

پوست‌گیری کیوی با فناوری حرارتی مادون‌قرمز: تأثیر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد پوست‌گیری

زهرا محمدی¹ - مهدی کاشانی‌نژاد^{2*} - امان محمد ضیایی‌فر³ - محمد قربانی³

تاریخ دریافت: 1396/03/11

تاریخ پذیرش: 1396/11/02

چکیده

استفاده از مواد شیمیایی و حجم بالای آب مصرفی در پوست‌گیری کیوی به روش متداول قلبیایی، مشکلات زیست محیطی را به دنبال دارد. پرتوهای مادون‌قرمز به علت گرمایش سطحی سریع، به‌عنوان روش نوین پوست‌گیری مورد توجه قرار گرفته که در این تحقیق کاربرد آن در پوست‌گیری کیوی بررسی گردید. ابتدا دستگاه پوست‌گیر خشک مادون‌قرمز در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. تأثیر توان پرتوهای (محدوده 250-850 وات)، فاصله نمونه با منبع پرتوهای (محدوده 70-10 میلی‌متر) مدت و زمان پرتوهای (محدوده 45-125 ثانیه) بر عملکرد پوست‌گیری کیوی بررسی شد. پوست‌گیری قلبیایی با سدیم هیدروکسید 15 درصد و دمای 95 درجه سانتی‌گراد به مدت 4 دقیقه به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. پارامترهای عملیاتی پرتوهای مادون‌قرمز با روش سطح پاسخ بهینه‌سازی گردیدند. شرایط بهینه پوست‌گیری کیوی با پرتوهای مادون‌قرمز در توان 446 وات، فاصله نمونه از منبع پرتوهای 70 میلی‌متر و مدت زمان پرتوهای 125 ثانیه به‌دست آمد. نمونه‌های پوست‌گیری شده با پرتوهای مادون‌قرمز دارای کمترین کاهش وزن (4/5 در مقابل 11/7 درصد)، دمای سطحی (64/1 در مقابل 95 درجه سانتی‌گراد) و اختلاف رنگ (2/4 در مقابل 11/4) و بیشترین سفتی یافت (57/5 در مقابل 40 نیوتن) بودند و با نمونه شاهد اختلاف معناداری داشتند. از آنجا که پوست‌گیری با پرتوهای مادون‌قرمز فرایندی خشک و عاری از مواد شیمیایی می‌باشد، از پوست‌های جدا شده کیوی به‌راحتی می‌توان محصولات جانبی با ارزش افزوده تهیه نمود.

واژه‌های کلیدی: پرتو مادون‌قرمز، کیوی، پوست‌گیری قلبیایی، روش سطح پاسخ

مقدمه

جمعه و علاالدینی، 1384). اما به علت پوست مودار و نامطلوب کیوی، همواره پیش از فراوری، پوست‌گیری می‌شوند (Goksel & Atak, 2014).

به‌طور کلی سه روش پوست‌گیری در فراوری کیوی استفاده می‌شود. پوست‌گیری با شعله که منجر به کاهش عطر و طعم شده و استفاده از آن در صنعت غیرعملی است. پوست‌گیری با بخار فشار بالا (215 درجه سانتی‌گراد و 480 کیلوپاسکال) نیز موجب ضایعات، کاهش وزن و پخت بیش از اندازه می‌شود. روش سوم غوطه‌وری کیوی‌ها در محلول قلبیایی سدیم هیدروکسید (NaOH) می‌باشد که به علت کیفیت بالای محصول گسترش یافته است (Guldas, 2003). این روش‌های پوست‌گیری صنعتی نیازمند مصرف آب و انرژی زیادی بوده و در نتیجه حجم بالایی از پساب نیز تولید می‌شود. به‌ویژه در پساب‌های تولید شده از پوست‌گیری قلبیایی مقدار زیادی مواد آلی وجود داشته که مشکلاتی از جمله مدیریت پساب و تأمین بلند مدت آب را به همراه دارد که منجر به هزینه‌های بالا برای تولیدکنندگان و اثرات منفی قابل توجهی بر محیط زیست می‌شود (Garcia & Barrett, 2006; Rock et al., 2012). بر این اساس

کیوی میوه‌ای است که به علت دارا بودن مقادیر بالای فیبر، ویتامین‌های C و E و املاح، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ارزش غذایی و دارویی مناسبی دارد. این محصول اغلب به‌صورت تازه‌خوری مصرف می‌شود اما با توجه به تولید بالای کیوی در کشور می‌توان انتظار داشت مقدار قابل توجهی از این میوه پیش از رسیدن به دست مصرف‌کننده خراب گردد (زکی‌پور و همکاران، 1389). بدین منظور و با توجه به اهمیت اقتصادی میوه کیوی و جهت کاهش ضرر و زیان حاصل از این امر، می‌توان میوه‌های بیش از حد رسیده و درجه پایین را به محصولات فرایند شده با ارزش افزوده بالا تبدیل کرد (امام

1، 2 و 3- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(* مسئول مکاتبات: (Email: kashani@gau.ac.ir

DOI: 10.22067/ifstrj.v14i4.64826

مادون قرمز تغییرات رنگ کمتری در عناب‌های پوست‌گیری شده مشاهده شد و بافت بهتر حفظ گردید (Wang et al., 2016).

در پرتودهی مادون قرمز توان منبع پرتودهی، مدت زمان حرارت‌دهی و فاصله منبع پرتودهی پارامترهای مهم عملیاتی در فرایند پوست‌گیری محسوب می‌شوند که مستقیماً بر عملکرد پوست‌گیری شامل قابلیت پوست‌گیری، سهولت پوست‌گیری و کاهش وزن تأثیرگذار است. توان منبع پرتودهی بر شار حرارتی که بر سطح محصول برخورد می‌کند تأثیر دارد. در توان‌های بالا شار حرارتی بیشتری تولید شده که منجر به پوست‌گیری بهتری می‌شود. مدت زمان حرارت‌دهی فاکتور مهم دیگری است که جهت تولید محصولی با کیفیت بالا باید طی پوست‌گیری بهینه‌سازی شود. پرتودهی طولانی مدت ممکن است انرژی حرارتی بیشتری را ایجاد کند اما منجر به افت کیفیت و از بین رفتن ارزش مواد مغذی خواهد شد. پرتودهی کوتاه مدت نیز حرارت مورد نیاز برای جداسازی پوست را تأمین نکرده و قابلیت پوست‌گیری را کاهش می‌دهد. زمانی که حرارت‌دهی بر روی کیوی در حال چرخش صورت می‌گیرد، فاصله منبع پرتودهی تا سطح کیوی نیز بر روی عملکرد پوست‌گیری مؤثر است. در دستگاه حرارت‌دهی چرخان، کنترل فاصله بین منبع پرتودهی و سطح نمونه می‌تواند در تنظیم شار حرارتی مورد نیاز برای پوست‌گیری مناسب با راندمان بالا تأثیرگذار باشد. بنابراین برای دستیابی به عملکرد پوست‌گیری مناسب و تولید محصولی با کیفیت بالا، باید شرایط پوست‌گیری با پرتودهی مادون قرمز بهینه‌سازی شود (Wang et al., 2016).

با وجود گزارشات مبنی بر مزایای فناوری پرتودهی مادون قرمز، هنوز از این فناوری در فراوری محصولات کشاورزی و تولید مواد غذایی به‌طور گسترده استفاده نشده است. همچنین با وجود بحران منابع آبی کشور و مشکلات اقتصادی و محیط زیستی ناشی از روش مرسوم پوست‌گیری شیمیایی، مطالعه‌ای بر پوست‌گیری کیوی با روش پرتودهی مادون قرمز صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش به امکان‌سنجی بهره‌گیری از فناوری نوین پرتودهی مادون قرمز در پوست‌گیری کیوی، ارزیابی عملکرد آن و بهینه‌سازی شرایط پوست‌گیری کیوی با پرتودهی مادون قرمز با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

دستگاه پوست‌گیر خشک میوه مادون قرمز در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد که نمای شماتیک آن در شکل 1 مشاهده می‌شود. این دستگاه از دو بخش منبع پرتودهی مادون قرمز و گرداننده میوه تشکیل شده است. عملکرد دستگاه بدین صورت است که با چرخاندن آهسته و یکنواخت میوه زیر منبع پرتودهی، امواج

نیاز به استفاده و توسعه یک فناوری نوین و مناسب برای پوست‌گیری میوه‌ها و سبزی‌ها مانند کیوی در صنایع غذایی احساس می‌شود که بتوان ضمن محدود کردن آب و مواد شیمیایی و حداقل کردن میزان پساب، محصول پوست‌گیری شده با کیفیت بالا تولید کرد.

