

استفاده از دستگاه اهمیت در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی و بررسی تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی محصول

هدی قدیری^۱، امان محمد ضیائی‌فر^{۲*}، محمد قربانی^۲ و سارا آقاجان‌زاده سورکی^۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ دانشیار دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳ دکتری، گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*مسئول مکاتبه: Email: ziaiiar@gau.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: جهت پوست‌گیری گوجه‌فرنگی معمولاً از دو روش بخار و قلیا استفاده می‌شود که به ترتیب با مصرف انرژی بالا و بروز مشکلات زیست‌محیطی همراه می‌باشند. هدف: هدف از این پژوهش استفاده از سیستم اهمیت در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی به منظور تعیین شرایط بهینه، کاهش زمان فرایند پوست‌گیری و افزایش کیفیت محصول نهایی است. روش کار: جهت پوست‌گیری گوجه‌فرنگی از سیستم اهمیت استفاده و تأثیر میدان الکتریکی (محدوده ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ ولت بر متر) و غلظت محلول نمکی (محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ درصد وزنی/حجمی) بر پوست‌گیری گوجه‌فرنگی بررسی شد. پوست‌گیری با آب داغ در دمای ۱۰۰ °C به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. نتایج: نتایج نشان داد که پوست‌گیری به روش اهمیت نسبت به روش شاهد موجب ترک خوردن سریع‌تر پوست (۸۲ ثانیه در مقابل ۵۲۳ ثانیه)، افت کمتر وزن محصول (۱۰/۷٪ در مقابل ۱۶/۰۸٪) و شدت حرارت دهی کمتر (۳۳/۲۲ °C در مقابل ۴۰/۰۲ °C در نقطه سرد در انتهای فرایند) می‌شود. همچنین این روش باعث حفظ بیشتر محتوای اسید اسکوربیک (۴۰/۱۸ در مقابل ۳۶/۰۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) و حفظ بیشتر سفتی بافت (۱۹/۴۷ در مقابل ۳۰/۸۶ درصد فشردگی) نمونه‌ها شد. نتیجه‌گیری نهایی: استفاده از غلظت ۰/۲ درصد وزنی/حجمی محلول نمکی به همراه شدت میدان الکتریکی ۲۵۰۰ ولت بر متر به عنوان شرایط بهینه در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی تعیین شد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی، پوست‌گیری اهمیت، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، گوجه‌فرنگی

مقدمه

بالا، بیماری‌های قلبی عروقی و انواع سرطان‌ها را کاهش دهد (باومیک و همکاران ۲۰۱۲ و فیاض مهر و آصفی ۱۳۹۱). با توجه به میزان بالای سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی در ایران، فسادپذیری بالا و نیز ارزش غذایی بالای آن، تولید فراورده‌هایی نظیر رب، سس، آب-میوه و کنسرو گوجه‌فرنگی مورد توجه قرار گرفته است.

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicom*) سرشار از ویتامین‌های آ و ث، لیکوپن و مواد معدنی مختلف شامل منیزیم، پتاسیم، فسفر و منگنز می‌باشد (ریزا و همکاران ۲۰۰۲). مصرف این محصول می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های بسیاری مانند پوکی استخوان، فشارخون

استفاده از سیستم حرارت‌دهی اهمیک به همراه محلول نمکی به عنوان محیط حرارت‌دهی^۳ موجب کاهش زمان پوست‌گیری گوجه‌فرنگی شده است (ونگسا-گسری ۲۰۰۴ و راک و همکاران ۲۰۱۲). با وجود اینکه اثر سینرژیستی در استفاده از سیستم اهمیک به همراه محلول قلیایی گزارش شده است، ولی تحقیقات بیشتر، نشان داد استفاده از سیستم اهمیک بدون محلول قلیایی نتایج رضایت‌بخشی را در فرایند پوست‌گیری به همراه دارد (ونگسا-گسری و سستری ۲۰۱۶a).

در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی عموماً از محلول‌های قلیایی استفاده می‌شود که دفع پساب‌های شیمیایی ناشی از آن به عنوان عاملی مهم در آلودگی زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این امر و نیز اهمیت گوجه‌فرنگی و فراورده‌های آن در رژیم غذایی افراد جامعه، از این جهت، در این مطالعه به بررسی تاثیر استفاده از حرارت‌دهی اهمیک به همراه محلول نمکی در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

طراحی و ساخت سیستم پوست‌گیری اهمیک

دستگاه پوست‌گیری اهمیک در مقیاس آزمایشگاهی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طراحی و ساخته شد (شکل ۱). در دو طرف محفظه حرارت‌دهی اهمیک، دو الکترود از جنس استیل ضدزنگ ۳۱۴، با فاصله ۷ سانتی‌متری از یکدیگر قرار گرفتند. درون محفظه از محلول نمکی پر گردید. میدان الکتریکی توسط منبع تغذیه^۴ (Delta, MST-5KVA, Iran) متصل به الکترودها به محصول (گوجه‌فرنگی) قرار داده شده در میان دو الکترود اعمال گردید. با استفاده از ترموکوپل (نوع T) دمای نقطه سرد نمونه (مرکز گوجه‌فرنگی) ثبت شد. محفظه حرارت‌دهی اهمیک به منظور افزایش ایمنی

فرآیند پوست‌گیری از جمله عملیات مهم در فرآوری انواع میوه‌ها و سبزی‌ها می‌باشد که حدود ۶۰٪ از کل هزینه نیروی کار را به خود اختصاص می‌دهد (ونگسا-گسری ۲۰۰۴). پوست‌گیری فرایندی تلقی می‌شود که در آن حداکثر بخش خوراکی محصول حفظ شده و کم‌ترین آسیب به بافت، کیفیت و طعم محصول وارد شود (ساکار و برشیا ۲۰۰۷). از جمله روش‌های سنتی و رایج در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی استفاده از قلیا و بخار می‌باشد. این روش‌ها دارای مشکلات زیست‌محیطی و افت وزنی بالا می‌باشند (امیری اندی و همکاران ۱۳۹۵).

