

ارزیابی بعضی پارامترهایی کاری دستگاه پوست گیر نارنج و بهینه سازی عملکرد آن

چکیده

پوست نارنج (*Citrus aurantium*) حاوی مواد تلخ کننده‌ای نظیر نارنجین و لیمونین است که حضور آن‌ها در آب میوه موجب کاهش کیفیت حسی محصول می‌شود. پوست‌گیری دقیق و مؤثر، مرحله‌ای کلیدی در فرآوری صنعتی نارنج به شمار می‌رود. در این پژوهش، ابتدا خواص فیزیکی و هندسی میوه نارنج بررسی شد. نتایج نشان داد که نارنج با ضریب کرویت ۰/۹۶، شکل نزدیک به کره دارد که این ویژگی بر طراحی تجهیزات پوست‌گیری تأثیر مثبت دارد. برای بهینه‌سازی عملکرد دستگاه پوست‌گیر نارنج، اثر سه پارامتر سرعت دورانی استوانه ساینده (۵ سطح: ۷۰۰، ۷۵۰، ۸۰۰، ۸۵۰ و ۹۰۰ دور بر دقیقه)، نرخ تغذیه (۴ سطح: ۱، ۳، ۶ و ۸ عدد نارنج در هر نوبت) و اندازه مش تیغه ساینده (۳ سطح: ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر) در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیر پاسخ، میانگین درصد سطح پوست‌گیری شده بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی سرعت دورانی، نرخ تغذیه و اندازه مش تیغه و هم چنین اثر متقابل آنها در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. با افزایش سرعت دورانی تا ۹۰۰ دور بر دقیقه، درصد پوست‌گیری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما در سرعت‌های بالاتر از ۹۰۰ دور بر دقیقه و مش ۴ میلی‌متر، آسیب مکانیکی به میوه و کاهش کیفیت ظاهری مشاهده شد. شرایط بهینه عملکرد دستگاه با استفاده از تحلیل اثرات متقابل به‌دست آمد که شامل سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه، تغذیه ۶ عدد نارنج و مش تیغه ۳ میلی‌متر بود.

کلمات کلیدی: اندازه مش تیغه، دستگاه پوست‌گیر، سرعت دورانی، نارنج، نرخ تغذیه،

Abstract

Sour Orange peel (*Citrus aurantium*) contains bittering compounds such as naringenin and limonin, the presence of which in the juice reduces the sensory quality of the product. Accurate and effective peeling is a key step in the processing of oranges. In this study, the physical and geometric properties of orange fruit were investigated. The results showed that oranges have a shape close to a sphere with a sphericity of 0.96 which has a positive effect on the design of peeling equipment. To optimize the performance of the orange peeler, the rotational speed of the cylinder (5 levels: 300, 500, 700, 900 rpm), the feed rate (4 levels: 1, 3, 6, and 8 oranges per turn) and the mesh size of the blade (3 levels: 2, 3 and 4 mm) were evaluated in a completely randomized factorial design with three replications. The response variable was the average percentage of peeled area. The results of the analysis of variance showed that the effect of rotational speed, feed rate and blade mesh size as well as their interaction were significant at the 1% probability level. By increasing the rotational speed to 900 rpm, the peeling percentage increased significantly, but at speeds higher than 900 rpm and 4 mm mesh, mechanical damage to the fruit and a decrease in quality were observed. The optimal operating conditions of the device were obtained, which included a rotational speed of 900 rpm, feeding of 6 oranges and a blade mesh of 3 mm.

Keywords: Blade mesh size, feed rate, peeling machine, rotational speed, sour orange.

مرکبات از جمله محصولات کشاورزی هستند که تقریباً تمام قسمت های آن به عنوان مواد اولیه در صنایع مختلف به مصرف می رسد. از پوست و هسته مرکبات ماده پکتین و روغن استخراج می شود. مهم ترین محصولات حاصل از بازیافت مرکبات: پالپ، ملاس، اسانس و روغن می باشد که در تغذیه انسان، دام و طیور، چسب سازی، تهیه صابون و شامپو، تولید حشره کش کاربرد دارد (مرتضوی و ضیا الحق، ۱۳۸۳). پوست مرکبات به ویژه نارنج که غنی از مواد زیست فعال است می تواند یک پلت فرم کارآمد، ارزان و سازگار با محیط زیست در صنعت برای تولید مواد مغذی جدید یا برای بهبود مواد قدیمی تر فراهم کند (Rafiq et al., 2016). نارنج با نام علمی (Citrus aurantium) با نام های Sour orange و Bitter orange شناخته می شود (Ferrer et al, 2021) پوست نارنج که تقریباً نسبت نیم کیلوگرم از یک کیلوگرم میوه را به خود اختصاص می دهد (Bustamante et al., 2016) به دلیل داشتن موادی نظیر روغن های فرار مانند سسکوی ترپن ها، مونوترپن ها و مشتقات آنها و مواد بیو شیمیایی مانند نارنجین و لیمونین به طور گسترده ای در صنایع غذایی و داروسازی مورد استفاده قرار می گیرد (Maksoud et al., 2021). بذرها ی نارنج ترش نیز منبع خوبی از پروتئین هستند (Rownaghi & Niakousari, 2024).

پوست نارنج با وجود مواد لیمونین، نارنجین و ناملین تلخ می باشد که در فرآیند آبیگری باعث کاهش کیفیت محصول می شود. لذا پوست کنی (پوست گیری) مرحله ای بسیار مهم در فرآوری آب نارنج می باشد. مولکول نارنجین علاوه بر حلالیت، به حرارت نیز کاملاً مقاوم است. نارنجین به علت حلالیتش در حین پاستوریزاسیون یا نگه داری آب میوه از بافت یا ذرات پالپ جدا شده و وارد آب میوه می شود. در نتیجه تلخی آب میوه افزایش می یابد. مقدار نارنجین آب میوه و پوست گریپ فروت با رسیدگی میوه کاهش می یابد (Li, 2020, Kohli et al., 2021). عامل اصلی کاهش دهنده ی کیفیت آب مرکبات، ترکیب لیمونین است. لیمونین یک ترکیب تترانورتتری ترپنوئید^۱ است که بیش تر در دانه ها و بافت میوه بافت می شود. تلخی ناشی از این ترکیب در آب مرکبات مشکلی است که بیش تر در گریپ فروت و پرتقال ناول وجود دارد. در میوه ی نارنج مقدار زیادی لیمونین یافت شده است. هم چنین حلالیت لیمونین در آب کم است (Ferrer et al, 2021 Shen, et al, 2020). مشتقات محلول در آب لیمونین - قند در تلخی آب میوه دخالت دارند و دارای خواص ضد سرطانی نیز می باشند (Hasegawa et al., 1985). آستانه حسی لیمونین در آب بین ۳ تا ۶ میلی گرم در لیتر ثبت شده است، در حالی که مقدار تشخیص آن در آب میوه ممکن است بیش تر باشد. فرآوری بقایای پوست پس از استخراج میوه و تبدیل آن به آرد برای استفاده در مواد غذایی در سطح تجاری مورد استفاده قرار گرفته است. آرد مرکبات دارای فیبر فراوانی است. از آرد مرکبات به عنوان عامل حجم دهنده در آماده سازی کیک های کم کالری و به عنوان یک چاشنی برای ایجاد طعم، ظاهر و بافت به کار می رود (مرتضوی و ضیاء الحق، ۱۳۸۳).

در تهیه آب میوه از مرکبات به ویژه پرتقال از روش هایی استفاده می شود که نیازی به پوست گیری محصول نیست. در شمال کشور عموماً تولید نارنج به میزان مصرف سالانه خانواده است و تهیه آب نارنج به گونه ایست که ابتدا به صورت دستی پوست گیری می شود و سپس با استفاده از آبیگرهای دستی آبیگری می شود. ترشح دو ماده لیمونین و نارنجین در هنگام پوست گیری دستی ناراحتی های تنفسی به بار می آورد. به علت خاصیت اسیدی خود نارنج و هم چنین وجود این دو ماده عوارض پوستی و خارش شدید دست را به همراه دارد (Hasegawa et al., 1985). در روش حرارتی پوستگیری میوه به مدت ۵ دقیقه در آب ۱۰۰ درجه سلیسیوس قرار داده می شود تا پوست استحکام خود را از دست داده و به راحتی با دست جدا شود. این روش دستی بازده کمی دارد و آب داغ بسیاری از مواد فعال را از بین می برد و کیفیت میوه را به شدت کاهش می دهد (Li, 2020, Garcia et al., 2006). در روش دیگر محلول سود داغ (سدیم هیدروکسید) روی میوه پاشیده می شود تا آلیندو و غشای خارجی پوست حل شود و براحتی پوست از میوه جدا شود. در این روش مواد معدنی و ویتامین های آب میوه نارنج در دمای بالای سود و مواد شیمیایی آن از بین می روند و کیفیت محصول تا حد قابل توجهی کاهش می یابد (Li, 2020).

¹ Tetranortriterpenoid

کاهش همزمان اسیدیته و تلخی آبمیوه بدون کاهش طعم با استفاده از رزین‌های جاذب و تعویض یونی امکان پذیر است (Mitchell et al., 1985). کارایی تجاری جاذب‌های سطحی برای تلخی‌زدایی از آب گریپ‌فروت و پرتقال بدون این که تغییر زیادی در خواص آبمیوه یا سایر ترکیبات شیمیایی آن ایجاد شود، ثابت شده است (Norman, 1990). پلیمرهای دی‌وینیل‌بنزن، اگر قبل از استفاده شست‌وشوی صحیح صورت گیرد، برای کاهش تلخی آبمیوه تأیید شده‌اند (Norman & Kimball, 1990).