امروزه پرتودهی مادون قرمز به‌عنوان یک فناوری نوین در بخش‌های مختلفی از صنایع غذایی مانند خشک کردن سبزی‌ها، سرخ کردن گوشت، پخت نان، بیسکویت و پیتزا و برشته کردن غلات و قهوه توسعه یافته است (Salehi et al., 2016; Bagheri et al., 2016; Seyedabadi et al., 2016) و در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌توان از آن در پوست‌گیری میوه‌ها نیز بهره گرفت (Richardson, 2001). به علت عدم استفاده از آب و یا بخار در پوست‌گیری با پرتو مادون قرمز، هارت و همکاران (1970) اولین بار اصطلاح پوست‌گیری خشک را برای این روش ارائه دادند و از حرارت‌دهی مادون قرمز به‌عنوان تیمار کمکی برای پوست‌گیری قلیایی استفاده کردند. ساکایی و هانزاوا (1994) طی تحقیقاتی دریافتند که نفوذ پرتو مادون قرمز بسیار کم بوده و تقریباً تمام انرژی آن در سطح ماده به گرما تبدیل می‌شود. استفاده از تیمار حرارتی مادون قرمز پس از تیمار قلیایی روی سیب‌زمینی سفید و هلو، استفاده از قلیا را کاهش داد و پساب ناشی از پوست‌گیری قلیایی را به حداقل رساند (Pan et al., 2009) و همکاران (2009) برتری پوست‌گیری خشک با پرتودهی مادون قرمز را بر روش قلیایی در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی گزارش نمودند. در روش مادون قرمز وزن از دست رفته به‌طور معناداری در مقایسه با روش قلیایی کاهش یافت. در پژوهشی دیگر Li و همکاران (2014b) تأثیر پرتودهی مادون قرمز بر روی پوست‌گیری هلو در شرایط مختلف پرتودهی مورد بررسی قرار دادند. در مقایسه با روش مرطوب قلیایی، پوست‌گیری با پرتودهی مادون قرمز نتایج قابل قبولی را جهت دستیابی به قابلیت پوست‌گیری بالا (بیشتر از 80mm² به ازای 100 mm²) و راندمان پوست‌گیری مناسب (بیشتر از 90 g به ازای 100 g) نشان داد. همچنین در این روش ویژگی‌های رنگی و بافتی محصول پوست‌گیری شده بهتر حفظ شد. پروفیل‌های دمایی در نقاط مختلف هلو، افزایش دمای چشمگیری را در سطح و دماهای پایین را در بخش‌های داخلی هلو نشان داد (Li et al., 2014 b) و Wang (2016) تأثیر پارامترهای عملیاتی شامل شدت تابش (5/25-6/07 W/cm²)، فاصله دو سطح تابنده (75-85 mm) و مدت زمان حرارت‌دهی (40-60 s) را بر عملکرد پوست‌گیری عناب مورد بررسی قرار دادند. همچنین شرایط بهینه پوست‌گیری را شدت تابش 5/25 W/cm²، فاصله دو تابنده 75 mm و مدت زمان حرارت‌دهی 56 ثانیه گزارش نمودند. در این شرایط قابلیت پوست‌گیری 96 درصد، سهولت پوست‌گیری 3/8 و کاهش رطوبت 1/29 درصد در دمای سطحی 115 درجه سانتی‌گراد حاصل شد. در مقایسه با روش قلیایی، در پرتودهی

حرارتی مادون قرمز (TES، تایوان) اندازه‌گیری و جهت اندازه‌گیری رطوبت از دست رفته طی پرتوهای توزین شدند. سپس جهت بررسی عملکرد پوست‌گیری طبق روش Wang و همکاران (2016)، پوست نمونه‌ها با دست جدا شد. جهت تعیین حدود بالا و پایین پارامترهای عملیاتی (توان منبع پرتوهای، فاصله منبع پرتوهای با محصول و مدت زمان حرارت‌دهی) آزمون‌های اولیه‌ای انجام شد. توان‌های مختلف لامپ مادون قرمز توسط دستگاه آنالیز توان لوترون (DW-6090A، تایوان) اندازه‌گیری و محدوده توانی 250-850 وات انتخاب گردید. شدت تابش مادون قرمز در توان‌های مذکور در محدوده $1/73$ تا $5/9 \text{ W/cm}^2$ بودند. فاصله منبع پرتوهای با نمونه در محدوده 70-10 میلی‌متر و مدت زمان حرارت‌دهی در محدوده 125-45 ثانیه برای آزمون‌های پیشنهادی RSM در نظر گرفته شد.

پوست‌گیری قلیایی

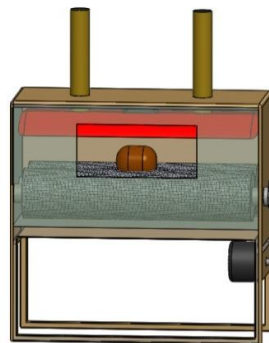
پوست‌گیری قلیایی (محلول سدیم هیدروکسید با غلظت 15 درصد، دمای 95 درجه سانتی‌گراد و مدت زمان 4 دقیقه) به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. محلول سدیم هیدروکسید 15 درصد تهیه و در حمام آب داغ (Memmert، آلمان) تا دمای 95 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. نمونه در محلول سدیم هیدروکسید داغ با نسبت 1 به 3 به مدت 4 دقیقه غوطه‌ور گشت. جهت جلوگیری از پخته شدن و حذف قلیا و پوست، نمونه به سرعت زیر شیر آب با دمای 20 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا سرد شود (Gómez-López et al., 2014).

بررسی عملکرد پوست‌گیری

قابلیت پوست‌گیری، سهولت پوست‌گیری، کاهش رطوبت و وزن، دمای سطح جهت بررسی عملکرد پوست‌گیری اندازه‌گیری شدند. قابلیت پوست‌گیری، مقدار کمی پوست جدا شده را نشان می‌دهد که برابر است با مقدار پوست حذف نشده در واحد وزن (cm^2/g) و بر اساس سازمان غذا و داروی آمریکا این مقدار باید کمتر از $0/015$ (cm^2/g) باشد که برابر است با بالای 98 درصد پوست جدا شده. برای اندازه‌گیری قابلیت پوست‌گیری، نسبت مساحت پوست جدا شده به مساحت کل پوست کیوی نیز تعریف شده است. بدین منظور ابتدا 10 کیوی به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب گردید و پوست آنها با چاقو جدا و روی کاغذ شطرنجی قرار داده شد و بدین صورت میانگین کل مساحت کیوی 100 سانتی‌متر مربع به‌دست آمد. مساحت پوست باقی مانده پس از هر پوست‌گیری نیز با قرار دادن بر روی کاغذ شطرنجی محاسبه شد و با اختلاف این دو مقدار، مساحت پوست جدا شده به‌دست آمد (Li et al., 2014 b; Wang et al., 2016).

سهولت پوست‌گیری، نوعی درجه‌بندی است که توسط مور

مادون قرمز به لایه‌ی سطحی میوه نفوذ کرده و تنها دمای سطح آن را افزایش می‌دهد. در این حالت پوست از گوشته جدا خواهد شد. یک محفظه از جنس استیل به‌عنوان بازتابنده پرتو در اطراف لامپ سرامیکی (با ابعاد 240×60 میلی‌متر و توان 1000 وات، ایران) تعبیه گردید تا پرتوهای مادون قرمز ساطع شده، در بخش چرخاننده میوه متمرکز شوند و اتلاف حرارتی به حداقل رسیده و حرارت‌دهی یکنواختی در سطح کیوی صورت پذیرد. زمانی که میوه روی غلطک‌های چرخان قرار می‌گیرد، به آهستگی می‌چرخد و بدین ترتیب تمام سطح آن در مقابل منبع پرتوهای قرار می‌گیرد.