در پوست‌گیری اهمیک^۱ محصول غذایی بین دو الکترود قرار می‌گیرد و طی انجام فرایند به علت اعمال جریان الکتریکی دمای نمونه افزایش یافته و عمل پوست‌گیری تسهیل می‌یابد (آقاچان‌زاده و ضیایی‌فر ۲۰۱۸). از مزایای سیستم اهمیک زمان کوتاه فرآیند، گرم شدن یکنواخت محصول، طراحی یکپارچه و کم حجم سیستم، حفظ کیفیت و ارزش غذایی فراورده نهایی و راندمان بالای انتقال حرارت می‌باشد. محدودیت اصلی سیستم اهمیک مربوط به هزینه‌ی بالای راه‌اندازی آن در مقیاس صنعتی می‌باشد (راک و همکاران ۲۰۱۲). شدت حرارت‌دهی در سیستم اهمیک به هدایت الکتریکی محصول، اندازه ذرات، میدان الکتریکی و ویژگی‌های الکترود وابسته است. علاوه بر اثر حرارتی، الکترودپلاسمولیز^۲ به عنوان پدیده‌ای غیرحرارتی می‌تواند موجب شکستن سلول‌های گیاهی و جانوری، میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌ها شود. این تغییرات متناسب با شدت میدان الکتریکی اعمال شده موجب ایجاد منافذ با اندازه‌های متفاوت در دیواره سلولی می‌شود. به این ترتیب تخریب غشا سلولی اتفاق افتاده و پوست‌گیری انجام می‌شود (کوار و اگاروال ۲۰۱۵).

³ Medium

⁴ Variable

¹ Ohmic Heating

² Electroporeabilization

الکتریکی) آزمون‌های اولیه‌ای انجام شد. غلظت محلول نمکی بر اساس کارایی دستگاه در سه غلظت ۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی/حجمی انتخاب شد. شدت میدان الکتریکی با توجه به ظرفیت منبع تغذیه الکتریکی مورد استفاده در محدوده ۱۵۰۰ تا ۴۵۰۰ ولت بر متر در نظر گرفته شد. در طول انجام فرایند دمای محلول نمکی به وسیله‌ی گرماسنج مادون‌قرمز^۱ (BANNEX Ltd, China) ثبت شد. پس از ایجاد ترک در پوست گوجه‌فرنگی پوست گوجه‌فرنگی به راحتی به وسیله‌ی دست جدا شد (ونگسا-گسری ۲۰۰۴).

زمان ترک خوردن پوست

کلید وصل جریان برق دستگاه اهمیک و زمان‌سنج دیجیتالی برای ثبت زمان به طور هم‌زمان زده شد و به محض مشاهده ترک‌خوردگی در پوست گوجه‌فرنگی یا رسیدن دمای محلول نمکی به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (هرکدام زودتر اتفاق بیفتد)، با زدن کلید قطع جریان برق دستگاه اهمیک، فرایند متوقف شد و زمان موردنظر به عنوان زمان ترک خوردن پوست ثبت گردید.

درصد افت وزنی

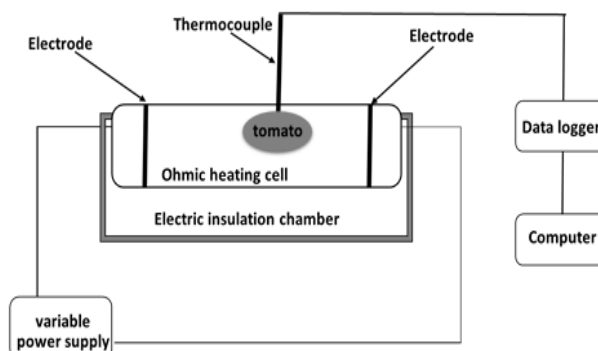
وزن گوجه‌فرنگی قبل و بعد از فرایند پوست‌گیری تعیین شد. اندازه‌گیری میزان افت وزن هر نمونه طی فرایند پوست‌گیری بر اساس معادله ۱ محاسبه شد (ونگسا-گسری و سستری ۲۰۱۶b).

$$\text{معادله [۱]} \quad \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100 = \text{درصد افت وزنی}$$

محتوای اسید اسکوربیک

در این تحقیق جهت اندازه‌گیری میزان اسید اسکوربیک از روش تیتراسیون ید (یدومتری) استفاده شد (کاشیپ و گواتام ۲۰۱۲). در این روش ابتدا یک میلی‌لیتر آب گوجه‌فرنگی را به یک بالن حجمی ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از افزودن یک میلی‌لیتر محلول شاخص نشاسته ۱٪، محلول

در حین کار، درون محفظه چوبی عایق جریان الکتریکی، قرار داده شد.



شکل ۱- شماتیک دستگاه پوست‌گیری اهمیک تهیه و

آماده‌سازی گوجه‌فرنگی

Figure 1- Schematic of the ohmic peeling system for tomato preparation

گوجه‌فرنگی با محدوده وزنی ۴۵ تا ۷۵ گرم، از بازار محلی گرگان (استان گلستان) خریداری شد. پس از شست‌وشو با آب، نمونه‌های سالم با ابعاد یکسان به صورت تصادفی برای انجام آزمایش انتخاب شدند. دمای سطحی نمونه‌ها پیش از پوست‌گیری 22 ± 1 درجه سانتی‌گراد بود.