هینزن (Heinzen) در سال ۱۹۹۷ طرحی برای پوست‌گیری محصولاتی گروهی نظیر خربزه و مرکبات ارائه داد. در این دستگاه پس از پوست‌گیری سر و ته میوه باقی می‌ماند، توسط دو تیغه بریده می‌شود و پوست‌گیری به صورت کامل در یک مرحله انجام می‌شد. در این دستگاه‌های پوستگیر شکل تیغه و قابلیت ساییدن آن عامل مؤثری بر پوست‌گیری است تیغه منحنی قابلیت پوست‌گیری را افزایش می‌دهد. هرچه انحنا تیغه بیشتر باشد، تیزی لبه کمتر خواهد بود (Talmadge, 1998). Foxcroft در سال ۲۰۰۹ نوعی پوست کن با مکانیزم سیلندر و پیستون اختراع کرد. در این روش محصول با فشاری که از طریق پلانجر به آن وارد میشود، از درون یک سیلندر عبور داده میشود. بر روی لبه ی سیلندر تیغه های برنده ای وجود دارد که پوست را از روی محصول حذف میکند و تا حدودی از انتقال مواد تلخ کننده به آبمیوه جلوگیری می‌شود. در پوستگیری گردو نیز پوست سبز به صورت کامل از گردو جدا می‌شود (ذکی، ۱۳۸۷). در آگیری مرکبات فرآیند پوستگیری انجام نمی‌شود بلکه کل محصول فشرده شده و تفاله های آن از آبمیوه جدا می‌شود که شامل درصد قابل مواد تلخ کننده است (Kimball, 1991). برای محصولات زیادی از دستگاه‌های پوستگیر استفاده می‌شود برای مثال پوستگیری سیب زمینی که در این روش کل پوست از طریق سایشی صفحات داخلی ساییده می‌شود. دستگاه‌های آلبیومو گیری سنتی مرکبات نیز محصول را فشرده شده و با جداسازی تفاله، آبمیوه استحصال می‌شود که حاوی مواد تلخ انتقال یافته از پوست میوه است (مرتضوی و ضیا الحق، ۱۳۸۳). بنابراین روشی که بتوان لایه نازکی از پوست نارنج یا مرکبات برداشته شود تاکنون انجام نشده است و در این تحقیق دستگاهی مکانیکی که با استفاده از سایش تیغه های یا رنده های سایشی است ساخته شده است. در این مقاله با اندازه گیری برخی از خواص فیزیکی نارنج دستگاه پوست گیر مکانیکی ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش

بررسی خواص فیزیکی نارنج

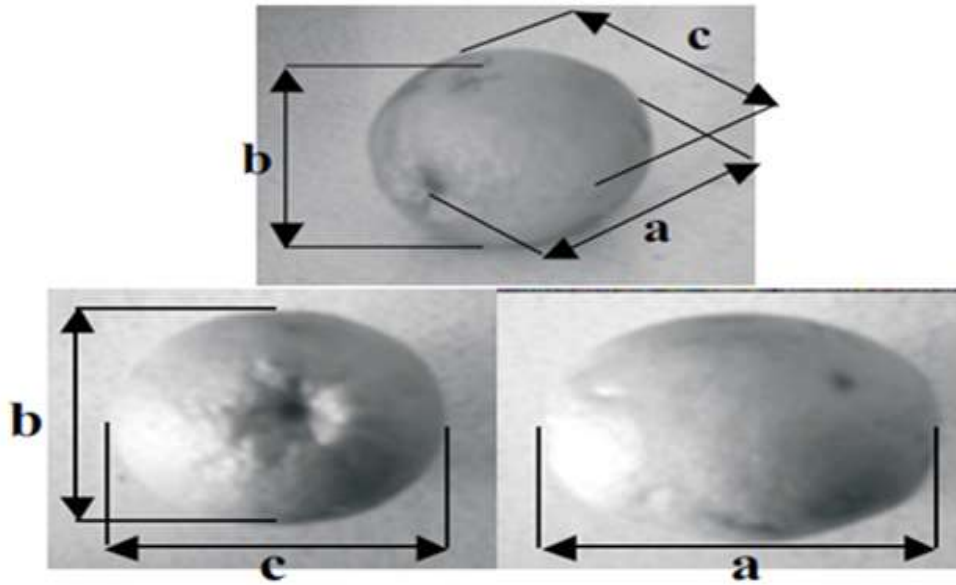
شناخت دقیق ابعاد و خصوصیات ظاهری و فیزیکی نارنج مورد بررسی قرار گرفت. به منظور محاسبه خواص ابعادی میوه‌ها شامل قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، سطح رویه میوه‌ها از روابط استاندارد ۱ تا ۳ استفاده شد (شکل ۱)، (Topuz et al., 2005).

$$\sqrt[3]{\text{vac}} = \text{قطر هندسی میانگین} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\frac{GM}{a} = \text{ضریب کرویت} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\pi GM^2 = \text{سطح رویه} \quad (\text{رابطه ۳})$$

برای هر عدد نارنج بزرگترین قطر (a)، بزرگترین قطر عمود بر (b-a) و بزرگترین قطر عمود بر a و b-c، به وسیله کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی متر اندازه‌گیری شد. در این روابط، GM قطر هندسی میانگین می‌باشد واحد همه ابعاد ذکر شده میلی متر می‌باشد. خواص ابعادی و فیزیکی ۱۵۰ نمونه نارنج اندازه‌گیری و محاسبه شد.



شکل ۱. نحوه‌ی اندازه‌گیری سه بعد اصلی نارنج

دستگاه پوست گیر نارنج

دستگاه پوست‌گیر نارنج مورد استفاده در آزمایشات در شکل ۲ نشان داده شده است. دستگاه شامل محفظه نگهدارنده و یک صفحه تیغه‌های دوار از جنس تفلون است. عملیات پوست‌گیری توسط انتقال قدرت از طریق الکتروموتور، محور و تسمه صورت می‌گیرد. موتور الکتریکی با توان ۳۵۰ وات و ولتاژ ۲۲۰ ولت و حداکثر جریان مورد نیاز موتور ۲/۵ آمپر بود. با توجه به وزن میانگین ۱ کیلوگرم برای ۶ عدد نارنج، مدت زمان ۳۰ ثانیه جهت پوست‌گیری مؤثر، مدت زمان ۱۰ ثانیه جهت تغذیه و هم‌چنین ۱۰ ثانیه جهت تخلیه، ظرفیت کاری دستگاه ۷۲ کیلوگرم در ساعت برآورد شد. این موتور برای دستگاه با ظرفیتی حدود ۸۰ کیلوگرم (دستگاه خانگی) در ساعت مناسب ارزیابی شد. برای کنترل دور صفحه دورانی از یک دیمر استفاده شد.



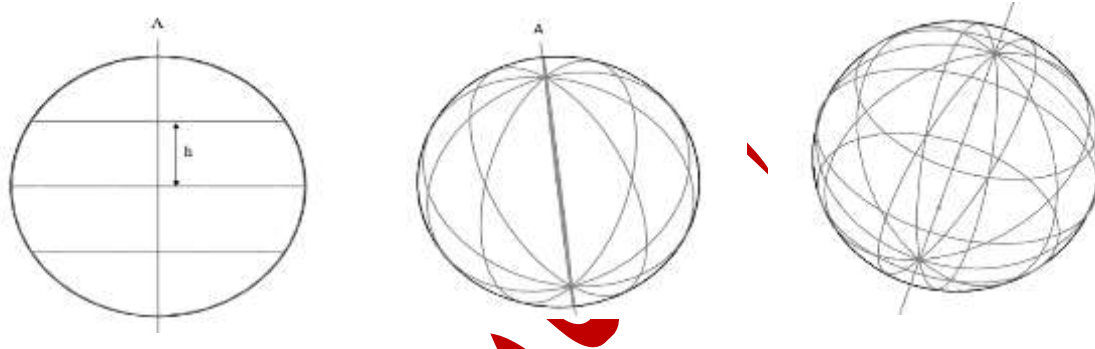
شکل ۲. ۱- دستگاه پوست‌گیر نارنج، ۲- درب و مکانیزم شستشو، ۳- موتور انتقال قدرت ۴- سامانه کنترلی ۵- فرچه‌های تمیزکننده مخزن ۶- صفحه دورانی تیغه‌ها (تفلون سفید با تیغه‌ها)

سطح رویی نارنجی رنگ (آلبیدو) بر روی پوست نارنج سبب تلخی آب میوه در حین فرآوری می‌شود، که با مکانیزم پاشش آب (یک لوله دوار که به شلنگ وصل شده بود) بر روی محصول در حین فرآیند پوست‌گیری از بین می‌رفت. پوست جدا شده از طریق

شکافی که در ته بدنه ایجاد شده بود به کمک سه عدد فرچه با زاویه‌ی ۱۲۰ درجه نسبت به هم بر روی شفت نصب شده بود تخلیه می‌شد.

روش اندازه‌گیری سطح پوست‌گیری شده میوه

با مطالعه خواص فیزیکی نارنج و رابطه ۲ میانگین ضریب کرویت نارنج ها ۰/۹۶ به دست آمد. با توجه به کرویت بالای نارنج، برای تخمین و محاسبه مساحت پوست کنده شده، نارنج‌ها به شکل کره در نظر گرفته شد. نارنج‌ها را به شکل کره ابتدا عرض کره به ۴ قسمت مساوی و طول آن که در راستای محور A است نیز به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شد (همانند طول و عرض جغرافیایی کره). در مجموع ۴۰ قسمت مساوی به دست آمد. شماتیکی از مش‌بندی در شکل ۳ نشان داده شده است که هر کدام از قسمت‌ها ۲/۵ درصد از سطح کل رویه می‌باشد. در نهایت اندازه‌گیری سطح پوست‌گیری شده با دقت ۲/۵ درصد انجام شد (کاظمی، ۱۳۹۲).