شکل 1- نمای روبروی دستگاه پوست‌گیر خشک میوه با پرتوهای مادون قرمز

تهیه و آماده‌سازی کیوی

کیوی رقم هایوارد (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) از باغات استان گلستان تهیه شدند و به سردخانه‌ای با دمای صفر درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 95-90 درصد انتقال یافتند. پس از سایزبندی، نمونه‌های سالم با ابعاد یکسان به‌صورت تصادفی برای انجام آزمایش انتخاب گردیدند. متوسط ابعاد و بریکس اندازه‌گیری شده به‌ترتیب حدود 70، 52 و 50 میلی‌متر و 9 درصد بود. همچنین با ترازوی دیجیتالی (Kern، آلمان) با دقت $\pm 0/01$ گرم، متوسط وزن نمونه‌ها 101 ± 5 گرم اندازه‌گیری شد. جهت ایجاد شرایط بهینه دمایی، نمونه‌ها دو ساعت قبل از شروع آزمایش از سردخانه خارج شده تا دمای اولیه سطح آن‌ها یکنواخت شود. دمای سطحی نمونه‌ها پیش از پوست‌گیری 22 درجه سانتی‌گراد بود.

پوست‌گیری با پرتوهای مادون قرمز

جهت یکنواخت شدن دمای لامپ، دستگاه به مدت 5 دقیقه پیش از نمونه‌گذاری روشن شده و به دمای ثابتی رسید. سپس نمونه‌ها پس از توزین اولیه بر روی استوانه‌های چرخان گذاشته و پرتوهای آغاز شد. پس از گذشت مدت زمان لازم، دمای سطح کیوی‌ها با ترمومتر

پوست‌گیری) تا 5 (پوست‌گیری راحت) می‌باشد که در جدول 1 آورده شده است. سطوح بالاتر از 4 برای پوست‌گیری مناسب در نظر گرفته شدند (Pan et al., 2009).

(1990) ارائه گردید. جهت توصیف میزان سختی و راحتی پوست‌گیری کیوی حرارت دیده تحت شرایط مذکور از این شاخص استفاده می‌گردد. سهولت پوست‌گیری دارای سطوحی از 1 (غیر قابل

جدول 1- سطوح سهولت پوست‌گیری میوه‌ها و سبزی‌ها

درجه‌بندی	توصیف
1	پوست‌گیری بسیار سخت؛ عدم پوست‌گیری برخی مناطق و یا مقداری گوشت میوه به پوست برداشته شده می‌چسبد (0-25% پوست‌گیری).
2	پوست‌گیری در بسیاری از مناطق سخت است؛ ممکن است مناطقی پوست‌گیری نشوند (25-50% پوست‌گیری).
3	پوست‌گیری امکان‌پذیر است اما ممکن است پوست برخی مناطق به سختی جدا شود (50-75% پوست‌گیری).
4	پوست‌گیری با مقداری تلاش امکان‌پذیر است؛ مقدار زیادی از پوست به راحتی جدا می‌شود (75-98% پوست‌گیری).
5	پوست‌گیری بدون سختی امکان‌پذیر است؛ مقدار زیادی از پوست سریع و راحت جدا می‌شود (پوست‌گیری بالای 98%).

رنگ سطحی نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند با اسکنر رنگی و با دقت 600 DPI اسکن شد. تصاویر با فرمت JPEG و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. سپس با نرم‌افزار Image J (نسخه 1.42e، USA) و برنامه Color Space Converter از فضای رنگی RGB به $L^*a^*b^*$ تبدیل گردیدند. بدین ترتیب، مقادیر L^* (روشنایی)، a^* (سبزی) و b^* (زردی) به دست آمده در معادله 1 جای‌گذاری گشت و مقدار تغییر رنگ کلی $(\Delta E)^2$ که نمایانگر تغییرات رنگ نسبت به نمونه خام می‌باشد محاسبه گردید (Maskan, 2001).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

طراحی آزمایش RSM

روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD³) با سه متغیر مستقل جهت دستیابی به شرایط بهینه پوست‌گیری کیوی با پرتوهای مادون قرمز و حداکثر عملکرد پوست‌گیری و حداقل تغییرات بافت و رنگ استفاده شد. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل توان منبع پرتوهای X_1 (محدوده 250-850 وات)، فاصله منبع پرتوهای X_2 (محدوده 70-10 میلی‌متر) و مدت زمان پرتوهای X_3 (محدوده 125-45 ثانیه) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل قابلیت پوست‌گیری Y_1 (cm²/g)، سهولت پوست‌گیری Y_2 ، کاهش رطوبت Y_3 (%، کاهش وزن Y_4 (%، دمای سطحی Y_5 (°C)، نیروی فشردسازی Y_6 (N) و اختلاف رنگ Y_7 بودند. تیمارها در 20 آزمایش شامل 6 تکرار در نقطه مرکزی پیچیده شدند (جدول 2).

داده‌های تجربی به دست آمده بر مدل چند جمله‌ای درجه دوم برازش شد. معادله درجه دوم کلی برای پیش‌بینی نقطه بهینه در معادله 2 تعریف شد:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad (2)$$

کاهش رطوبت با محاسبه تغییرات وزن کیوی‌ها قبل و بعد از پرتوهای به دست آمد که نشان‌دهنده میزان تبخیر طی پرتوهای مادون قرمز است. جهت محاسبه کاهش وزن، تغییرات وزن نمونه‌ها قبل و بعد از پوست‌گیری در نظر گرفته شد که شامل وزن پوست جدا شده و رطوبت تبخیر شده طی پوست‌گیری می‌باشد و به‌عنوان محصول جانبی یا ضایعات محسوب می‌شود. بنابراین هرچه مقدار وزن از دست رفته کمتر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود (Wang et al., 2016).

دمای سطح نمونه پارامتری مهم و تأثیرگذار بر رطوبت از دست رفته می‌باشد. بنابراین دمای سطح کیوی‌ها در هر بار پرتوهای مادون قرمز با ترمومتر غیرتماسی مادون قرمز در 3 نقطه سطحی (مرکز، بالا و پایین) اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت گردید. در پوست‌گیری قلیایی دمای سطح کیوی برابر با دمای محلول قلیا فرض شد و دمای آن با دماسنج معمولی اندازه‌گیری گردید (Wang et al., 2016).

بافت

ارزیابی بافت کیوی‌های پوست‌گیری شده با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TA.XT plus، انگلیس) با آزمون فشردسازی، نفوذ¹ انجام شد. بدین منظور از پروب استوانه‌ای مسطح با قطر 25 میلی‌متر (P25)، عمود بر محور طولی کیوی استفاده شد. عمق نفوذ پروب در مرکز نمونه 5 میلی‌متر و سرعت نفوذ 5 میلی‌متر بر ثانیه بود. حداکثر نیروی فشار طی نفوذ (نیوتن) به‌عنوان سختی نمونه‌ها تعیین گردید (Pan et al., 2015).

تغییر رنگ

به‌منظور بررسی تغییر رنگ از فضای رنگی $L^*a^*b^*$ استفاده شد.

استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) و محاسبه مقدار F برای داده‌ها مشخص گردید (Wang et al., 2016).

که در معادله 2، b_0 (جزء ثابت)؛ b_1 ، b_2 و b_3 (اثرات خطی)؛ b_{11} ، b_{22} و b_{33} (اثرات درجه دوم) و b_{12} ، b_{13} و b_{23} (اثرات متقابل) ضرایب اجزای چند جمله‌ای هستند. معناداری اجزای مدل برای هر پاسخ با

جدول 2- تیمارهای آزمایش بر اساس متغیرهای مستقل پوست‌گیری مادون‌قرمز در طرح آماری سطح پاسخ

شماره تیمار	توان دستگاه (W)	فاصله لامپ از نمونه (mm)	مدت زمان پرتودهی (s)
1	250	40	85
2	550	10	85
3	850	70	45
4	850	70	125
5	550	70	85
6	850	10	45
7	250	70	45
8	550	40	45
9	250	10	45
10	550	40	85
11	250	10	125
12	550	40	125
13	250	70	125
14	550	40	85
15	550	40	85
16	850	10	125
17	550	40	85
18	850	40	85
19	550	40	85
20	550	40	85

کفایت مدل شامل R^2 ، R^2 اصلاح شده، ضریب تغییر و دقت کافی بودند.