پوست‌گیری گوجه‌فرنگی

پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با استفاده از آب داغ

پوست‌گیری حرارتی با استفاده از آب داغ به عنوان تیمار کنترل (شاهد) در نظر گرفته شد. پس از توزین اولیه، گوجه‌فرنگی در حمام آب گرم (Memert, WNB-22, Germany) با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و مدت زمان فرایند تا مشاهده اولین ترک‌خوردگی در پوست گوجه‌فرنگی ثبت گردید. در طول فرایند دمای مرکز گوجه‌فرنگی با استفاده از ترموکوپل (نوع T) اندازه‌گیری شد. پس از ترک خوردن پوست، گوجه‌فرنگی از حمام آب داغ خارج گردید و عمل پوست‌گیری با دست انجام گرفت (اسمیث و هوی ۲۰۰۸).

پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با سیستم اهمیک

نمونه پس از توزین اولیه در محلول نمکی موجود در دستگاه اهمیک قرار داده شد. جهت تعیین دامن‌های پارامترهای عملیاتی (غلظت محلول نمکی و شدت میدان

¹ Infrared Thermometer

حاصل آن با محلول ید تا ظهور رنگ آبی سیاه تیتیر شد. میزان میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه بر اساس معادله ۲ محاسبه شد (بسی و کینگ ۱۹۹۳ و بهرا و همکاران ۲۰۱۰):

معادله [۲]

$$\frac{100}{88} \times \text{حجم معرف مصرفی} = \text{اسید اسکوربیک (mg/100ml)}$$

جهت آماده سازی محلول ید ابتدا ۵ گرم پتاسیم یدید و ۰/۲۶۸ گرم پتاسیم یدات را در بالن ۵۰۰ میلی‌لیتری با ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خوبی حل شد و سپس به محلول حاصل ۳۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۳ مولار افزوده و با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (کاشیپا و گواتام ۲۰۱۲).

بررسی بافت نمونه

در این مطالعه، بافت گوجه‌فرنگی‌ها با روشی سنتی و مطابق روش ارائه شده توسط ونگسا-گسری و سستری (۲۰۱۶b) اندازه‌گیری شد. به منظور کاهش خطا در این روش، گوجه‌فرنگی به دو قسمت مساوی برش داده شد و هر قسمت آن تحت تیمار متفاوت قرار گرفت. پس از اعمال تیمارها، بلافاصله وزنه ۵۰۰ گرمی (ارتفاع ۶/۹ سانتی‌متر و قطر ۳/۸ سانتی‌متر) در امتداد محور استوایی گوجه‌فرنگی به مدت ۱۰ ثانیه قرار داده شد. استحکام بافت گوجه‌فرنگی به صورت درصد ارتفاع فشردگی طبق معادله ۳ تعیین شد. درصد فشردگی کمتر نشان‌گر بافت سفت‌تر گوجه‌فرنگی است

معادله [۳]

$$100 \times \frac{\text{ارتفاع بعد از فشردگی} - \text{ارتفاع قبل از فشردگی}}{\text{ارتفاع قبل از فشردگی}} = \text{درصد فشردگی}$$

تحلیل آماری

در این بررسی اثر استفاده از غلظت‌های مختلف محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی در بازه زمانی متناسب با فرایند پوست‌گیری در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی انجام شد. میانگین‌ها براساس آزمون دانکن در سطح ۹۵٪ مقایسه شدند. هر آزمون در سه تکرار انجام شد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱٫۳ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ صورت گرفت. بهینه‌سازی شرایط فرایند پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با استفاده از روش حرارت‌دهی اهمیت به کمک نرم‌افزار Design Expert (نسخه ۱۰) در قالب طرح فاکتوریل انجام گرفت. مقایسه نتایج حاصل از تیمار نمونه در سیستم اهمیت در شرایط بهینه با تیمار آب داغ با استفاده از آزمون t انجام شد.

نتایج و بحث

پوست‌گیری با استفاده از آب داغ

نتایج به دست آمده از پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با آب داغ در جدول ۱ گزارش شد. همچنین، تغییرات دمایی نقطه‌ای سرد گوجه‌فرنگی طی فرایند رسم شد (شکل ۲). زمان ترک خوردن پوست گوجه‌فرنگی در روش پوست‌گیری با آب داغ ۵۲۳/۳۳ ثانیه (حدود ۹ دقیقه) به‌دست آمد. در پژوهشی راک و همکاران (۲۰۱۲) زمان فرایند پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با استفاده از روش ترکیبی آب داغ+بخار را حدود ۱ دقیقه گزارش کردند. عدم استفاده از فشار بخار موجب به وجود آمدن این تفاوت شده است.

کمترین افت وزنی ناشی از پوست‌گیری دستی میوه‌ها در شرایط بهینه آزمایشگاهی ۷ تا ۱۰ درصد گزارش شد، درحالی که این افت در مقیاس صنعتی ۲۵ تا ۲۸ درصد تخمین زده می‌شود (بارینجر و همکاران ۱۹۹۹). افت وزنی در فرایند پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با روش ترکیبی آب داغ+بخار در محدوده ۳۰ تا ۵۰ درصد گزارش شده است (راک و همکاران ۲۰۱۲). در حالی که میزان افت وزنی در پوست‌گیری با آب داغ ۱۶/۰۸ درصد به‌دست آمد. استفاده از فشار بخار آب داغ، بافت محصول را نرم کرده و میزان افت وزنی را افزایش می‌دهد. همچنین می‌توان این تفاوت را به اختلاف در اندازه نمونه‌های خام نسبت داد، چرا که درصد افت وزنی برای گوجه‌فرنگی‌های با اندازه کوچک به دلیل بزرگ‌تر بودن