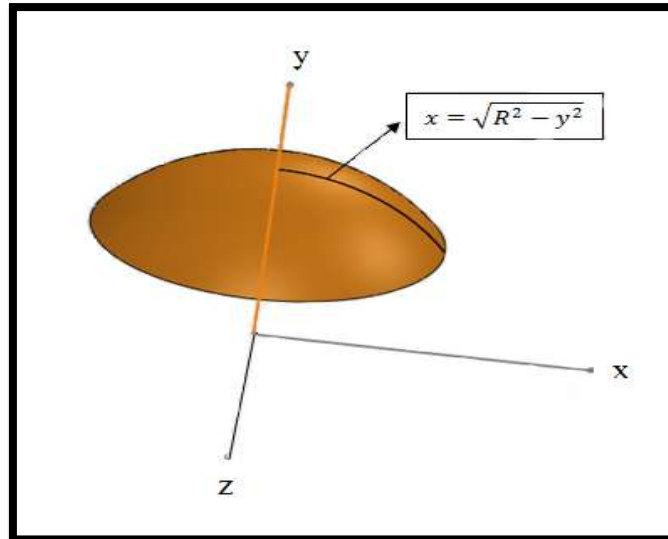


شکل ۳. مش‌بندی سطح رویی پس از فرآیند پوست‌گیری به منظور ارزیابی میزان سطح پوست‌گیری شده

روش اندازه‌گیری سطح رویه میوه حول محور y

برای محاسبه‌ی سطح رویه‌ی (شکل ۴) حاصل از دوران یک منحنی با ضابطه‌ی $x=g(y)$ حول محور y ، می‌توان از روابط ۱ تا ۴ استفاده کرد (کاظمی، ۱۳۹۲):





شکل ۴. سطح حاصل از دوران منحنی R حول یک محور

معادله $X^2 + Y^2 = R^2$ ، معادله رابطه بین منحنی R و تصویر های این منحنی بر روی محورهای X و Y می باشد.

| | |
|---|-----------|
| $S = \int_c^d 2\pi x \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} dy = \int_c^d 2\pi g(y) \sqrt{1 + (g'(y))^2} dy$ | (رابطه ۴) |
|---|-----------|

از آن جا که هدف، تعیین ارتفاعی است که در آن سطح رویه‌ی کره به اندازه نصف سطح رویه‌ی نیم کره خواهد شد، لذا کران‌های انتگرال از R (قسمتی از شعاع کره) تا h (ارتفاع مجهول) تغییر خواهد کرد.

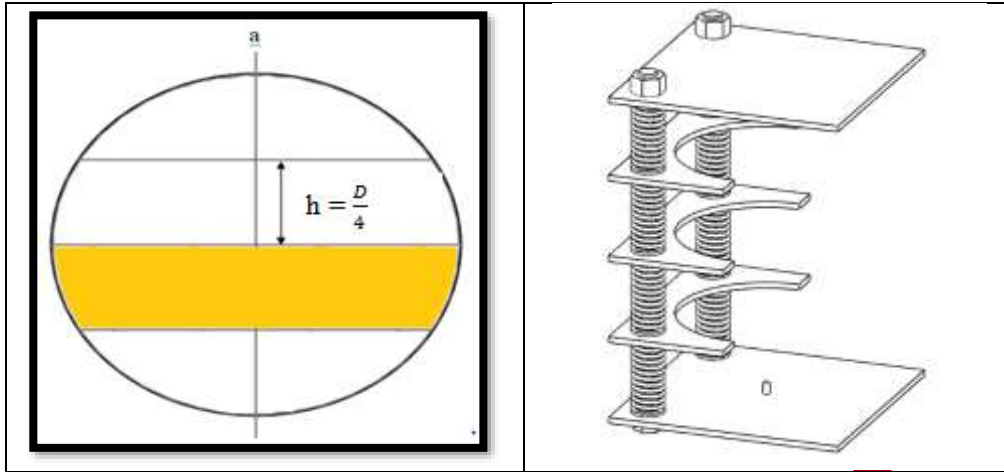
$$S = \int_h^R 2\pi \sqrt{R^2 - y^2} \times \sqrt{1 + \left(\frac{-y}{x}\right)^2} dy \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$S = 2\pi R \int_h^R dy = 2\pi R(y)_h^R = 2\pi R(R - h) \quad \text{(رابطه ۶)}$$

سطح رویه‌ی به دست آمده باید برابر با نصف سطح رویه‌ی نیم کره باشد. به این ترتیب:

$$2\pi R(R - h) = \pi R^2 \quad \text{(رابطه ۷)}$$

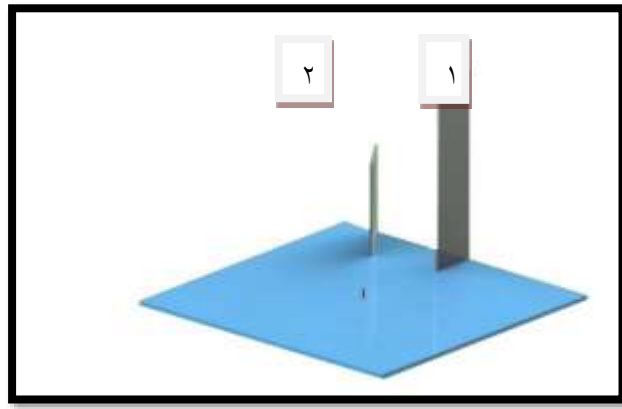
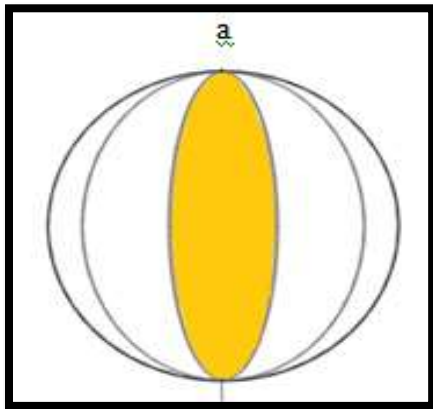
با خلاصه کردن رابطه ۷ مقدار h برابر R/2 به دست می آید. پس در ارتفاعی به اندازه‌ی نصف شعاع یک کره، سطح رویه کلاه بوجود آمده برابر با نصف سطح رویه‌ی نیم کره خواهد شد. در نتیجه با رسم خطوطی موازی که فاصله بین آنها یک چهارم قطر محصول است، سطح رویه به چهار قسمت مساوی تقسیم می شود که با استفاده از ابزار طراحی شده شکل ۵ آن جا م شد. در این ابزار، طبق قانون جابجایی در فنرهای سری، با بهم فشردن دو صفحه‌ی انتهایی، ارتفاع به چهار قسمت مساوی توسط سه صفحه میانی تقسیم می شود.



شکل ۵. روش و ابزار اندازه گیری سطح میوه به چهار قسمت مساوی

روش تقسیم‌بندی سطح میوه در راستای بُعد a

جهت تقسیم‌بندی در راستای بُعد a میوه، باید آن را به ده قسمت مساوی با زاویه‌ی ۳۶ درجه تقسیم نمود. برای انجام این کار از ابزاری به شکل ۶ استفاده شد. در مرکز این ابزار یک زائده‌ی کوچک قرار دارد که مرکز نارنج بر روی آن قرار می‌گیرد. در ادامه، قلمی که از آن برای رسم خطوط استفاده شده، مماس با صفحه‌ی (۱) در راستای عمود حرکت داده می‌شود تا خطی در راستای a رسم شود. سپس نارنج در جهت عقربه‌های ساعت چرخانده می‌شود تا خط رسم شده مقابل صفحه‌ی (۲) قرار گیرد (زاویه‌ی بین دو صفحه برابر با ۳۶ درجه می‌باشد). مجدداً در راستای صفحه‌ی (۱) خطی رسم می‌گردد که نتیجه‌ی آن یکی از ده قسمت مساوی مطابق شکل ۶ است به دست آمده و با تکرار آن ده قسمت حاصل می‌شود.



شکل ۶. شماتیک ابزار مورد استفاده به منظور تقسیم‌بندی طولی سطح نارنج در راستای بُعد a

میانگین سطح پوست‌گیری شده

از آن جا که فرآیند پوست‌گیری در نرخ‌های تغذیه متفاوت مورد بررسی قرار گرفت، می‌بایست از یک روش منطقی به منظور محاسبه‌ی میزان سطح پوست‌گیری و اثر عوامل بر آن یاری جست. به همین منظور از رابطه‌ی ۵ استفاده است.

$$S = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}{n} \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این رابطه، S ، میانگین سطح پوست‌گیری شده در هر فرآیند پوست‌گیری، S_n ، مقدار سطح پوست‌گیری شده‌ی هر نارنج و n ، تعداد نارنج در یک فرآیند پوست‌گیری می‌باشد.

روش ارزیابی حسی نمونه‌های پوست‌گیری شده

باقی‌ماندن سطح رویی نارنجی رنگ (آلبیدو) بر روی پوست سبب تلخی آب میوه در حین آب‌گیری می‌شود. زمانی که صفحه دوار با میوه برخورد می‌کند، قطعات کوچکی از پوست را می‌برد. در حین انجام این فرآیند بعضی از کپسول‌های موجود روی پوست که حاوی ترکیب نارنجین (عامل تلخ‌کننده) هستند، پاره خواهند شد و در صورتیکه شسته شوند از تلخی آبمیوه کاسته می‌شود. جهت ارزیابی میزان تلخی آب نارنج از روش ارزیابی حسی استفاده شد. به همین منظور، از ۱۰ نفر از دانشجویان رشته صنایع غذایی مشرف بر مبحث ارزیابی حسی استفاده شد. در ابتدا تعدادی نارنج را به صورت دستی کاملاً پوست‌گیری و آبگیری شد و به عنوان معیار در نظر گرفته شد. در ابتدا تعدادی نارنج را به صورت دستی پوست‌گیری شد بدون آنکه ذره‌ای از لایه‌ی نارنجی رنگ بر روی سطح آن باقی بماند. سپس آبگیری نموده و از ارزیاب‌ها خواسته شده تا از آن بچشند. هم‌چنین از آنها خواسته شده تا نمونه‌ی تست شده را به عنوان معیار در نظر بگیرند. این کار، یک بار بدون آبکشی در طول فرآیند پوست‌گیری و یک بار هم زمان با فرآیند آبکشی در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه و مش‌بندی ۳ میلی‌متر (شرایط کاری بهینه با ۶ عدد نارنج) انجام شد. از ارزیاب‌ها خواسته شده تا از آب میوه‌های استخراج شده تست نموده و در مقایسه با نمونه‌ی معیار، از بین هفت گزینه، یکی گزینه را انتخاب کنند. در طول فرآیند پس از هر بار تست، از محلول دهان شویه استفاده شد. در این مقیاس‌بندی، گزینه‌های عالی، خوب، نسبتاً خوب، متوسط، نسبتاً بد، بد و خیلی بد قرار داشتند که گزینه‌ی خیلی بد مربوط به تلخ‌ترین وضعیت بود. هم‌چنین در طول فرآیند از ارزیاب‌ها خواسته شده تا پس از هر بار تست، از محلول دهان‌شویه استفاده نمایند.

تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها

جهت ارزیابی عملکرد دستگاه در شرایط مختلف، پارامترهای کاری سرعت دورانی، تغذیه و نوع مش تیغه مورد بررسی قرار گرفت. سرعت دورانی در پنج سطح و در سرعت‌های ۷۰۰، ۷۵۰، ۸۰۰، ۸۵۰ و ۹۰۰ دور بر دقیقه، تغذیه‌ی دستگاه در چهار سطح و با ۱، ۳، ۶ و ۸ عدد نارنج و با ۳ سطح مش ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. آزمون و ارزیابی پوست‌کن نارنج در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد که ماتریس انجام آزمایشات نیز در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. پارامترهای کاری مورد ارزیابی و سطوح آنها

| سطوح پارامتر | سطوح | | | | |
|-------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
| سرعت دورانی (rpm) | ۷۰۰ | ۷۵۰ | ۸۰۰ | ۸۵۰ | ۹۰۰ |
| تغذیه (عدد) | ۱ | ۳ | ۶ | ۸ | - |
| مش‌بندی (mm) | ۲ | ۳ | ۴ | - | - |

تمام آزمایشات در مدت زمان ۳۰ ثانیه (مدت روشن کردن دستگاه) و در ۳ تکرار

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج بررسی برخی از خواص فیزیکی و ابعادی نارنج، نتایج آزمایشات پوست گیری نارنج با دستگاه و نتایج ارزیابی حسی شرح داده شده است.

نتایج بررسی خواص فیزیکی و ابعادی

در اندازه گیری خواص فیزیکی و ابعادی نارنج، ۱۵۰ نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف از معیار خواص ابعادی و جرم نارنج در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. خواص فیزیکی و ابعادی نارنج

| مشخصه | بیشینه | کمینه | میانگین | انحراف معیار |
|------------------------|-----------|----------|-----------|--------------|
| a، طول (cm) | ۸/۶۷۴ | ۵/۲۴۶ | ۶/۹۱۴۶ | ۰/۹۹۱۳ |
| b، عرض (cm) | ۸/۴۴۷ | ۵/۰۴۷ | ۶/۷۳۴۸ | ۰/۹۸۶۴ |
| c، ضخامت (cm) | ۸/۲۰۸ | ۴/۸۰۳ | ۶/۵۱۵۱ | ۰/۹۸۴۲ |
| میانگین قطر هندسی (cm) | ۸/۳۴۷ | ۴/۹۴۶ | ۶/۶۴۵۷ | ۰/۹۸۶۰ |
| وزن (g) | ۲۱۴/۹۸ | ۷۷/۴۴ | ۱۶۲/۸۶ | ۶۷/۹۹۶ |
| حجم (cm^3) | ۲۶۶/۳۷ | ۶۳/۳۱۹ | ۱۵۳/۶۰۳ | ۷۲/۷۲۳ |
| چگالی (g/cm^3) | ۱/۱۰۷ | ۰/۸۹۹ | ۱/۰۰۷۵ | ۰/۰۵۶۰ |
| ضریب کرویت (-) | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۴۳ | ۰/۹۶۰ | ۰/۰۱۲۱ |
| سطح رویه (mm^2) | ۲۱۸۷۷/۱۳۶ | ۷۶۸۱/۳۵۵ | ۱۳۸۶۷/۹۱۳ | ۴۲۰۳/۳۹۵ |

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده، میانگین داده‌های طول، عرض، ضخامت به ترتیب برابر با ۶۹/۱۴۶، ۶۷/۳۴۸ و ۶۵/۱۵۱ میلی متر می‌باشد. اما مشخصه‌ای که بیش تر نمایان بوده و در ادامه‌ی کار نیز از آن بهره گرفته شد، ضریب کرویت می‌باشد. بر اساس داده‌های به دست آمده، بیش ترین ضریب کرویت برابر با ۰/۹۸۷ و کمترین آن برابر با ۰/۹۴۳ می‌باشد. میانگین ضریب کرویت نمونه‌های اندازه گیری شده برابر با ۰/۹۶ که نشان دهنده‌ی تشابه زیاد این میوه به گُره است.

نتایج آنالیز واریانس

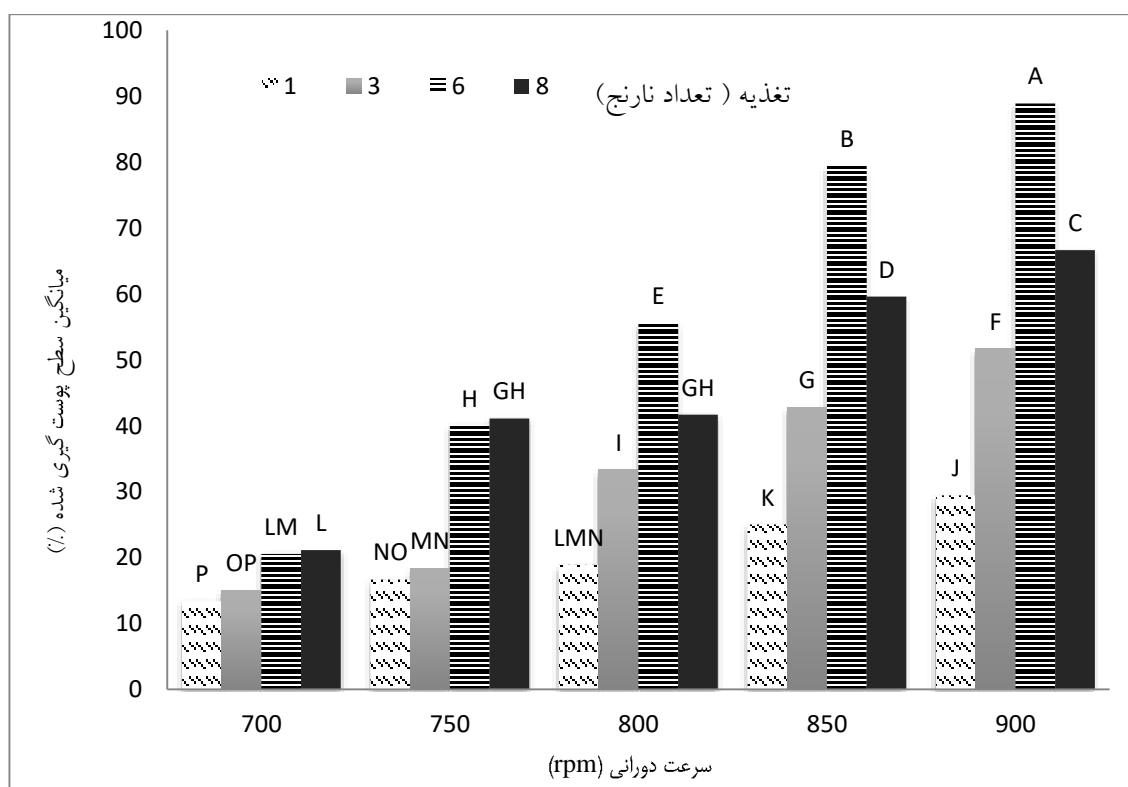
تجزیه واریانس به منظور ارزیابی اثرات سرعت دورانی، تغذیه دستگاه و نوع مش بندی و هم چنین اثرات متقابل آنها بر روی سطح پوست گیری شده در جدول ۴ نشان داده شده است. سرعت، تغذیه، نوع مش تیغه، سرعت × تغذیه، سرعت × مش تیغه و تغذیه × مش تیغه و سرعت دورانی × مش تیغه × تغذیه در سطح ۱٪ تأثیر معنی داری بر روی میزان سطح پوست گیری شده داشته‌اند.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس تأثیر مش تیغه ها، تغذیه دستگاه، سرعت دورانی و اثرات متقابل آنها بر درصد پوست گیری

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|-------------------------------|------------|----------------|
| تغذیه | ۳ | ۱۱۲۷۰/۴۵۰** |
| سرعت دورانی | ۴ | ۱۰۱۸۸/۹۷** |
| مش تیغه | ۲ | ۱۶۰/۵۶** |
| تغذیه × سرعت دورانی | ۱۲ | ۷۷۴/۷۹** |
| تغذیه × مش تیغه | ۸ | ۱۰۴/۳۴** |
| سرعت دورانی × مش تیغه | ۶ | ۵۲/۸۴** |
| سرعت دورانی × مش تیغه × تغذیه | ۲۴ | ۷۰/۵** |
| خطا | ۱۲۰ | ۶/۹۰ |
| ضریب تغییرات (%) | — | ۶/۷۴ |

** معنی دار در سطح ۱ درصد

اثر متقابل سرعت و تغذیه بر مقدار سطح پوست گیری شده در شکل ۷ نشان داده شده است. این نمودار نشان می دهد که در تمامی تغذیه ها با افزایش سرعت دورانی صفحه دوار در محدوده‌ی سرعت ۷۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه، درصد سطح پوست گیری شده با اختلاف معنی داری افزایش می یابد. به این خاطر این دامنه سرعت انتخاب شد که در سرعت های کمتر از ۷۰۰ دور بر دقیقه، مقدار سطح پوست گیری شده بسیار ناچیز بوده و در سرعت های بالاتر از ۹۰۰ دور بر دقیقه سریعاً در بعضی از نارنج ها پارگی ایجاد شده و باعث اتلاف آنها می گردید.