معناداری متغیرهای فرایند در مدل‌های پیشنهادی در سطح 0/01 درصد با R^2 بالای 94 درصد در جدول 3 ارائه شده است که این مقادیر مطابقت مناسبی را بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. مقادیر پایین C.V گویای تغییرات کم و ثبات بالای مدل می‌باشد. برای دقت کافی مقادیر بالای 4 مطلوب در نظر گرفته می‌شود (Wang et al., 2016). مقدار دقت کافی مدل‌های پیشنهادی بین 14/616 و 45/787 به دست آمد. بنابراین می‌توان از مدل‌های برازش شده جهت بهینه‌سازی متغیرهای فرایند برای پوست‌گیری کیوی استفاده کرد.

بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد پوست‌گیری قابلیت پوست‌گیری

اثر پارامترهای عملیاتی بر عملکرد پوست‌گیری با استفاده از ضرایب معنادار معادله رگرسیونی چند جمله‌ای درجه دوم مورد بررسی

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طراحی آزمایش‌ها، آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 9.0.6 صورت پذیرفت. جهت مقایسه میانگین داده‌های به دست آمده از روش پوست‌گیری پرتودهی مادون‌قرمز در شرایط بهینه با تیمار شاهد (روش قلیایی) از آزمون t استفاده شد.

نتایج و بحث

برازش مدل‌های سطح پاسخ

تجزیه واریانس جهت ارزیابی اثرات معنادار متغیرهای فرایند بر هر یک از پاسخ‌ها انجام شد و نتایج ANOVA برای پاسخ‌های مدل در جدول 3 نشان داده شده است. مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم پیش‌بینی شده توسط RSM برازش معناداری را نشان داد ($p < 0/0001$) و مقدار عدم برازش برای تمام مدل‌های برازش شده معنادار نبود ($p > 0/1105$). پارامترهای محاسبه شده جهت سنجش

زمان تغییر معناداری در میزان این پاسخ مشاهده نشد. افزایش قابلیت پوست‌گیری با افزایش توان دستگاه ناشی از حرارت‌دهی سطحی سریع و انتقال حرارت بالای ناشی از پرتودهی مادون قرمز می‌باشد. این نتیجه با یافته‌های مطالعات پیشین که بر روی گوجه‌فرنگی، هلو و عناب انجام شده بود مطابقت دارد (Pan et al., 2009; Wang et al., 2016).

قرار گرفت. همانطور که در جدول 4 ارائه شده است اثر خطی و درجه دوم توان دستگاه (X_1 و X_{12}) بر قابلیت پوست‌گیری معناداری بالایی داشت ($p < 0/0001$ و $p = 0/0005$). نمودارهای سه‌بعدی سطح پاسخ جهت بررسی اثرات متقابل معنادار پارامترهای عملیاتی بر روی قابلیت پوست‌گیری کیوی در شکل 2 آورده شده است. مقدار عددی قابلیت پوست‌گیری با افزایش توان دستگاه به تدریج کاهش یافت که افزایش در قابلیت پوست‌گیری را نشان می‌دهد. با تغییرات فاصله و

جدول 3- ارزیابی مدل‌های درجه دوم برازش شده برای متغیرهای پاسخ Y1- Y7

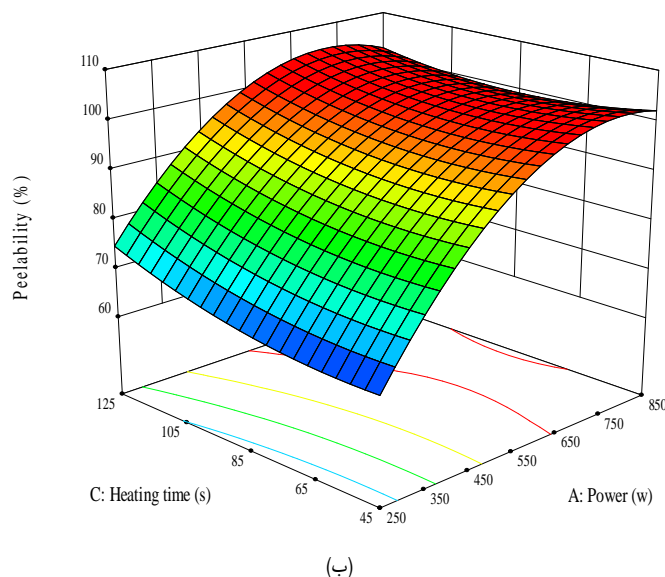
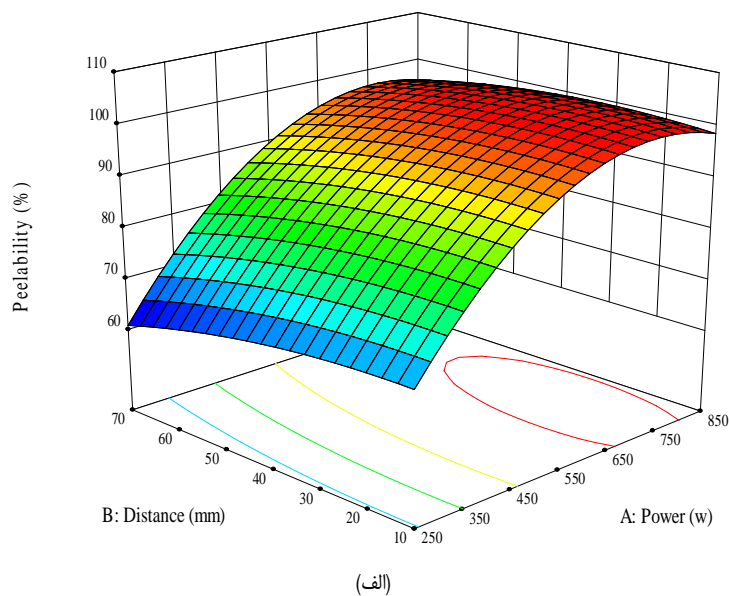
متغیرهای پاسخ							موارد ارزیابی
اختلاف رنگ Y_7	نیرو فشرده‌سازی Y_6 (N)	دمای سطح Y_5 ($^{\circ}C$)	کاهش وزن Y_4 (%)	کاهش رطوبت Y_3 (%)	سهولت پوست‌گیری Y_2	قابلیت پوست‌گیری Y_1 (%)	
$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	مدل (p)
0/4164 ns	0/1417 ns	0/2118 ns	0/2935ns	0/2401 ns	0/1105 ns	0/2364ns	عدم برازش (p)
0/9490	0/9911	0/9740	0/9538	0/9791	0/9890	0/9568	R^2
0/9032	0/9830	0/9505	0/9123	0/9604	0/9791	0/9179	R^2 اصلاح شده
19/60	3/12	4/03	14/64	15/38	4/54	41/43	C.V %
14/616	45/787	20/962	15/974	25/941	30/740	15/337	دقت کافی

* نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 0/01 درصد

جدول 4- ضرایب رگرسیونی پیش‌بینی شده و معناداری متغیرهای پاسخ Y1- Y7

اثرات درجه دوم			اثرات متقابل			اثرات خطی			عرض از مبدأ	پاسخ	
X_3^2	X_2^2	X_1^2	X_2X_3	X_1X_3	X_1X_2	X_3	X_2	X_1			
0/001	-0/002	-0/001	0/003	-0/002	0/001	-0/12	0/042	0/22	24/15	ضریب	قابلیت پوست‌گیری
0/2792	0/4133	0/005*	0/8035	0/1266	0/3708	0/0859	0/0667	$<0/0001^*$		p	Y_1 (%)
0/0004	0/0007	-0/00001	0/00002	-0/0002	0/0000	0/010	-0/012	0/018	-2/65	ضریب	سهولت
0/5365	0/5365	$<0/0001^*$	0/6974	0/025*	0/0000	0/004*	0/0423*	$<0/0001^*$		p	پوست‌گیری Y_2
0/0002	0/0006	0/00001	-0/020	0/0000	0/003	0/001	-0/0005	0/41	-0/17	ضریب	کاهش رطوبت
0/2709	0/8807	0/0365*	0/4593	0/0180*	0/0806	0/0031*	0/0033*	$<0/0001^*$		p	Y_3 (%)
0/0006	-0/0008	-0/00002	0/00005	-0/00003	-0/00006	-0/114	-0/059	0/045	-3/66	ضریب	کاهش وزن
0/0544	0/1736	0/0007*	0/8149	0/2362	0/0813	0/0826	0/022*	$<0/0001^*$		p	Y_4 (%)
0/0003	-0/002	-0/00005	0/0000	0/00004	0/00005	-0/042	0/045	0/109	29/16	ضریب	دمای سطحی
0/7354	0/2878	0/0163*	0/0000	0/6269	0/6269	0/0857	0/0105*	$<0/0001^*$		p	Y_5 ($^{\circ}C$)
0/002	0/001	-0/00004	-0/0006	-0/0001	0/0004	-0/35	-0/07	-0/001	82/23	ضریب	نیرو فشرده‌سازی Y_6 (N)
0/0121*	0/3145	0/0019*	0/2054	0/01*	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$	$<0/0001^*$		p	
0/0000	-0/0001	0/00002*	-0/0001	0/0000	0/0000	0/078	0/003	-0/008	3/75	ضریب	اختلاف
0/0000	0/8753	0/0079	0/5379	0/0000	0/0000	0/7802	0/01*	$<0/0001^*$		p	رنگ Y_7

* نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5 درصد

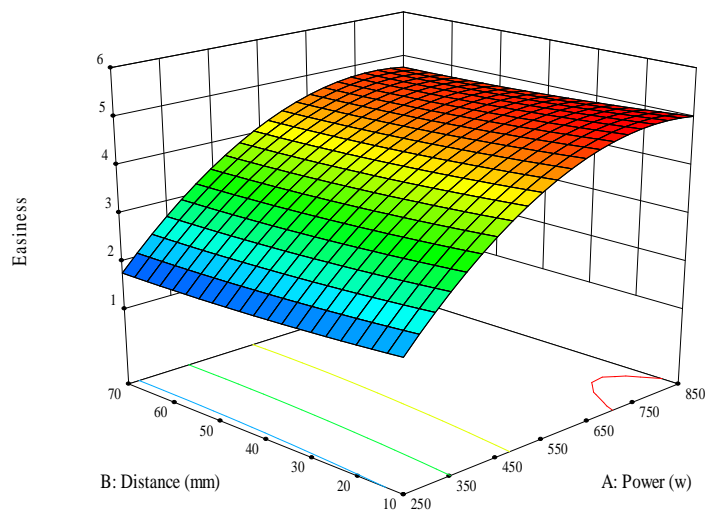


شکل 2- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتوهای مادون قرمز بر قابلیت پوست‌گیری، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان

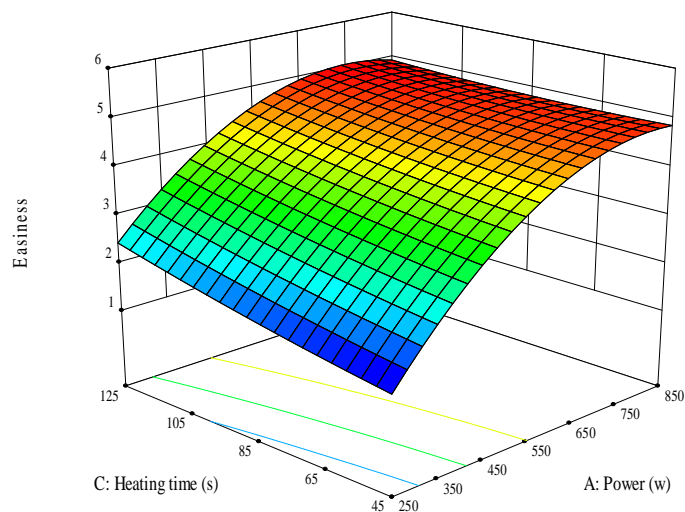
سهولت پوست‌گیری

اثرات خطی شامل متغیرهای تحت بررسی فرایند توان، فاصله و زمان در سطح 5 درصد، اثر متقابل توان و زمان در سطح 1 درصد و اثر درجه دوم توان در سطح 0/01 درصد بر سهولت پوست‌گیری معنادار بودند (جدول 4). شکل 3 نشان می‌دهد که با افزایش توان و زمان پرتوهای سهولت پوست‌گیری افزایش می‌یابد. پیشنهاد پژوهش‌ها انجام شده توسط Pan و همکاران (2009)، Li و همکاران (2014 a) و Wang و همکاران (2016) با این نتایج مطابقت دارد. افزایش زمان

پرتوهای موجب فروپاشی بافت داخلی پوست شده و در نتیجه چسبندگی آن به گوشته میوه کاهش یافته و پوست راحت‌تر جدا می‌شود (Li et al., 2014 a). همچنین تأثیر افزایش توان دستگاه و حرارت ناشی از پرتوهای مادون قرمز بر مدول الاستیک غشای کوتیکولار گوجه‌فرنگی گزارش شده است (Wang et al., 2014). افزایش سهولت پوست‌گیری با افزایش توان دستگاه و زمان پرتوهای می‌تواند ناشی از افزایش خاصیت الاستیکی پوست کیوی باشد.



(الف)



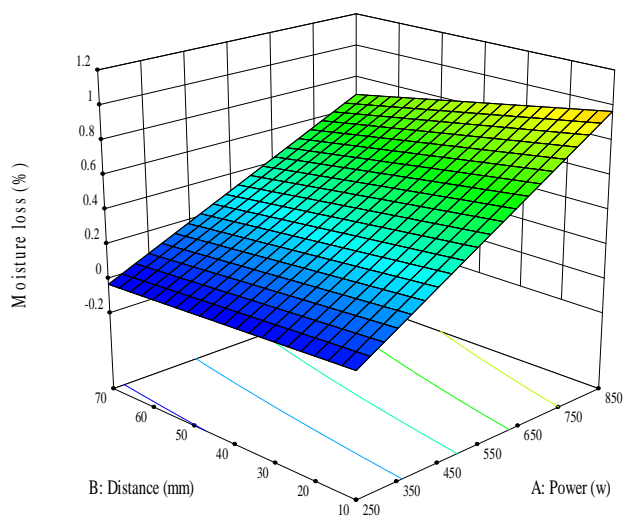
(ب)

شکل 3- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتوهای مادون قرمز بر سهولت پوست‌گیری، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان

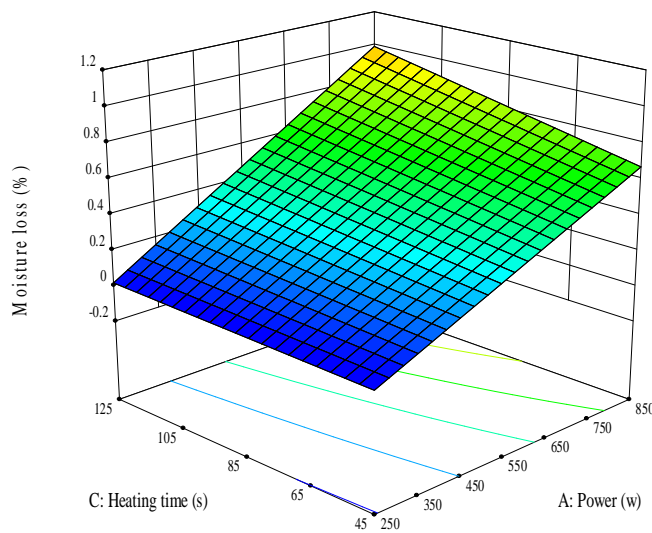
یافته‌های مطالعه انجام شده بر روی پوست‌گیری عناب مطابقت دارد (Wang *et al.*, 2016). با کاهش توان دستگاه ممکن است تجمع گرما و تبخیر رطوبت سطحی طی پرتوهای کاهش یافته باشد که منجر به کاهش رطوبت از دست رفته گردیده است (Li *et al.*, 2014). همچنین اثرات متقابل دو پارامتر فاصله و زمان بر روی کاهش رطوبت کیوی تأثیر چندانی نداشته است.