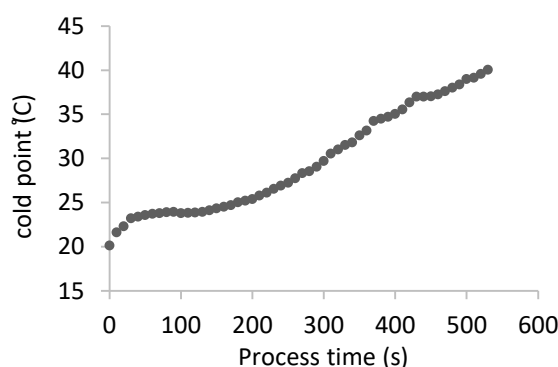
با آب داغ ۳۰/۸۶ درصد به دست آمد، استحکام بافت گوجه‌فرنگی به طور مستقیم با دمای انجام فرایند در ارتباط است. قرار گرفتن گوجه‌فرنگی در معرض آب داغ به مدت طولانی موجب نرم شدن بافت گوجه‌فرنگی و به وجود آمدن حالت پختگی در ظاهر محصول شد. نتیجه به دست آمده با نتایج گارسیا و بارت (۲۰۰۶) که بر روی پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با بخار مطالعه کردند، مطابقت دارد.

نسبت مساحت سطح به وزن گوجه‌فرنگی، بالاتر است (جاون و همکاران ۱۹۶۹).

محتوای اسید اسکوربیک موجود در گوجه‌فرنگی خام $40.7 \pm 7.7/83 \text{ mg}/100 \text{ ml}$ تعیین شد. استفاده از آب داغ در پوست‌گیری گوجه‌فرنگی موجب ۸ واحد کاهش در مقدار اسید اسکوربیک گردید که علت آن را می‌توان به تاثیر افزایش دما بر تخریب ویتامین دانست (آقاچان‌زاده و همکاران ۱۳۹۵). فشردگی بافت در روش پوست‌گیری

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی محصول در پوست‌گیری با آب داغ
Table 1- Physicochemical properties of the product in hot water peeling

parameters	value
Process time (s)	523.33±25.17
Weight loss (%)	16.08±3.00
Compression (firmness%)	30.86±0.91
Ascorbic acid (mg/100ml)	36.08±0.88
Cold point (°C)	40.02±0.40

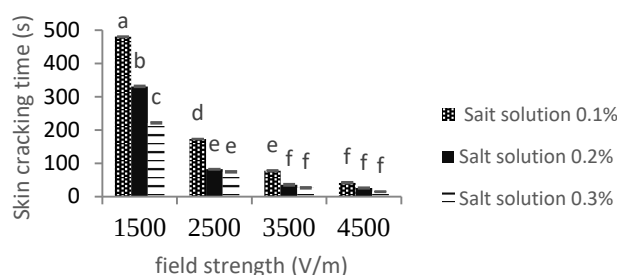


شکل ۲- تغییرات دمایی نقطه سرد محصول در پوست‌گیری با آب داغ
Figure 2- product cold point temperature changes in the hot water peeling

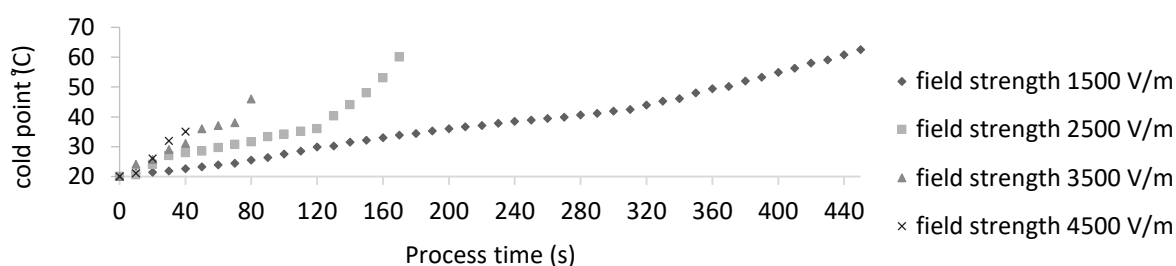
پوست گوجه‌فرنگی با سرعت بیشتری شروع به ذوب شدن می‌کند. همچنین، در یک شدت میدان الکتریکی ثابت، زمان ترک خوردن پوست نمونه‌ها نیز با افزایش غلظت محلول نمکی به میزان قابل توجهی کاهش یافت ($P < 0.05$). این امر را می‌توان به تولید بیش‌تر گرما ناشی از هدایت الکتریکی در محیط فراوری نسبت داد (ونگسا-گسری ۲۰۰۴). اثر متقابل دو پارامتر غلظت محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی نیز بر زمان ترک خوردن پوست محصول معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