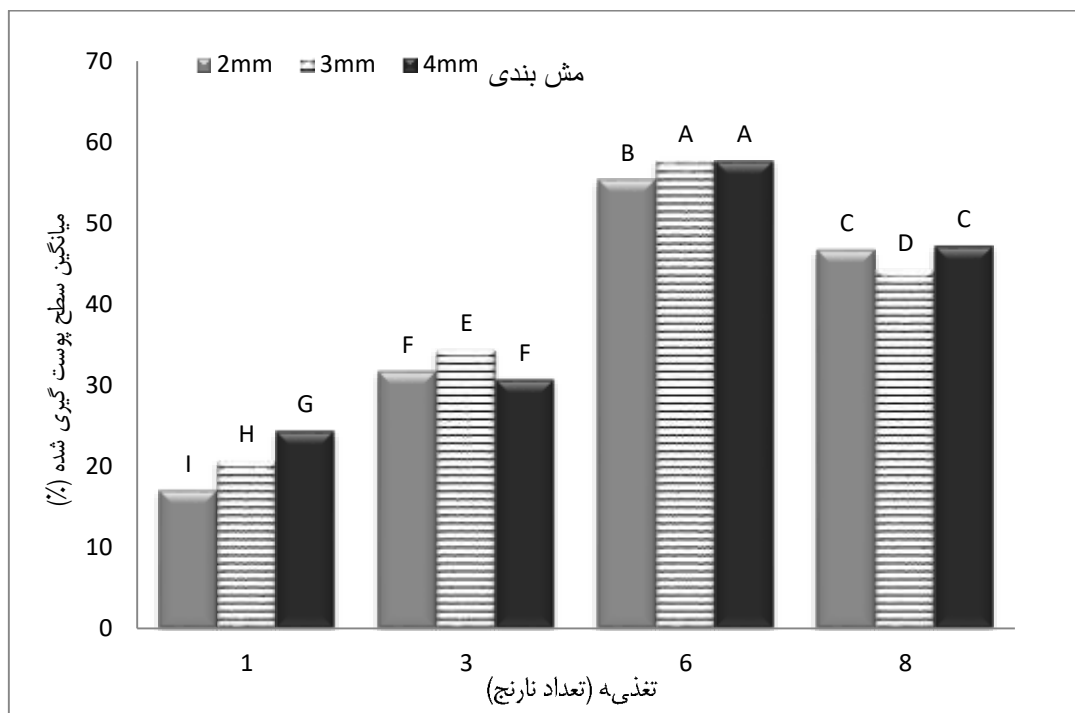


شکل ۷. اثر متقابل سرعت و تغذیه بر روی درصد سطح پوست گیری شده

از نقطه نظر تأثیر تغذیه نیز نمودار مقایسه میانگین نشان داد که در سرعت‌های بالاتر با افزایش تغذیه تا ۶ عدد، مقدار سطح پوست‌گیری شده بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد اما زمانی که تغذیه از ۶ به ۸ عدد تغییر می‌کند، مقدار سطح پوست‌گیری شده کاهش می‌یابد. تغییر آرایش نارنج‌ها در سرعت‌های بالاتر و متعاقب آن عدم پوست‌گیری بر روی ۲ عدد نارنج سبب کاهش میانگین سطح پوست‌گیری شده می‌شود. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار سطح پوست‌گیری شده در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه و تغذیه ۶ عدد نارنج اتفاق می‌افتد که برابر با ۸۸/۸۸٪ می‌باشد که این مقدار با مقدار ۷۹/۴۴٪ که در سرعت ۸۵۰ دور بر دقیقه رخ می‌دهد، تفاوت معنی‌داری دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که فرآیند با ۶ عدد نارنج و سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه انجام شود، بهترین عملکرد به دست می‌آید.

اثر متقابل سرعت دورانی و نوع مش تیغه‌ها نشان می‌دهد که در تمامی موارد با افزایش سرعت، مقدار سطح پوست‌گیری شده با اختلاف معنی‌داری افزایش می‌یابد. که نتایج تحقیقات گذشته نیز موید این مطلب است (ذکی، ۱۳۸۷). نوع مش تیغه‌ها نشان می‌دهد که تا سرعت ۸۰۰ دور بر دقیقه، با تغییر مش از ۲ تا ۴ میلی‌متر، مقدار سطح پوست‌گیری شده با اختلاف معنی‌داری افزایش می‌یابد. در سرعت ۸۵۰ دور بر دقیقه اختلاف مقدار سطح پوست‌گیری شده معنی‌دار نمی‌باشد. نهایتاً در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه، مقدار سطح پوست‌گیری شده با مش نوع ۳ میلی‌متر برابر با ۶۲/۴۷٪ می‌باشد که اختلاف معنی‌داری با مقدار ۶۰/۱۰٪ که مربوط به استفاده از مش نوع ۲ میلی‌متر می‌باشد، دارد. بنابراین می‌توان گفت که بهترین عملکرد در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه و با مش ۳ میلی‌متر حاصل می‌شود.

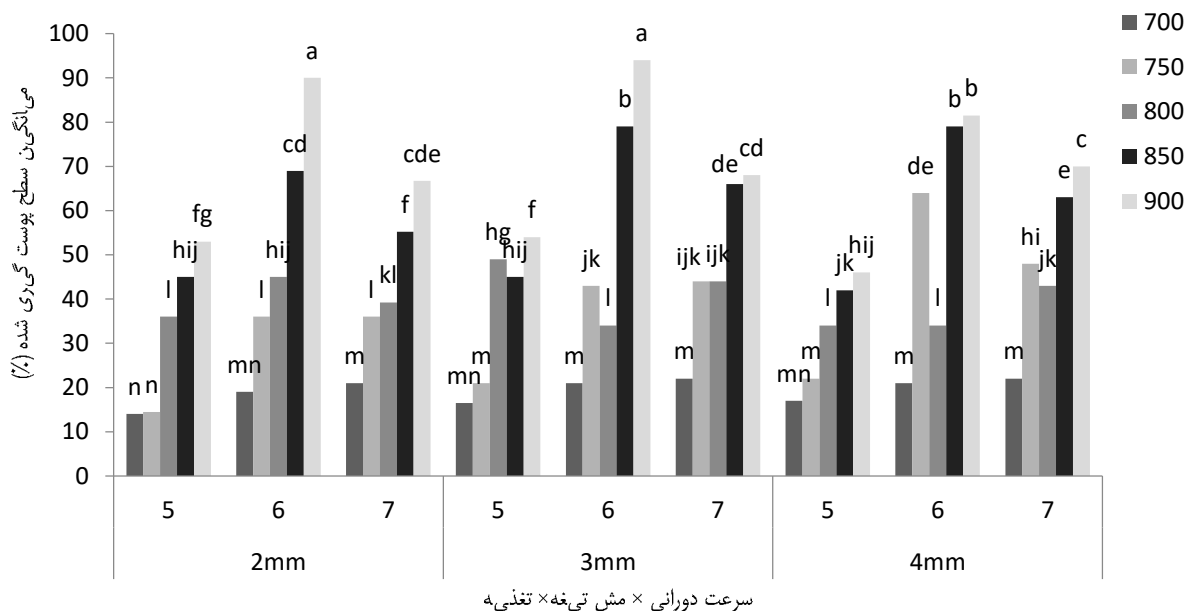
اثر متقابل تغذیه و نوع مش تیغه‌ها بر مقدار سطح پوست‌گیری شده در شکل ۸ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که مقدار سطح پوست‌گیری شده با اختلاف معنی‌داری با افزایش نرخ تغذیه تا ۶ عدد افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. علت کاهش معنی‌دار در نرخ تغذیه ۸ عدد تغییر آرایش و عدم درگیری تعداد مازاد نارنج بر محیط مخزن بوده است.



شکل ۸. اثر متقابل تغذیه و نوع مش‌بندی بر روی درصد سطح پوست‌گیری شده

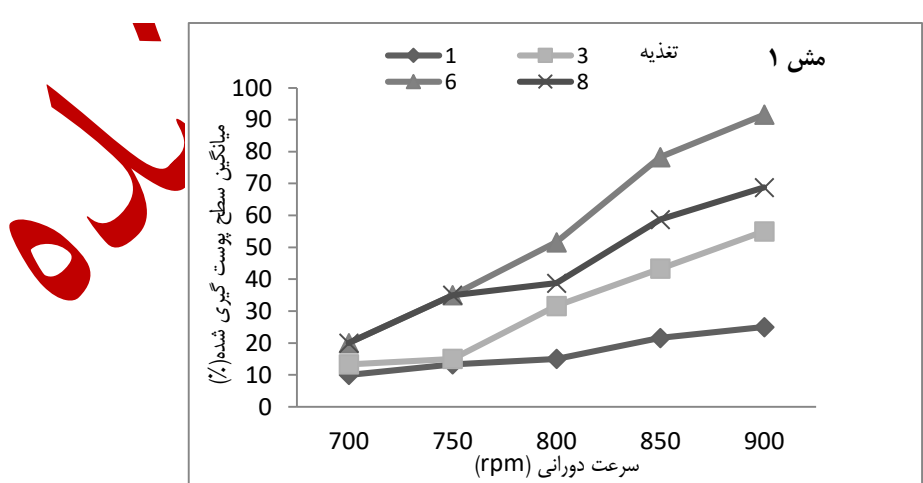
از نظر نوع مش‌بندی نیز در تمامی موارد اختلاف مقادیر با استفاده از مش ۲ و ۳ میلی‌متر معنی‌دار بوده است. بیشترین مقادیر سطح پوست‌گیری شده در تغذیه‌ی ۶ عدد نارنج رخ داده است که هر دو نوع ۳ و ۴ میلی‌متر دارای مقادیر یکسان ۵۷/۶۶٪ می‌باشند. اما به منظور کاهش صدمات و احتمال پارگی محصول و ممانعت از تلفات محصول، مش ۳ میلی‌متر به عنوان بهترین