کاهش رطوبت

با توجه به جدول 4 اثرات خطی تمام پارامترهای پوست‌گیری و اثر متقابل توان دستگاه و مدت زمان پرتوهای در سطح 1 درصد و اثر درجه دوم توان دستگاه در سطح 5 درصد بر کاهش رطوبت کیوی‌ها پس از پرتوهای معنادار بود. همان‌طور که در شکل 4 نشان داده شده است کاهش رطوبت با کم شدن توان دستگاه کاهش یافت که با



(الف)



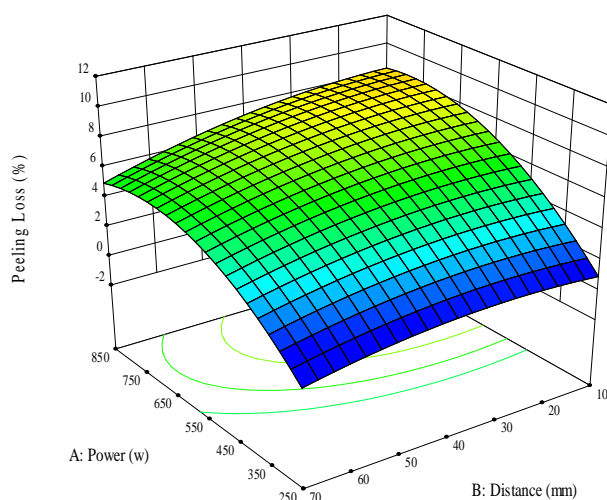
(ب)

شکل 4- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز بر کاهش رطوبت، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان

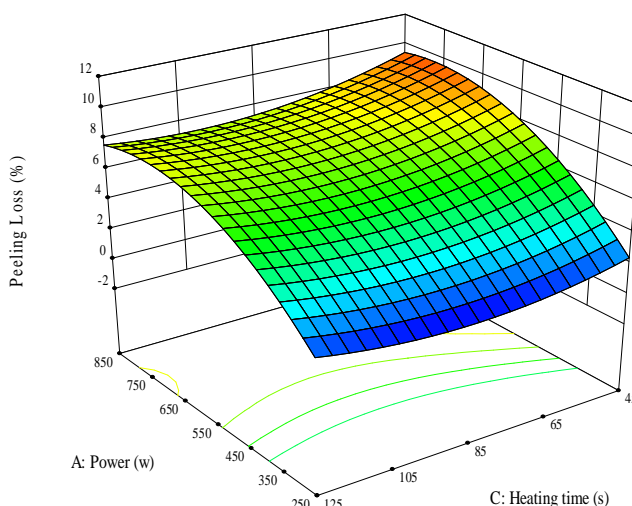
همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود با کاهش توان دستگاه و افزایش فاصله، میزان وزن از دست‌رفته کاهش یافت که با یافته‌های Pan و همکاران (2009) مطابقت دارد.

کاهش وزن

اثرات خطی توان دستگاه و فاصله منبع پرتودهی از نمونه و اثرات درجه دوم توان بر کاهش وزن معنادار بود ($p < 0/01$) و مدت زمان پرتودهی اثر معناداری بر این پاسخ نداشت ($p > 0/05$) (جدول 4).



(الف)



(ب)

شکل 5- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز بر کاهش وزن، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان

بافت

اثرات خطی متغیرهای تحت بررسی فرایند و اثر متقابل توان و فاصله بر بافت کیوی‌های پوست‌گیری شده با پرتودهی مادون‌قرمز بسیار معنادار گزارش شد ($p < 0/0001$). همچنین اثر متقابل توان و زمان و درجه دوم توان در سطح 1 درصد بر این پاسخ معنادار بود (جدول 4). همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود، با افزایش توان و مدت زمان حرارت‌دهی و کاهش فاصله نمونه از منبع پرتودهی، سفتی بافت کاهش یافت.

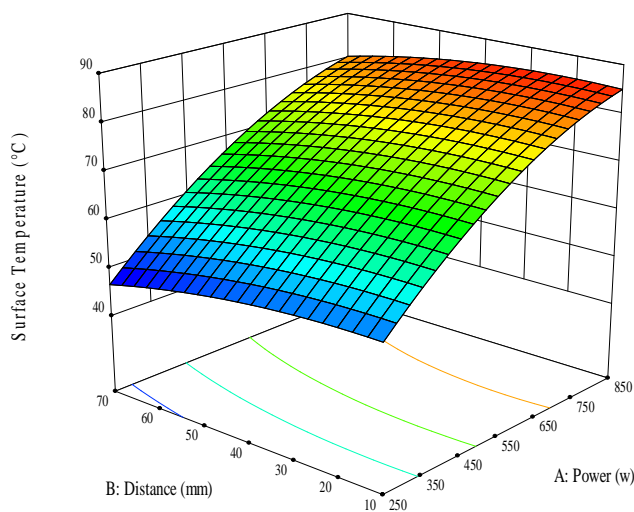
دمای سطحی

اثرات خطی توان دستگاه و فاصله و اثر درجه دوم توان دستگاه بر دمای سطحی در سطح 5 درصد معنادار بود (جدول 4). با افزایش توان دستگاه و مدت زمان پرتودهی و کاهش فاصله منبع پرتودهی از کیوی، دمای سطحی آن افزایش یافت (شکل 6) که این مورد به‌طور مشابه در پوست‌گیری هلو و عناب گزارش شد (Li *et al.*, 2014 b; Wang *et al.*, 2016). زمانی که توان دستگاه و مدت زمان پرتودهی افزایش می‌یابد، دمای سطحی میوه‌ها به‌طور ناگهانی بالا می‌رود که بیشتر به علت انتقال حرارت تابشی به سطح می‌باشد.

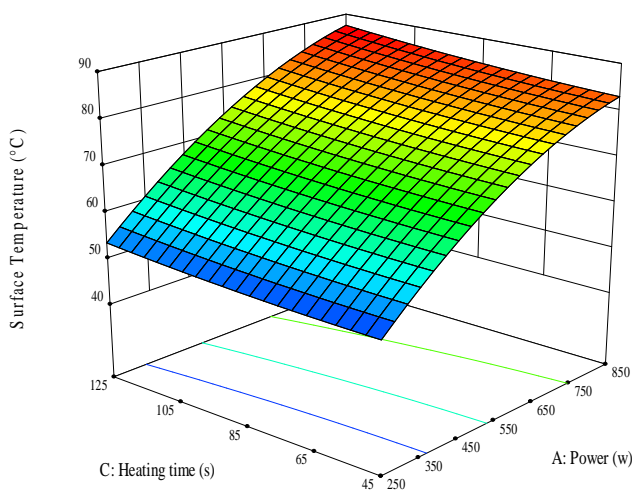
اختلاف رنگ

اختلاف رنگ یا ΔE نشان‌دهنده تفاوت کلی پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده رنگ بین نمونه خام و نمونه پوست‌گیری شده است و می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص اصلی برای بررسی تغییرات رنگ در طی فرآیند پوست‌گیری استفاده نمود (Wang et al., 2016). طبق جدول 4، اثرات خطی دو متغیر توان و فاصله بر تغییرات اختلاف رنگ نمونه‌ها در سطوح 0/01 و 1 درصد معنادار بود و از بین متغیرهای فرایند، تغییرات توان پرتودهی بیشترین تأثیر را بر این پاسخ داشت. با افزایش توان منبع پرتودهی، تغییرات رنگی بیشتر شد و با

افزایش مدت زمان پرتودهی تغییر معناداری در این پاسخ مشاهده نشد. یافته‌های به‌دست آمده از پوست‌گیری گوجه‌فرنگی، هلو و عناب با پرتودهی مادون‌قرمز نشان می‌دهد با افزایش توان دستگاه و مدت زمان حرارت‌دهی و کاهش فاصله لامپ از نمونه اختلاف رنگ نمونه‌ها بیشتر شده است (Li et al., 2014 a; Wang et al., 2016). همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌شود، با افزایش توان دستگاه اختلاف رنگ کیوی‌های پوست‌گیری شده افزایش یافت. در حالی‌که تغییرات دو پارامتر دیگر فاصله و زمان پرتودهی بر این پاسخ تأثیر چندانی نداشته است.