پوست‌گیری به روش حرارت‌دهی اهمیتیک زمان ترک خوردن پوست

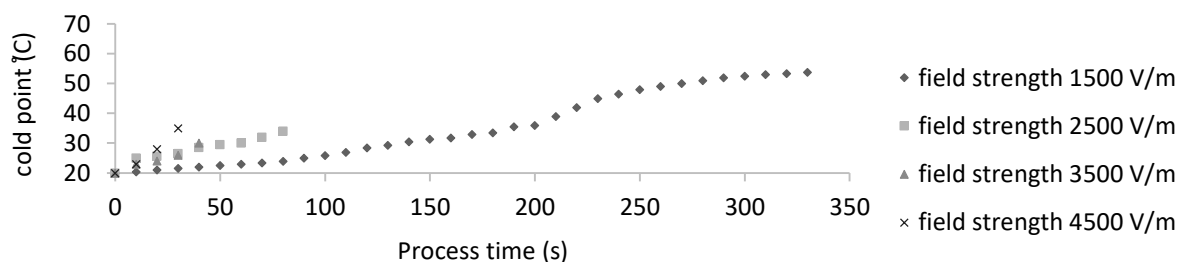
تاثیر شدت میدان الکتریکی و غلظت محلول نمکی بر زمان ترک خوردن پوست گوجه‌فرنگی در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش شدت میدان الکتریکی، زمان لازم جهت ترک خوردن پوست گوجه‌فرنگی در یک غلظت ثابت از محلول نمکی به طور معناداری کاهش یافت ($P < 0.05$). با افزایش شدت میدان الکتریکی به دلیل افزایش دمای محلول نمکی، لایه مومی موجود روی



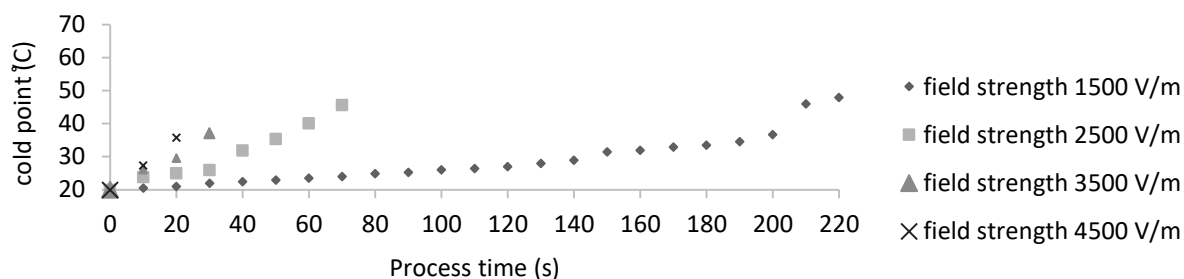
شکل ۳- تاثیر غلظت محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی بر زمان ترک خوردن پوست گوجه‌فرنگی
Figure 3- Effect of salt solution concentration and field strength on tomato skin cracking time



(a)



(b)



(c)

شکل ۴- تغییرات دمای نقطه سرد گوجه‌فرنگی در محلول نمکی با غلظت‌های (a) ۰.۱٪، (b) ۰.۲٪ و (c) ۰.۳٪ وزنی/حجمی تا

لحظه ترک خوردن پوست گوجه‌فرنگی طی فرایند پوست‌گیری

Figure 4- Temperature changes of tomato cold point in salt solution with (a) 0.1, (b) 0.2 and (c) 0.3 %w/v concentrations until to cracking tomato peel during peeling process

تغییرات دمای نقطه سرد نمونه

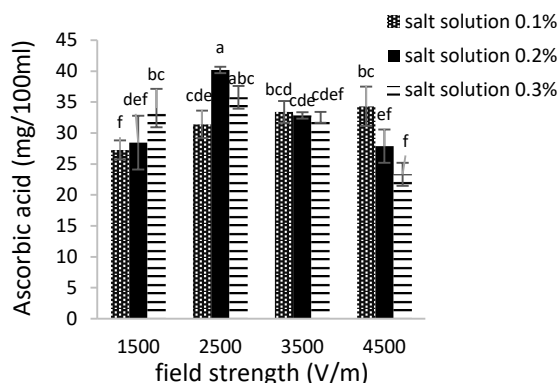
با توجه به شکل ۴ می‌توان بیان کرد روند تغییرات دمای نقطه سرد محصول با شدت میدان الکتریکی رابطه عکس دارند، به گونه‌ای که با افزایش شدت میدان الکتریکی دمای نقطه سرد محصول در لحظه ترک خوردن پوست کاهش یافت. تغییرات دمای نقطه سرد گوجه‌فرنگی با ضریب تعیین بالا ($R^2 > 0.94$) از معادله درجه اول پیروی کرد. آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین نشان داد که شدت میدان الکتریکی و غلظت محلول نمکی و همچنین اثر هم‌زمان آن دو دارای تاثیر معناداری بر میزان تغییرات دمای نقطه سرد محصول در پایان فرایند پوست‌گیری داشتند ($P < 0.05$).

محتوای اسید اسکوربیک

استفاده از غلظت‌های مختلف محلول نمکی تفاوت معناداری بر محتوای اسید اسکوربیک موجود در آب گوجه‌فرنگی ایجاد نکرد ($p > 0.05$)؛ اما اعمال شدت‌های متفاوت میدان الکتریکی موجب تغییر قابل توجهی در محتوای این ویتامین شد ($p < 0.05$). همچنین اثر متقابل این دو متغیر (غلظت‌های محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی) بر میزان اسید اسکوربیک چشمگیر بود ($p < 0.05$).