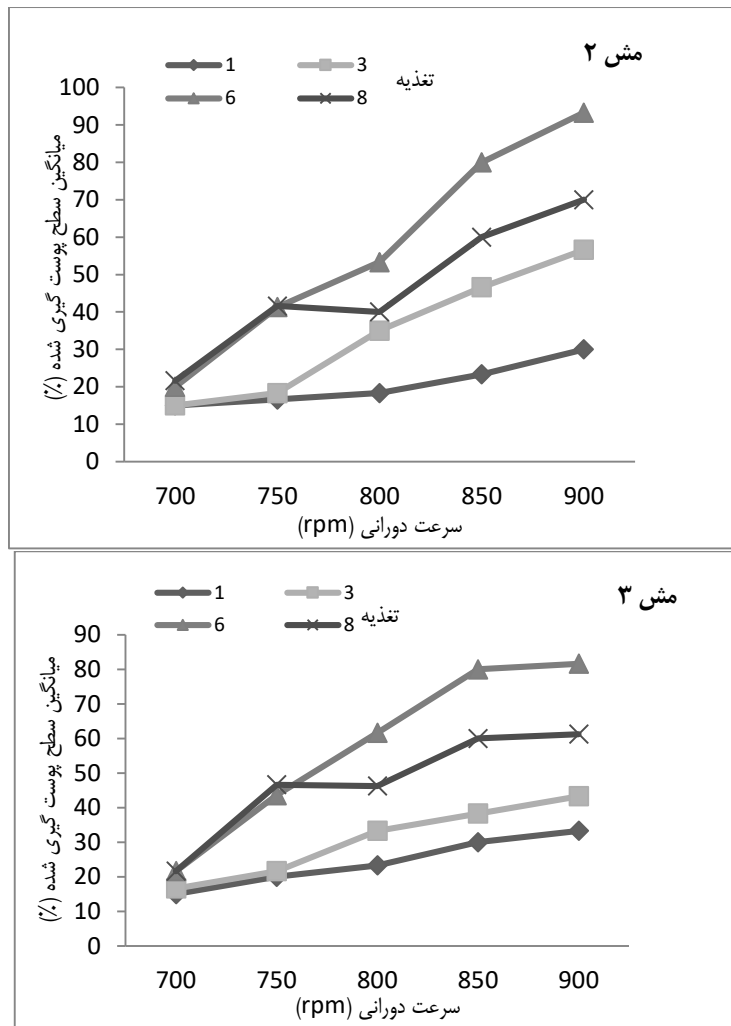
گزینه انتخاب شد. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین درصد پوست گیری این میوه به ترتیب از تیمار متقابل مش تیغه ۳ میلی متر در تغذیه ۶ و سرعت دورانی ۹۰۰ با میانگین ۸۸/۸۳ درصد به دست آمد.



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه مش بندی، تغذیه و سرعت دورانی بر درصد پوست گیری نارنج

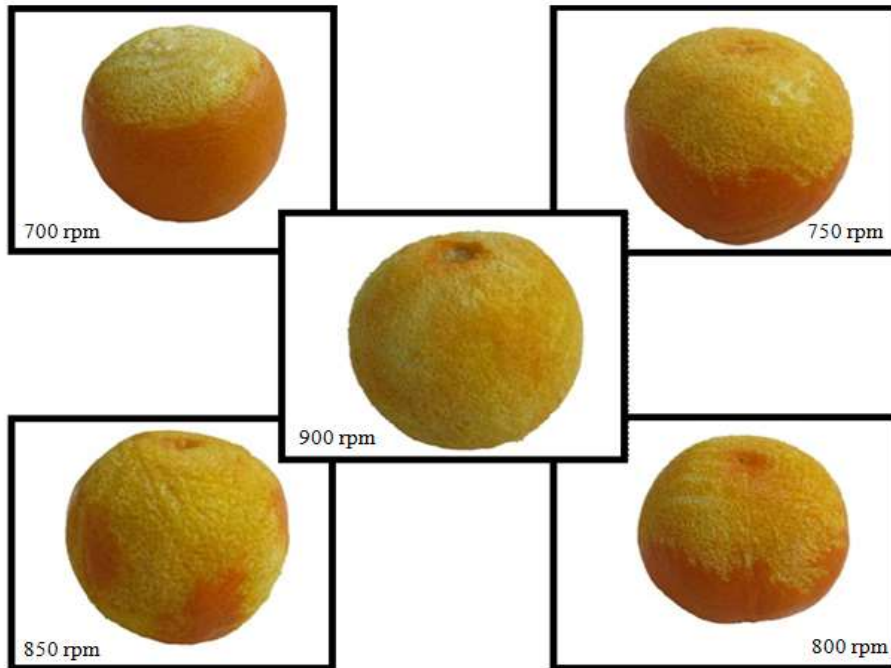
شکل ۱۰ اثر سرعت دورانی بر میزان سطح پوست گیری شده نشان می دهد. تغییرات در تغذیه های متفاوت با ۳، ۶ و ۸ عدد نارنج و با استفاده از مش بندی های ۲، ۳ و ۴ میلی متر آورده شده است.





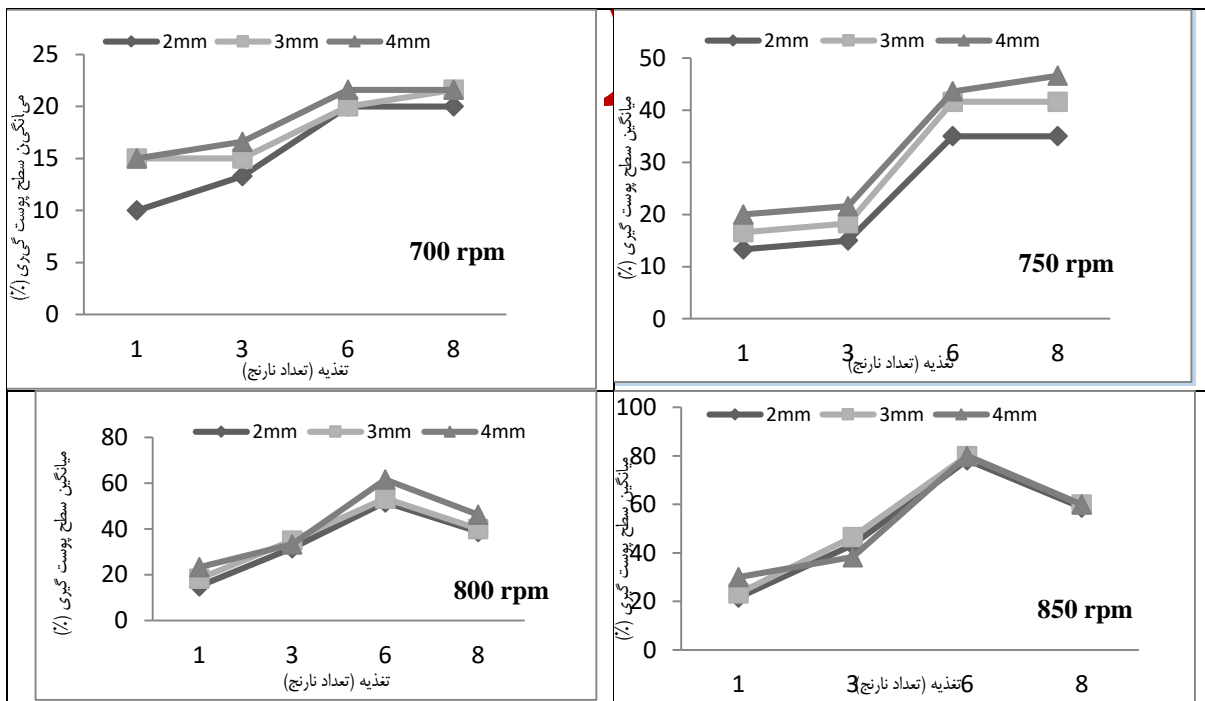
شکل ۱۰. درصد سطح پوست گیری شده نسبت به تغییرات سرعت دورانی صفحه‌ی دوار در تغذیه‌های مختلف با استفاده از مش‌بندی‌های مختلف.