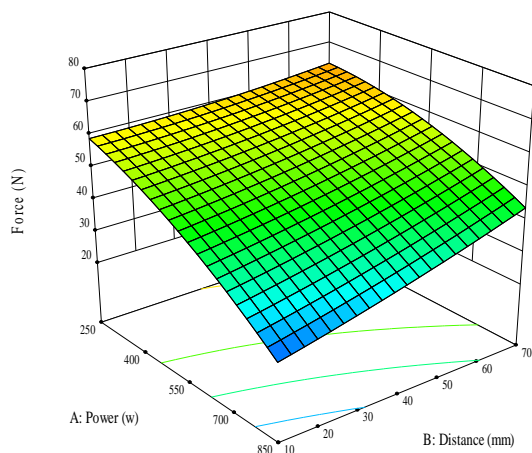


(الف)

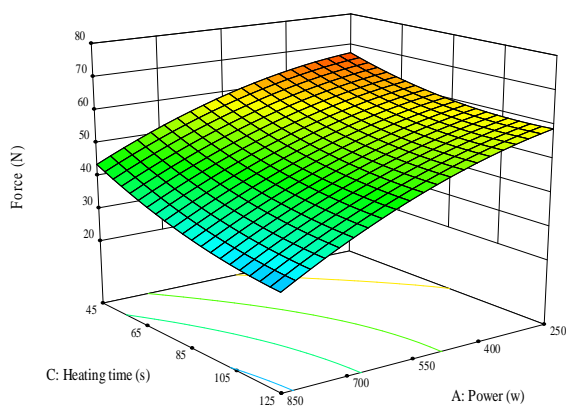


(ب)

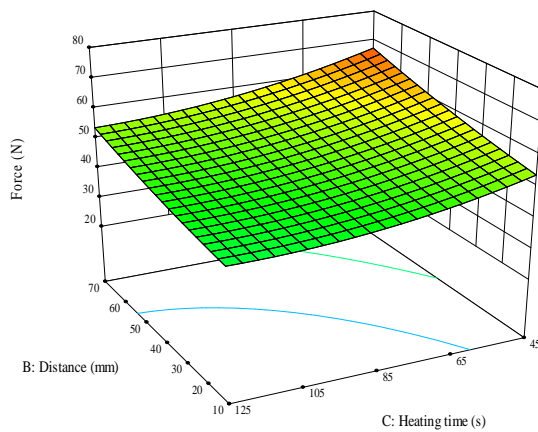
شکل 6- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز بر دمای سطحی، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان



(الف)

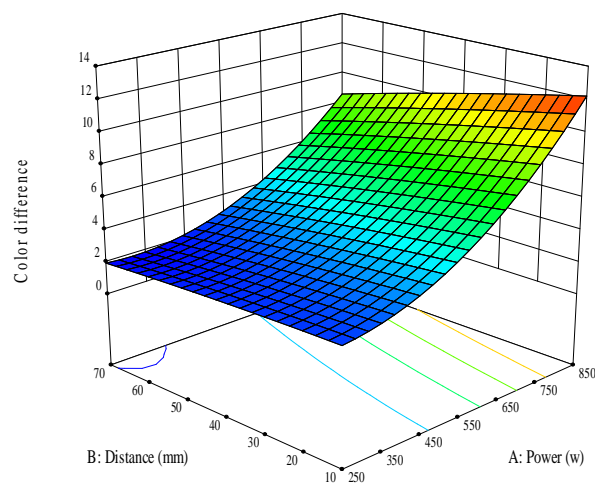


(ب)

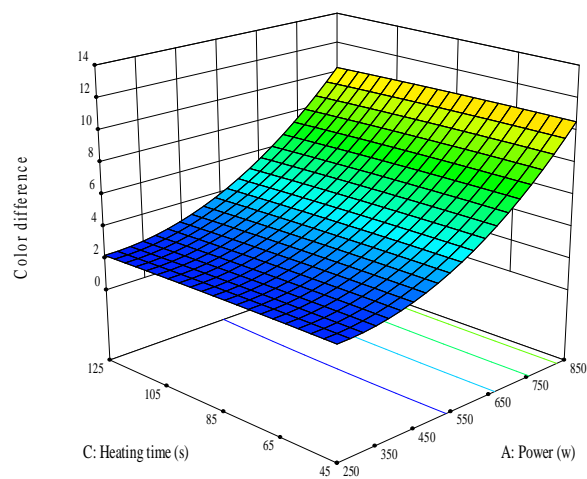


(ج)

شکل 7- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون قرمز بر سفتی بافت، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان، ج: فاصله و زمان



(الف)



(ب)

شکل 8- اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون قرمز بر اختلاف رنگ، الف: توان و فاصله، ب: توان و زمان

آمده برای هر یک از پاسخ‌ها عبارت بودند از: قابلیت پوست‌گیری 90٪، سهولت پوست‌گیری 4/5، رطوبت از دست رفته 0/18٪، وزن از دست رفته 4/5٪، دمای سطحی $64/1^{\circ}\text{C}$ ، نیروی فشرده‌سازی N 57/5 و اختلاف رنگ 2/4. همچنین دمای سطحی کیوی (74°C) از دمای سطحی گوجه‌فرنگی (95°C - 85°C)، عناب (115°C) و هلو (140°C) پرتودهی شده با مادون قرمز کمتر بوده است. علت این اختلاف دمایی ممکن است تفاوت در ضخامت و ویژگی‌های پوست میوه‌های مختلف باشد.

بهینه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی شده

شرایط بهینه پوست‌گیری کیوی با پرتودهی مادون قرمز برای دستیابی به حداکثر قابلیت پوست‌گیری، سهولت پوست‌گیری و سفتی بافت و حداقل کاهش رطوبت و وزن، دمای سطحی و تغییرات رنگ با استفاده از روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌ها و محدوده‌های مورد بررسی برای بهینه‌سازی در جدول 5 آورده شده است. بر این اساس، شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت توان پرتودهی 446 وات، فاصله 70 میلی‌متر و مدت زمان 125 ثانیه به دست آمد. شرایط مذکور با 3 تکرار انجام شده و میانگین به دست

جدول 5- شاخص‌ها و محدوده‌های بهینه‌سازی

متغیر / پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
توان (w)	داخل محدوده	250	850	-
فاصله (mm)	داخل محدوده	10	70	-
زمان (s)	داخل محدوده	45	125	-
قابلیت پوست‌گیری (%)	حداقل	0/00	0/371	+++++
سهولت پوست‌گیری	حداکثر	1/4	5	+++++
کاهش رطوبت (%)	حداقل	0/01	1/17	+++++
کاهش وزن (%)	حداقل	1/021	10/53	+++++
دمای سطحی (°C)	حداقل	48	86	+++++
نیروی فشرده‌سازی (N)	حداکثر	20/57	71/63	+++++
اختلاف رنگ	حداقل	1/96	12/05	+++++

میلی‌متر و مدت زمان 125 ثانیه) و قلبی‌ داغ (سود 15 درصد، دمای 95 درجه سانتی‌گراد و مدت زمان 4 دقیقه) نشان داده شده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون t انجام شد.

مقایسه دو روش پوست‌گیری پرتودهی مادون‌قرمز و قلبی‌ داغ در جدول 6 عملکرد پوست‌گیری کیوی با دو روش بهینه‌سازی شده پرتودهی مادون‌قرمز (توان پرتودهی 446 وات، فاصله 70

جدول 6- مقایسه عملکرد پوست‌گیری کیوی با دو روش پرتودهی مادون‌قرمز و قلبی‌ داغ در شرایط بهینه

شرایط بهینه پوست‌گیری	قابلیت پوست‌گیری (%)	سهولت پوست‌گیری	کاهش وزن (%)	دمای سطح (°C)	نیروی فشرده‌سازی (N)	اختلاف رنگ
پرتودهی مادون‌قرمز	90*	4/5	4/5**	64/1**	57/5*	2/40**
قلبی‌ داغ	100*	4/7	11/76**	95**	40*	11/4**

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد می‌باشند.