استفاده از محلول نمکی ۰/۱ و ۰/۳ درصد به ترتیب در کم‌ترین و بیش‌ترین شدت میدان الکتریکی موجب بیش‌ترین افت در محتوای اسید اسکوربیک موجود در گوجه‌فرنگی شد (شکل ۵). در نمونه اول (محلول نمکی ۰/۱٪ و شدت میدان الکتریکی ۱۵۰۰ V/m)، تیمار طولانی مدت محصول (۴۸۰ ثانیه) موجب تخریب این ویتامین شد. همچنین افت زیاد این ویتامین طی اعمال شدت میدان الکتریکی ۴۵۰۰ V/m در محلول نمکی ۰/۳٪ را می‌توان به وجود شدیدترین اثر متقابل غلظت محلول نمکی و میدان الکتریکی (محلول نمکی ۰/۳٪ به همراه شدت میدان الکتریکی ۴۵۰۰ V/m) نسبت داد. نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابق مطالعات انجام شده توسط هیولیو-ون‌هال و همکاران (۲۰۱۲) بود. این محققان بیان داشتند

که میزان اسید اسکوربیک موجود در میوه مارولا^۱ با افزایش دما و زمان فرایند حرارتی کاهش یافت. با توجه به حساسیت اسید اسکوربیک به شرایط فرایند مانند حرارت‌دهی، کم‌ترین میزان تخریب آن در پوست‌گیری به روش اهمیک طی فراوری محصول در محلول نمکی ۰/۲ درصد و اعمال میدان الکتریکی با شدت ۲۵۰۰ ولت بر متر مشاهده شد، چرا که در این شرایط تغییر کم‌تر دمای نمونه موجب حفظ بیش‌تر این ویتامین شد.



شکل ۵- محتوای اسید اسکوربیک موجود در آب

گوجه‌فرنگی پوست‌گیری شده به روش حرارت‌دهی اهمیک

Figure 5- Ascorbic acid content in tomato juice peeled by ohmic heating

درصد افت وزنی

در شکل ۶ اثر متغیرهای مستقل بر میزان افت وزنی گوجه‌فرنگی طی پوست‌گیری با روش اهمیک نشان داده شد. استفاده از غلظت‌های مختلف محلول نمکی و همچنین استفاده از سطوح مختلف شدت میدان الکتریکی، تفاوت معناداری در میزان افت وزنی محصول ایجاد کردند ($p < 0.05$). اثر هم‌زمان این دو متغیر مستقل نیز تاثیر چشم‌گیری بر میزان افت وزنی داشت ($p < 0.05$). استفاده از محلول نمکی ۰/۲ درصد، در تمامی شدت‌های میدان الکتریکی اعمال شده، موجب افت وزنی بیش‌تر نمونه شد. کم‌ترین میزان افت وزنی طی استفاده از

¹ Marula fruit

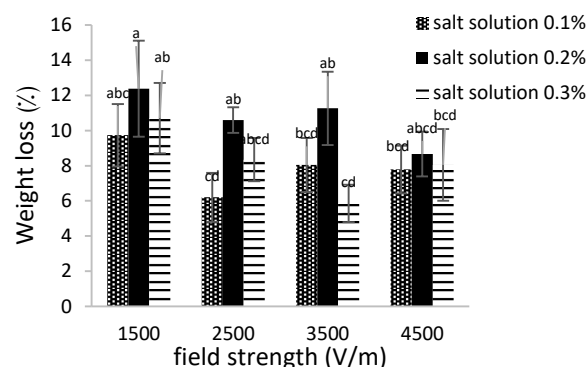
بررسی بافت نمونه

آنالیز واریانس (ANOVA) و نیز مقایسه میانگین تیمارهای مختلف نشان داد سطوح مختلف غلظت محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی اعمال شده تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر درصد فشردگی ایجاد نکرد ($p > 0.05$).

تعیین بهترین تیمار اهمیت

شرایط بهینه پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با سیستم اهمیت برای دستیابی به حداکثر محتوای اسید اسکروبیک و حداقل زمان ترک خوردن پوست، درصد افت وزنی، درصد فشردگی بافت و دمای نقطه سرد محصول تعیین گردید. شاخص‌ها و محدوده‌های مورد نظر برای بهینه‌سازی تیمارهای اهمیت در جدول ۲ نشان داده شده است. شرایط فرایند در نقطه بهینه به صورت غلظت محلول نمکی ۰.۲٪w/v و شدت میدان الکتریکی ۲۵۰۰ V/m به دست آمد. میانگین به دست آمده از شرایط مذکور برای هریک از پاسخ‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

محلول نمکی ۰.۳ درصد به همراه اعمال شدت میدان الکتریکی ۳۵۰۰ ولت بر متر مشاهده شد؛ بنابراین با افزایش شدت میدان الکتریکی سرعت و مقدار تولید گرما افزایش می‌یابد که باعث تخریب پکتین موجود در بخش مزوکارپ محصول (بخش خوراکی) و قسمت‌های عمیق‌تر آن می‌شود و نتیجه‌ی آن افزایش افت وزنی محصول و کاهش استحکام بافت است (فلورس و چینان ۱۹۹۰). این تغییرات به همراه اثرات جریان الکتریکی و حرارتی منجر به تخریب پوست محصول می‌شود (ونگسا-گسری ۲۰۰۴).



شکل ۶- تغییرات افت وزنی گوجه‌فرنگی طی پوست‌گیری به روش اهمیت در شدت میدان الکتریکی و غلظت محلول نمکی متفاوت

Figure 6- Tomato weight loss during ohmic peeling at different field strength and salt concentration

جدول ۲- شاخص‌ها و محدوده‌های مورد نظر برای بهینه‌سازی تیمارهای اهمیت

Table 2- Indicators and ranges for optimization of ohmic treatments

Variable/Response	Target	max	min	importance
Salt solution (%w/v)	In range	0.3	0.1	***
Filed strength (V/m)	In range	2500	1500	***
Cracking time (s)	min	428	14	*****
Weight loss (%)	min	16.55	4.65	*****
Ascorbic acid (mg/100ml)	max	40.48	22	***
Compression (%)	min	38.78	9.09	***
Cold point (°C)	min	68.2	26	***

جدول ۳- مقایسه عملکرد پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با دو روش حرارت‌دهی اهمیک در شرایط بهینه و آب داغ

Table 3- Comparison of peeling performance of tomatoes in Ohmic heating method under optimum conditioner and hot Water