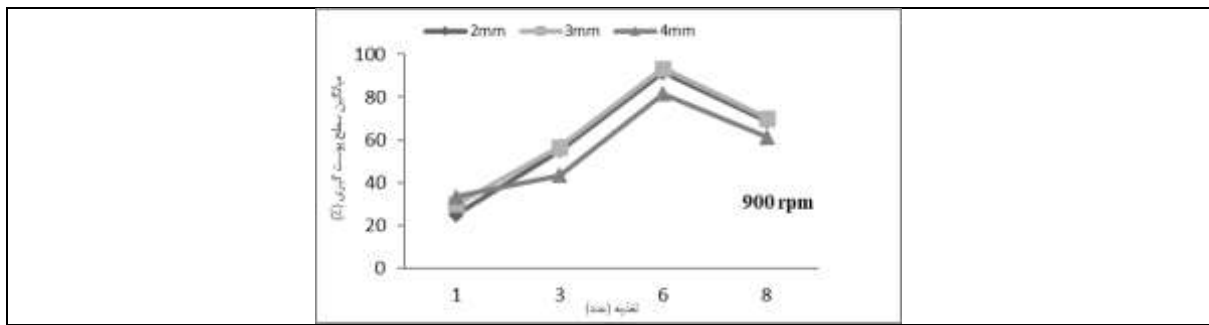
همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است با افزایش سرعت دورانی از ۷۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه، درصد سطح پوست‌گیری شده افزایش می‌یابد. این روند در تمامی تغذیه‌ها بطور مشهودی قابل ملاحظه است به طوری که در سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه بیش‌ترین میزان پوست‌گیری را به همراه دارد. در سرعت ۷۰۰ دور بر دقیقه در تمامی تغذیه‌ها میزان سطح پوست‌گیری شده تقریباً یکسان بود. در سرعت ۷۰۰ دور بر دقیقه نیروی وارده جهت پوست‌گیری کافی نبوده و ثانیاً درگیری کامل صفحه‌ی دوار با نارنج رخ نمی‌دهد، تفاوت محسوسی در سطح پوست‌گیری شده در تغذیه‌های مختلف وجود ندارد. شکل ۱۱ تصاویر نمونه‌های نارنج آزمایش شده در سرعت دورانی مختلف بر مقدار سطح پوست‌گیری شده در تغذیه با ۶ عدد نارنج و مش ۳ میلی‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. تغییرات میانگین سطح پوست گیری شده نسبت به تغییرات سرعت دورانی در تغذیه با ۶ عدد نارنج و مش ۳ میلی متر

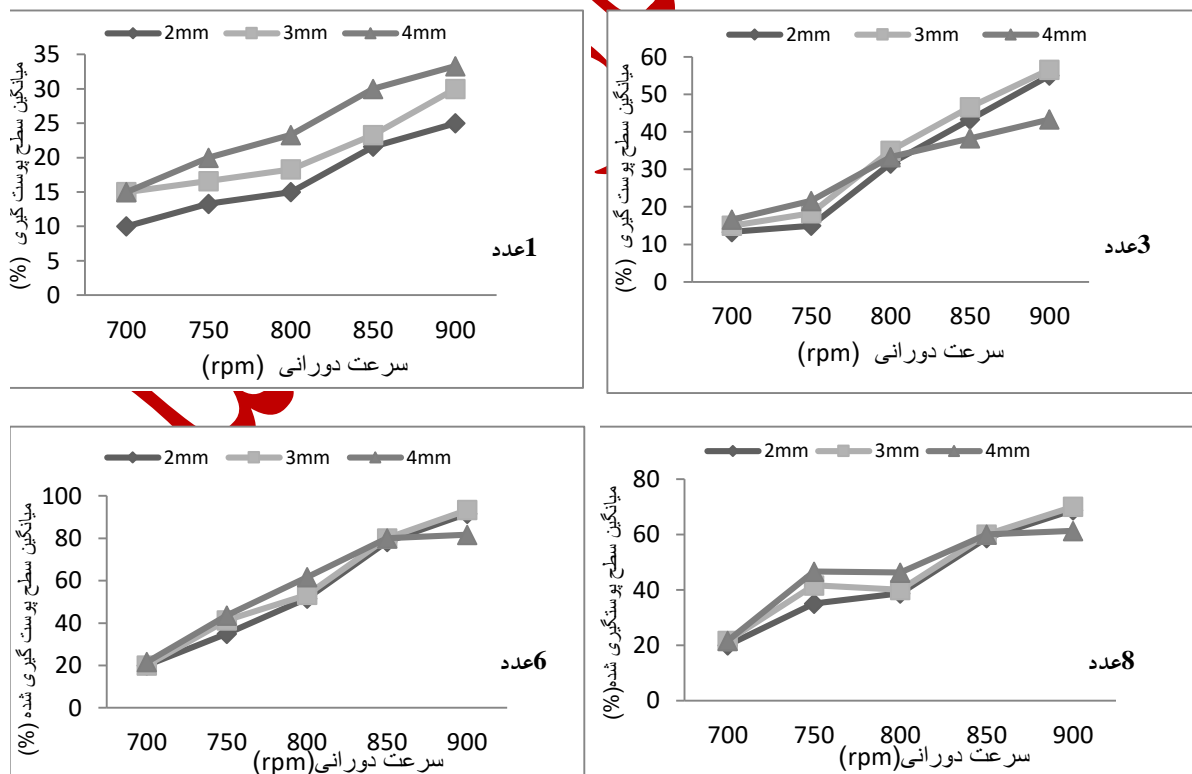
شکل ۱۲ میانگین سطح پوست گیری شده نارنج ها را در تغذیه های مختلف با سرعت های دورانی مختلف نشان می دهد.





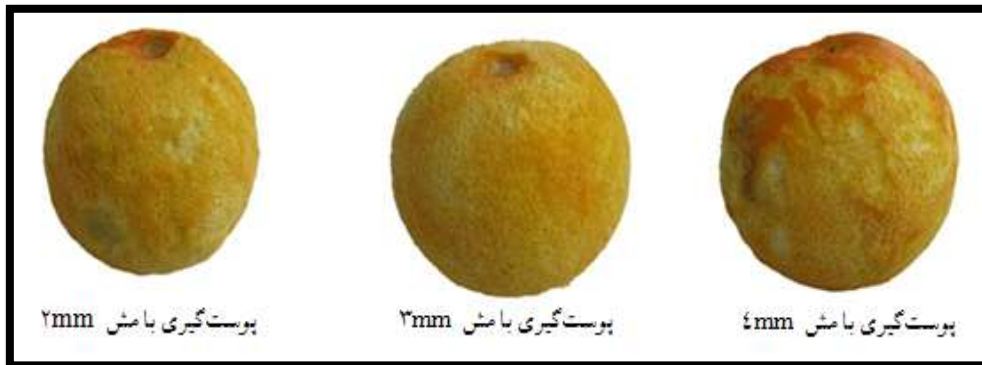
شکل ۱۲. درصد سطح پوست گیری شده نسبت به تغییرات تغذیه با استفاده از مش بندی های مختلف و در سرعت های مختلف

همان طور که در در شکل ۱۲ نشان داده شده است در سرعت دورانی ۷۰۰ دور بر دقیقه با افزایش تغذیه از ۱ به ۶ عدد نارنج با انواع مش تیغه ها، سطح پوست گیری افزایش می یابد. وقتی پوست گیری تنها با یک عدد نارنج انجام می شد، تنها بخش اندکی از سطح نارنج با صفحه ی دوار درگیر شده و حداکثر ۳۰٪ درصد از سطح کل پوست گیری می شد در عوض ضخامت بیش تری از پوست برداشته می شد. در حالتی که تعداد نارنج ها افزایش می یافت، برخورد دو نارنج هم زمان با درگیری صفحه ی دوار با نارنج سبب چرخش نارنج ها و غلتش نارنج بر روی صفحه ی دوار شده و نتیجاً میزان سطح پوست گیری افزایش می یافت. برخورد بین ۶ عدد نارنج ها بیش تر از ۳ عدد نارنج است که سبب افزایش سطح پوست گیری شده و ضخامت پوست برداشته شده یکنواخت تری حاصل می شود. چنین وضعیتی نیز با ۸ عدد نارنج در سرعت های ۷۰۰ و ۷۵۰ دور بر دقیقه رخ داد. شکل ۱۳ اثر مش تیغه ها را در سرعت های مختلف بر میانگین پوست گیری نارنج نشان می دهد.



شکل ۱۳. درصد سطح پوست گیری شده نسبت به تغییرات سرعت با استفاده از مش بندی های مختلف و در تغذیه های مختلف

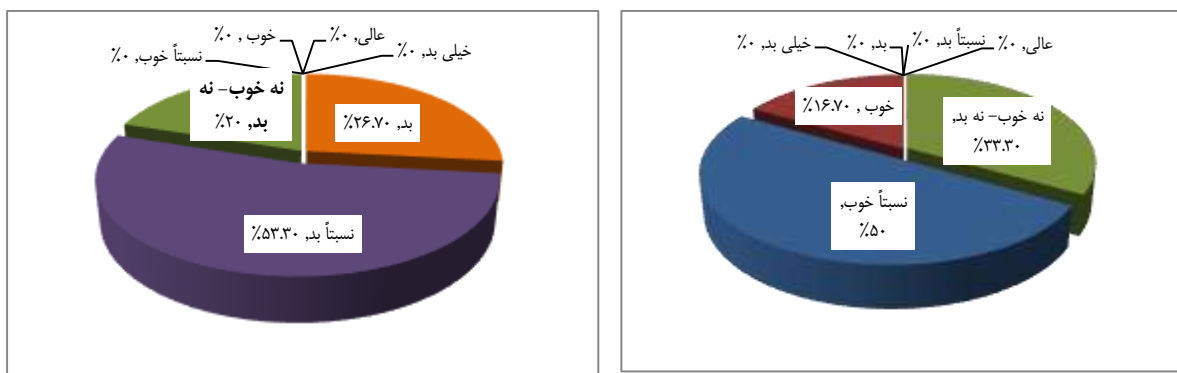
همان طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده با افزایش سرعت فرآیند پوستگیری با در تغذیه های مختلف نارنج بیشتر شده است. در سرعت های بالاتر از ۸۰۰ دور بر دقیقه مش بندی نوع ۳ میلی متر عملکرد بهتری نسبت به مش ۴ میلی متر داشته است. در مش ۴ میلی متر به دلیل بزرگ تر بودن ابعاد مش و در پی آن لبه های برنده بزرگ تر، در هر بار تماس نارنج با صفحه دوار سطح بیش تری برداشته شود. در نتیجه میانگین سطح پوست گیری شده کاهش خواهد یافت. شکل ۱۴ تصاویر مقدار سطح نارنج های پوست گیری شده با مش تیغه های مختلف در سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه و تغذیه با ۶ عدد نارنج نشان می دهد.