کاهش وزن، دمای سطحی و تغییرات رنگ بالاتر و بافت نرم‌تر کیوی‌ها در پوست‌گیری قلبی‌، فناوری پوست‌گیری خشک مادون‌قرمز روش جایگزین مناسبی برای جداسازی پوست کیوی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه امکان بهره‌گیری از پرتودهی مادون‌قرمز به‌عنوان روشی پایدار و جایگزین برای پوست‌گیری کیوی را نشان داد. پارامترهای عملیاتی پوست‌گیری با پرتودهی مادون‌قرمز شامل توان پرتودهی، فاصله منبع پرتودهی از نمونه و مدت زمان پرتودهی تأثیر معناداری بر عملکرد پوست‌گیری و دمای سطحی کیوی داشتند. روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی این پارامترها استفاده شد. که توان 446 وات، فاصله 70 میلی‌متر و زمان 125 ثانیه به‌عنوان شرایط بهینه به‌دست آمد. در این شرایط پاسخ‌های به‌دست آمده شامل قابلیت پوست‌گیری 100%، سهولت پوست‌گیری 4/5، کاهش رطوبت 0/18%، کاهش وزن 4/5% و دمای سطحی 64/1°C بودند. در مقایسه با روش قلبی‌ (تیمار شاهد)، وزن از دست رفته، دمای سطحی و اختلاف رنگ به‌طور معناداری کاهش یافت و سفتی بافت بیشتر حفظ گردید. بنابراین پرتودهی مادون‌قرمز ضمن کاهش استفاده

مقایسه عملکرد پوست‌گیری کیوی با پرتودهی مادون‌قرمز و روش قلبی‌ نشان داد که میان قابلیت پوست‌گیری و نیروی فشرده‌سازی دو روش در سطح 5 درصد و کاهش وزن، دمای سطحی و اختلاف رنگ در سطح 1 درصد اختلاف معنادار وجود دارد. اگرچه ممکن است پوست‌گیری کیوی به روش قلبی‌ روش راحت‌تری به‌نظر آید اما در این روش کاهش وزن (11/76%) حدود سه برابر روش پرتودهی مادون‌قرمز (4/5%) بود. در پوست‌گیری قلبی‌ عنب، وزن از دست رفته چهار برابر روش پرتودهی مادون‌قرمز گزارش شده است (Wang et al., 2016). همچنین دمای سطحی جهت پوست‌گیری مطلوب در روش قلبی‌ (95°C) به‌طور بسیار معناداری بیشتر از پرتودهی مادون‌قرمز (64/1°C) است که نشان‌دهنده مصرف انرژی بیشتر جهت تأمین دمای مورد نیاز در روش قلبی‌ است. با توجه به آنکه بافت یکی از مهمترین شاخص‌های کیفیت محصولات پوست‌گیری شده محسوب می‌شود، در روش پرتودهی بافت کیوی‌ها (57/ 5N) به‌طور معناداری سفت‌تر از روش قلبی‌ (40 N) بود. در مقایسه با روش قلبی‌، تغییرات رنگی کیوی‌های پوست‌گیری شده با مادون‌قرمز (2/4) به‌طور معناداری کمتر بود (11/4) ($p < 0/01$)، که حتی این مقدار کمتر از مقادیر تغییرات رنگی گزارش شده برای هلو (8) و عنب (10) می‌باشد (Wang et al., 2016). بنابراین با توجه به

مطالعه در راستای بررسی و گسترش روش پوست‌گیری ایمن و تولید محصولی سالم و با کیفیت بالا از کیوی صورت پذیرفت.

از آب و مواد شیمیایی طی فرایند پوست‌گیری، به‌عنوان روشی کارامدی برای جداسازی پوست کیوی پیشنهاد می‌شود که با استفاده از این فناوری وزن از دست رفته و زمان فرایند کاهش می‌یابد. این

منابع

- امام جمعه، ز. و علالدینی، ب.، 1384، بهبود شاخص‌های کیفی کیوی خشک شده و فرمولاسیون آن با استفاده از پیش فرایند اسمز، مجله علوم کشاورزی ایران، 36 (6)، 1421-1427.
- زکی‌پور ملک آبادی، ا.، حمیدی اصفهانی، ز. و عباسی، س.، 1389، فرمولاسیون لواشک از ضایعات کیوی، نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، 6 (4)، 263-270.
- Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaifar, A. M., & Aalami, M. 2016. Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 106-114.
- Goksel, Z. & Atak, A. 2014. Kiwifruit Processing Studies. Paper presented at the VIII International Symposium on Kiwifruit 1096.
- Gómez-López, M., García-Quiroga, M., Arbones-Macñeira, E., Vázquez-Odériz, M. L., & Romero-Rodríguez, M. A. 2014. Comparison of different peeling systems for kiwifruit (*Actinidia deliciosa*, cv Hayward). *International Journal of Food Science and Technology*. 49(1): 107-113.
- Guldas, M. 2003. Peeling and the physical and chemical properties of kiwi fruit. *Journal of food processing and preservation*. 27(4): 271-284.
- Li, X., Pan, Z., Atungulu, G. G., Zheng, X., Wood, D., & Delwiche, M. 2014 a. Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 21: 123-130.
- Li, X., Zhang, A., Atungulu, G. G., Delwiche, M., Milczarek, R., Wood, D., & Williams, T. 2014 b. Effects of infrared radiation heating on peeling performance and quality attributes of clingstone peaches. *LWT - Food Science and Technology*. 55: 34-42.
- Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48: 169-175.
- Pan, Z., Li, X., Bingol, G., McHugh, T. H., & Atungulu, G. 2009. Development of infrared radiation heating method for sustainable tomato peeling. *Applied Engineering in Agriculture*. 25(6):935-941.
- Richardson, R. 2001. Thermal technologies in food processing. *Woodhead Publishing, Boca Raton*.
- Rock, C., Yang, W., Goodrich-Schneider, R., & Feng, H. 2012. Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews*. 4(1): 1-15.
- Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F., & Najafi, A. 2016. Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. *Journal of food science and technology*, 53(3), 1418-1423.
- Seyedabadi, M., Kashaninejad, M., Mahoonak, A., & Maghsoudlou, Y. 2016. Effect of ultrafiltration process on quality characteristics of sour orange juice. *Journal of Food Science & Technology (2008-8787)*, 13(52).
- Wang, Y., Li, X., Sun, G., Li, D., & Pan, Z. 2014. A comparison of dynamic properties of processing-tomato peel as affected by hot lye and infrared radiation heating for peeling. *Journal of Food Engineering*. 126: 27-34.
- Wang, B., Venkatasamy, 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.

Kiwifruit peeling by infrared heating technology: Effects of operational parameters on peeling performance

Z. Mohammadi^a, M. Kashaninejad^{a*}, A. M. Ziaifar^a, M. Ghorbani^b

Received: 2017.06.01

Accepted: 2018.01.22

Introduction: The commercial lye peeling method used in kiwifruit processing industry is water and energy intensive process and has negative impact on the environment. Infrared (IR) technology has been proposed as an alternative to food processing technologies with attractive merits such as uniform heating, high heat transfer rate, reduced processing time and energy consumption, and improved product quality and safety. However, no previous reports were found on the feasibility of kiwifruit peeling using IR heating technology. Therefore, the goal of this research was to develop a new and sustainable peeling technology for kiwifruit using IR radiation heating.

Materials and methods: A lab scale IR dry-peeling system for kiwifruit was designed and constructed. The system consisted of two major sections including the IR heating and rotating rollers. The rotating kiwifruits (*Actinidia deliciosa* cv Hayvard) were heated using a ceramic IR element. The effects of IR radiation power (250-850 W), distance between IR emitter and sample (10-70 mm) and heating time (45-125 s) on the peeling performance of kiwifruit were investigated. The lye peeling method including 15% NaOH solution at 95°C for 4 min was selected as a control treatment. The operating parameters of IR peeling were optimized using RSM.

Results and Discussion: The second-order polynomial models predicted by RSM showed a significant fitting ($p < 0.0001$), and the lack of fit for all fitted models was found to be not significant ($p > 0.1105$). The validation experiments were in good agreement with the predicted values by the fitted models. The heating with a power of 446 W at the distance of 70 mm for 125 s were found as the optimum operating conditions for kiwifruit IR peeling. The comparison of the peeling performance of kiwifruit peeled by IR and by lye peeling showed that both the IR and lye peeling could produce a satisfactory peelability ($> 90\%$) and ease of peeling (> 4.5) for kiwifruit. The IR peeled kiwi had significantly low weight loss (4.5% vs. 11.7%), surface temperature (64.1°C vs. 95°C) and color difference (2.4 vs. 11.4) and high firmness (57.5 N vs. 40 N) compared to lye peeled treatment. Because the dry-peeling is a chemical- and water- free process, residuals of kiwifruit skins after IR peeling could be easily utilized as value-added by products. Based on the research results, it is concluded that IR dry-peeling has a promising potential for commercialization. This investigation should also help kiwifruit processing industry in developing the environmentally safe IR peeling technique to produce high quality products from kiwifruit.

Key words: Infrared radiation, Kiwifruit, Lye peeling, Response Surface Methodology

a. Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran

b. Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran

(Corresponding author, E-mail: kashani@gau.ac.ir)