Peeling method	Skin cracking time (s)	Weight loss (%)	Compression (%)	Ascorbic acid (mg/100ml)	Cold point (°C)
Ohmic peeling	82**	10.72*	19.47*	40.18*	33.20*
Hot water	523**	16.08*	30.86*	36.08*	40.02*

* and ** indicate significant differences at 5 and 1%, respectively.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان استفاده از سیستم اهمیک به عنوان روشی جایگزین برای پوست‌گیری گوجه‌فرنگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد غلظت محلول نمکی و شدت میدان الکتریکی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر مدت زمان فرایند، افت وزنی، محتوای اسید اسکوربیک و دمای نقطه سرد گوجه‌فرنگی داشتند. بهترین شرایط فرایند طی پوست‌گیری به روش اهمیک استفاده از محلول نمکی با غلظت 2w/v و شدت میدان الکتریکی 2500V/m تعیین شد.

مقایسه دو روش پوست‌گیری اهمیک و آب داغ

عملکرد پوست‌گیری گوجه‌فرنگی با دو روش سیستم اهمیک (بهینه‌سازی شده در شرایط غلظت محلول نمکی 2w/v و شدت میدان الکتریکی 2500V/m) و آب داغ (دمای 100°C و زمان 523s) در جدول ۳ نشان داده شده است.

منابع مورد استفاده

- آقاجان زاده سورکی س، ضیائی فر م، کاشانی نژاد م، مقصودلو ی و اسماعیل زاده ا، ۱۳۹۵. سینتیک تغییرات محتوای اسید اسکوربیک، محتوای فنول کل و ظرفیت ضد اکسایشی آب نارنج طی فرآوری حرارتی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران ۱۳، ۱-۱۱.
- امیری اندی م، معتمدزادگان ع وحسینی‌پرور ه، ۱۳۹۵. مقایسه روش های قلیایی و آنزیمی استخراج در ویژگی ها و راندمان هیدرولیز پروتئین دانه گوجه فرنگی، نشریه پژوهش های صنایع غذایی ۲۶(۲)، ۳۳۳-۳۴۳.
- فیاض مهر ب و آصفی ن، ۱۳۹۱. تأثیر امواج فراصوت بر مقدار و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی لیکوپن استخراج شده از تفاله گوجه فرنگی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۲ (۳)، ۲۴۱-۲۴۸.
- Aghajanzadeh S and Ziaifar, AM, 2018. A review of pectin methylesterase inactivation in citrus juice during pasteurization. Trends in Food Science & Technology 71: 1-12.
- Barringer S, Bennett M and Bash, 1999. Effect of fruit maturity and nitrogen fertilizer levels on tomato peeling efficiency. Journal of vegetable crop production 5(1): 3-11.
- Behera KK, Sahoo S and Prusti A, 2010. Biochemical quantification of diosgenin and ascorbic acid from the tubers of different Dioscorea species found in Orissa. Libyan Agriculture Research Center Journal International 1(2): 123-127.
- Bessey OA and King CG, 1933. The distribution of vitamin C in plant and animal tissues, and its determination. Journal of Biological Chemistry 103: 687-698.
- Bhowmik D, Kumar KP, Sampath P, Shravan P and Srivastava Shweta, 2012. Tomato-a natural medicine and its health benefits. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 1(1): 33-43.
- Floros JD and Chinnan MS, 1990. Diffusion phenomena during chemical (NaOH) peeling of tomatoes. Journal of food science 55(2): 552-553.

- Garcia E and Barrett DM, 2006. Peelability and yield of processing tomatoes by steam or lye. *Journal of food processing and preservation* 30(1): 3-14.
- Hiwilepo-van Hal P, Bosschaart C, van Twisk C, Verkerk R and Dekker M, 2012. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *caffra*) as compared to other selected tropical fruits. *LWT-Food Science and Technology* 49(2): 188-191.
- Juven B, Samish Z and Ludin A, 1969. Investigation into the peeling of tomatoes for canning. *Israel journal of technology*.
- Kashyap G, and Gautam, MD, 2012. Analysis of Vitamin C in Commercial and Natural substances by Iodometric Titration found in Nimar and Malwaregeion. *Journal of Scientific Research in Pharmacy* 1(2): 77-78.
- Kaur G and Aggarwal P, 2015. Effect of chemical preservation over thermal processing on storage stability of tomato juice. *Asian Journal of Dairy and Food Research* 34(1): 49-53.
- Rizza, RA, Vay Liang W, McMahon MM and Harrison GG, 2002. *Encyclopedia of foods: A guide to healthy nutrition*: Academic Press.
- Rock C, Yang W, Goodrich-Schneider R and Feng H, 2012. Conventional and alternative methods for tomato peeling. *Food Engineering Reviews* 4(1): 1-15.
- Smith JS and Hui YH, 2008. *Food processing: principles and applications*: John Wiley & Sons.
- Succar J and Brescia L, 2007. Cryogenic peeling process. U.S. Patent Application 11/466,366, filed March 29, 2007.
- Wongsa-Ngasri P, 2004. Ohmic heating of biomaterials: peeling and effects of rotating electric field. The Ohio State University.
- Wongsa-Ngasri P and Sastry SK, 2016a. Tomato peeling by ohmic heating with lye-salt combinations: Effects of operational parameters on peeling time and skin diffusivity. *Journal of Food Engineering* 186: 10-16.
- Wongsa-Ngasri P and Sastry SK, 2016b. Tomato peeling by ohmic heating: Effects of lye-salt combinations and post-treatments on weight loss, peeling quality and firmness. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 34: 148-153.