شکل ۱۴. تغییرات میانگین سطح پوست گیری شده نسبت به تغییرات مش بندی در سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه و تغذیه با ۶ عدد نارنج

نتایج ارزیابی حسی

همان طور که اشاره شد، وجود دو ترکیب نارنجین و لیمونین موجود در پوست نارنج سبب تلخی آب میوه استخراج شده می شود. در این مطالعه، به منظور بررسی اثر پاشش آب جهت شستن این مواد از روی سطح میوه در طول فرآیند پوست گیری و نتیجتاً اثر آن بر میزان تلخی آب میوه، از روش ارزیابی حسی استفاده شده است. این بررسی در دو تیمار پاشش آب، بدون پاشش آب مورد بررسی قرار گرفت که شکل ۱۵ نتایج حاصل از ارزیابی حسی را پس از فرآیند پوست گیری با و بدون پاشش آب در طول فرآیند نشان می دهد. نتایج نشان داد که پاشش هم زمان آب در طول فرآیند، تأثیر قابل قبولی بر کاهش میزان تلخی دارد. بر همین اساس، تعبیه ی یک مجرای پاشش آب در بالای محفظه ی پوست گیری مؤثر تشخیص داده شد.



شکل ۱۵. نتایج ارزیابی حسی میزان تلخی آب میوه استخراج شده پس از فرآیند پوست گیری، راست با پاشش آب، چپ: بدون پاشش هم زمان آب

نتیجه گیری کلی

اندازه گیری و محاسبه ی برخی خواص فیزیکی و ظاهری حاکی از آن است که نارنج با ضریب کرویت ۰/۹۶، تشابه بسیاری به حجم هندسی کُره دارد. با بررسی تأثیر سرعت دورانی بر میزان سطح پوست گیری شده مشاهده گردید که سرعت دورانی، نرخ

تغذیه و نوع مش تیغه با احتمال ۹۹٪ بر میزان سطح پوست گیری شده تأثیر معنی دار دارد، به طوری که با افزایش سرعت دورانی، راندمان پوست گیری افزایش می یابد. در سرعت‌های بالاتر از ۸۰۰ دور بر دقیقه در صورت استفاده از مش تیغه بزرگتر ۴ میلی متر میوه برش خورده و کیفیت کاهش می یابد. نتایج حاصل از بررسی اثر تغذیه بر راندمان پوست گیری نشان داد که ظرفیت دستگاه تحت تأثیر محیط داخلی محفظه پوست کن می باشد. با بررسی اثر متقابل پارامترهای کاری ماشین، شرایط کاری بهینه با سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه، نرخ تغذیه ۶ عدد نارنج و مش تیغه ۳ میلی متر به دست آمد. در این شرایط راندمان پوست گیری دستگاه برابر با ۸۸/۸۳ به دست آمد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که پاشش هم زمان آب بر روی نارنج، در طول فرآیند پوست گیری، ۵۰٪ تلخی آب نارنج را کاهش داده است. با بررسی تأثیر سرعت دورانی بر میزان سطح پوست گیری شده مشاهده گردید که سرعت دورانی با احتمال ۹۹٪ بر میزان سطح پوست گیری شده تأثیر معنی دار دارد، به طوری که با افزایش سرعت دورانی، راندمان پوست گیری افزایش می یابد. بررسی اثر تغذیه دستگاه بر میزان سطح پوست گیری شده نشان داد که تغذیه دستگاه (تعداد نارنج در هر فرآیند پوست گیری) با احتمال ۹۹٪ بر میزان سطح پوست گیری شده اثر معنی دار دارد. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش تعداد نارنج در هر فرآیند، میزان سطح پوست گیری شده افزایش می یابد. با لحاظ ۳۰ ثانیه به منظور پوست گیری موفق و مؤثر، ۲۰ ثانیه جهت پُر و خالی نمودن ماشین و میانگین وزن ۱ کیلوگرم برای ۶ عدد نارنج، ظرفیت کاری ماشین ۷۲ کیلوگرم محاسبه شد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر حمایت مالی / حمایت معنوی / همکاری در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می شود. از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می شود.

منابع

- کازمی سیامک (۱۳۹۲). حساب دیفرانسیل و انتگرال. توماس، جورج، انتشارات فاطمی. تهران. ۴۷۶ ص.
- ذکی، سید امیر (۱۳۸۷). طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین پوست کن گردو. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.
- مرتضوی، سید علی، ضیالاحق، سید حمیدرضا (۱۳۸۳). فناوری فرآوری فرآورده‌های جانبی مرکبات. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۳۲ ص.

REFERENCES

- Bustamante, J., Van Stempvoort, S., García-Gallarreta, M. J.A., Houghton, H.K., Briers, V.L., Budarin, A.S., Matharu, J.H., Clark, (2016). Microwave assisted hydro-distillation of essential oils from wet citrus peel waste. *J. Clean. Prod.* 137, 598–605.
- Ferrer, V., Costantino, G., Paoli, M., Paymal, N., Quinton, C., Ollitrault, P., Tomi, F., Luro, F. (2021). Intercultivar Diversity of Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) Based on Genetic Markers, Phenotypic Characteristics, Aromatic Compounds and Sensorial Analysis. *Agronomy*, 11, 1084. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061084>.
- Foxcroft (2009). United states Patent Office. P.N.: 20090211462.
- Garcia, E. and Barrett, D. M. (2006). Peel ability and yield of processing tomatoes by steam or lye. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(1), 3–14.
- Hasegawa S., Vandercook C. E. Choi G. Y., Herman Z., and Ou P. (1985). Limonoid debittering of citrus juice sera by immobilized cells of *Corynebacterium fascians*, *J. Food Sci.* 50: 330-332.
- Heinzen et al. (1997). United states Patent Office. P.N. 5660104.
- Kazemi, S. (2013). Differential and integral calculus. Thomas, George. *Fatemi Publications*. Tehran. 476 pp. (In Persian).

Kimball D. A. (1991). Citrus processing Quality control and Technology, Chapman & Hall, New York.

Kimball D. A. and Norman S. I. (1990). Changes in California Navel orange juice during commercial debittering, *J. Food Sci.* 55(1): 273-274.

Kohli, D., Padam, Singh, C., Vishwambhar, D., Mudgal, S., Kumar, J., Brijesh, K. (2021). Advances in peeling techniques for fresh produce, *Journal of Food Process Engineering*. e13826, P 1-18.

Li, Xuan. (2020), Methods of Peeling Fruits and Vegetables from: Handbook of Food Preservation CRC Press.

Maksoud, S., Abdel-Massih, R.M., Rajha, H.N., Louka, N., Chemat, F., Barba, F.J., Debs, E. (2021). Citrus aurantium L. Active Constituents, Biological Effects and Extraction Methods. An Updated Review. *Molecules*, 26, 5832.

Mortazavi, S.A., Zia-ol-Haq, S. H. (2004). Technology of processing citrus by-products. Ferdowsi University of Mashhad Publications, 332 pp. (In Persian).

Norman S. I. (1990). A commercial citrus debittering system, *Trans. Citrus Eng. Conf.* 36: 1-31.

Rafiq, Sh, Kaul, R, Sofi, S.A., Bashir, N, Nazir, F, Gulzar, A. (2016). Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, (6), 1-8.

Rownaghi, M., & Niakousari, M. (2024). Sour orange (*Citrus aurantium*) seed, a rich source of protein isolate and hydrolysate – A thorough investigation. *Heliyon*, 10(12).

Shen, Y., Khir, R., Wood, D., (2020). Pear peeling using infrared radiation heating technology, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102474>.

Talmadge J. (1998). The Blade Geometry FAQ. Bellies and Angle section p1 – 10.

Topuz A., Topakci M., Canakci M., Akinci I., and Ozdemir F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. *J. Food Eng. Res.*, 66, 519-523.

Zaki, S.A. (2008). Design, construction and evaluation of walnut shelling machine. Master's thesis in mechanical engineering of agricultural machinery. Aburaihan Campus, University of Tehran. (in Persian)

Introduction

Sour orange peel contains important bittering compounds such as naringenin and limonin, which, if they penetrate into the fruit juice, create an aftertaste and significantly reduce the sensory quality of the product. Due to its relative solubility in water and high heat resistance, naringenin is separated from the pulp and enters the aqueous phase even during pasteurization and storage. Therefore, accurate and effective peeling before juicing is a key step in orange processing.

Materials and Methods

In this study, the physical-geometric properties of orange fruit were first investigated. The results showed that the average main diameters (a), (b) and (c) were 69.14, 67.34 and 65.15 mm, respectively, the geometric mean diameter was 67.21 mm, the sphericity coefficient was 0.96, the volume was 3.18 cm³ and the surface area was 41.16 cm². The nearly spherical shape of oranges (96% sphericity) makes it easier to design mechanical peeling equipment. With a cylindrical abrasive peeling machine designed and manufactured to optimize its performance, the effect of three parameters: rotational speed of the abrasive cylinder (300, 500, 700, 900 and 1100 rpm), feeding rate (1, 3, 6 and 8 fruits per turn) and mesh size of the abrasive blade (2, 3 and 4 mm) on the percentage of peeled surface was investigated in a completely randomized factorial design with three replications.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the main effect of all three factors and their two-way and three-way interaction effects were significant at the 1% probability level. By

increasing the rotational speed to 900 rpm, the percentage of peeling increased significantly ($p<0.01$). However, at speeds above 900 rpm, and especially at a mesh size of 4 mm, severe mechanical damage to the fruit and a decrease in visual quality were observed. The optimal operating conditions of the device were obtained through an interaction analysis, which included a rotational speed of 900 rpm, a feeding rate of 6 fruits, and a blade mesh size of 3 mm. Under these conditions, the average peeled percentage was more than 88% and mechanical damage was at the lowest level.

Conclusion

The effect of water spraying during peeling on reducing the bitterness of the final juice was investigated through sensory evaluation (by 10 trained evaluators). The results showed that continuous water spraying during the process significantly reduced the bitterness intensity of the juice ($p<0.05$), which is due to the rapid washing of naringin and limonin released from the fruit surface. Finally, the designed device, by applying optimal conditions and a water spraying system, is capable of peeling oranges with high efficiency, minimal mechanical damage, and maintaining the sensory quality of the juice, and provides a practical and economical solution for small and medium-sized orange processing industries.

پایان