): 107-113.
- [4] Garcia, E. and Barrett, D.M. (2006). Peelability and yield of processing tomatoes by steam or lye. *Journal of food processing and preservation*, 30(1): 3-14.
- [5] Milczarek, R.R. and Mccarthy, M.J. (2011). Prediction of processing tomato peeling outcomes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(5): 631-638.
- [6] Rock, C., Yang, W., Goodrich-Schneider, R., Feng, H. (2012). Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*, 4(1): 1-15.
- [7] Pan, Z. and Atungulu, G.G. (2010). *Infrared heating for food and agricultural processing*. CRC Press.
- [8] Sakai, N. and Hanzawa, T. (1994). Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends in Food Science & Technology*, 5(11): 357-362.

Effect of peeling process using infrared radiation technology on physicochemical properties of kiwi fruit

Mohammadi, Z. ^{1*}, Kashaninejad, M. ², Ziaiiifar, A. M. ³, Ghorbani, M. ³

1. M. Sc. Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2016/07/19 Accepted: 2016/09/21)

Infrared (IR) radiation heating can be used as a sustainable and effective method to eliminate the use of water and chemicals in the kiwifruit peeling process and enhance the quality of final products. The objective of this study was investigated the physicochemical properties of kiwifruits after IR dry peeling. The effects of power (250-850 W), distance between IR emitter and sample (10-70 mm) and heating time (40-125 s) on the thickness of peeled kiwifruit skin, ascorbic acid content, color parameters L*, a* and b*, brix, pH and total acidity of kiwifruit were investigated. Lye peeled kiwifruits were used as a control. The operating parameters of the IR peeling system were optimized using response surface methodology by Design-Expert software. The heating with a power of 446 W at the distance of 70 mm for 125 s were found as the optimum operating conditions. In this condition the thickness of peeled kiwifruit skin, ascorbic acid content, color parameters L*, a* and b*, brix, pH and total acidity was 0.4 mm, 140 (mg / 100 g), 37.61, -4.80, 17.55, 12.03%, 3.5 and 1.16 (g / 100 g), respectively. The IR peeled kiwifruit had significantly high ascorbic acid content and low thickness of peeled kiwifruit skin, color change and brix compared to lye peeled one.

Keywords: Kiwifruit, Peeling, Infrared radiation, Ascorbic acid, Response Surface Methodology

* Corresponding Author E-Mail Address: Mohammadizahra1991@yahoo.com