Use of Ohmic heating system in peeling tomato and its effect on physicochemical properties of the product

H Ghadiri¹, A M Ziaifar^{2*}, M Ghorbani² and S Aghajanzadeh Suraki³

Received: September 8, 2018

Accepted: November 3, 2018

¹Master degree student in Food Science and Technology. Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

²Assistant Professor in Food Engineering Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

³PhD, Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

*Corresponding author: E-mail: ziaifar@gau.ac.ir

Introduction: Tomato and tomato based product are widely used as fresh, paste, juice, puree, sauce, etc. Canned tomatoes are an important product worldwide. Peeling is one of the important operations in the tomato industry to ensure good final product quality. In tomato peelings, steam and wet-lye are usually used which is associated with high-energy consumption and environmental degradation, respectively (Wongsa-Ngasri and Sastry 2016b). Thermal treatments are known as the most common method to process the food product. Considering the adverse effect of long thermal process on the chemical and physical aspects of the food, novel heating methods are developed to overcome these limitations. Ohmic heating is a quick thermal method which is known as Joule heating, electrical resistance heating, direct electrical resistance heating, electro-heating and electroconductive heating (Aghajanzadeh and Ziaifar 2018). In batch ohmic heating system, the food is placed between two electrodes and its temperature increases due to electrical current exposure. In fact, it is used to generate heat uniformly throughout food matrices by controlling the electrical conductivities of food components (Wongsa-Ngasri 2004). Considering the ionic concentration of the food, the increase in the temperature could be rapid resulting in better preservation of the nutritional values and physical aspects of the product. Electroporation is the non-thermal phenomenon which occurs during ohmic heating. This produces the pores with different sizes in the cell walls as a result of alteration in the natural dielectric strength of the cells. In general, ohmic heating has been expanding to other applications to the edge of hybrid technologies such as thawing, blanching, extraction and drying. However, to reach its ultimate benefits for new and higher quality products, further insightful research, on other applications, needed. In this study, ohmic heating system was developed to peel the tomatoes and study the effect of this method on different physicochemical properties of the product.

Material and methods: In this study, laboratory scale ohmic peeling system designed and manufactured at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. The distance between the electrodes (made of stainless steel 314) was 7 cm. In our study, tomatoes ohmically heated in salt solution under various conditions. After initial weighing, the sample placed in salt solution in the ohmic system. Preliminary tests performed to determine the range of operating parameters (salt solution concentration and electric field intensity). The effect of electric field (range from 1500 to 4500 V/m) and concentration of salt solution (range 0.1 to 0.3% w/v) investigated in tomato peeling. After cracking in the tomato skin, the tomato skin easily separated by hand (Wongsa-Ngasri 2004). Hot water peeling at 100° C selected as a control treatment. T-type thermocouple was applied to control the temperature of the cold point of the tomato and the heating medium. The weight loss of the samples was measured considering the difference between the

weight of fresh and the peeled tomato vs. the weight of the fresh sample according to Wongsan-Ngasri and Sastry (2016b). Ascorbic acid content of the samples was determined using iodine titration method (Kashyap and Guatam 2012). To study the effect of the peeling methods on the texture, the firmness of tomato was estimated based on the compression percentage as Wongsan-Ngasri and Sastry (2016b) suggested. The optimization of the ohmic peeling was performed using Design Expert software to suggest the best processing condition.

Results and discussion: Tomato skin cracking involves thermal, electrical, chemical, biochemical and physical effects. The increase the fruit temperature caused alteration in different physical and chemical properties. During hot water peeling, the process time lasted for 523.33 s. This method brought 16.08% weight loss, 36.08% degradation of the ascorbic acid and 30.86% alteration in the firmness of the sample. The obtained results showed that peeling using the ohmic heating method resulted in faster skin cracking (82s), the less weight loss (10.7%), less ascorbic acid degradation and more stiffness (19.47% compression). The initial temperature of the tomato was 22°C which increased to 40 and 33.22°C after hot water and ohmic heating peeling methods, respectively. It was found that the electric field intensity and the salt solution concentration had significant effects on the raise in the cold point temperature of tomato. Considering the thermal sensitivity of the ascorbic acid to thermal treatments, it can be mentioned that the ohmic heating peeling was more effective in preserving this vitamin. As, the least vitamin degradation was observed during the tomato processing at 2500 V/m in 0.2% salt solution due to the lower alteration in the sample temperature. The change in the weight of the ohmic heated tomato resulted from de-esterification of pectin especially in mesocarp and electroporation effect on the skin destruction. To determine the optimum ohmic peeling conditions was determined based on obtaining the highest level of ascorbic acid content and the least cracking time, weight loss, firmness and alteration in the cold point temperature

Conclusion: It could be concluded that the quick rise in the tomato temperature as well as electroporation phenomena enhanced the peeling process in which the product with high nutritional value and quality was produced. In fact, weight loss and compression of the hot water peeled tomato were respectively 6.08% and 11.39% higher than the ohmic heated sample; however, the ohmic peeling brought a higher (4.1%) ascorbic acid content in comparison to the control method. The optimum ohmic peeling condition was processing the tomato in 0.2 W/V salt solution at 2500 V/m. These conditions have shown the potential to be good for processing because they require a reasonably short time. Ohmic heating method can be introduced as an effective method in peeling process of the fruit and vegetable with thin skin such as tomato to produce the high quality product. However, more studied should be performed to investigate other operational parameter affecting the process performance especially using different solution as heating medium and also combining the ohmic heating with other thermal, non-thermal and even chemical peeling methods based on hurdle concept. Besides more physical and chemical properties of the samples could be studied to have a comprehensive view of the effectiveness this novel method.

Keywords: Ohmic peeling, Optimization, Physical and chemical properties, Tomato