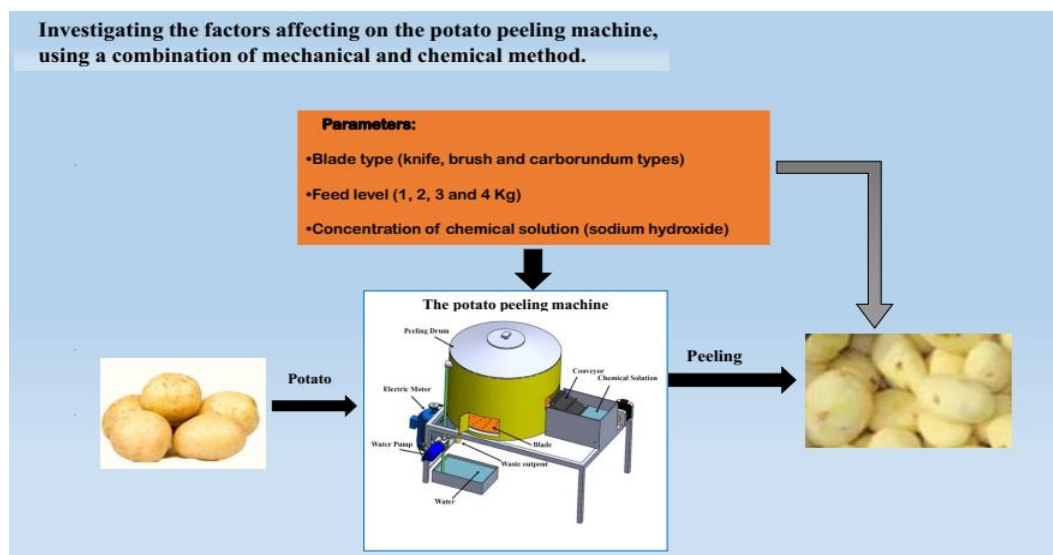


Investigating the factors affecting the potato peeling machine, using a combination of mechanical and chemical methods

Mostafa Rezaimehr¹, Rasoul Memar Dastjerdi^{2*}, Mahdi Saadatfard³

1. Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2. Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: rasoul.memar@asnrukh.ac.ir
3. Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

(Received: March 6, 2022- Revised: July 19, 2022- Accepted: March 11, 2023)



Abstract: Potato (*Solanum tuberosum*) is one of the strategic products which is cultivated in most of the regions in Iran. Peeling is one of the primary processes of this product and plays an important role in other processing steps. In this research, a combination of mechanical and chemical potato peelers was designed and manufactured. The peeler consists of a chase, a motor, a power transfer system, and a drum equipped with three types of blades. Various experiments were carried out to determine the amount of losses and performance evaluation. The experiment was performed at three levels of blade type (knife, brush and carborundum type), four levels of feed rate (1, 2, 3 and 4 kg) and four levels of concentration of the chemical solution (0, 1, 2 and 3%, w/w). The experiment was factorial based on a completely randomized design with three replications. The results of the experiments showed that the effects of blade type, feed rate, and concentration of the chemical solution on the amount of losses and performance evaluation were significant ($p < 0.01$). Maximum rate of peeling was achieved by applying the brush-type blade with a 1 kg feed rate and the 3% concentration of the chemical solution. The results showed that in all three types of blades and at each feed rate, the percentage of peeling increases with the increase in the concentration of sodium hydroxide chemical solution. Also, it was found that the combined chemical and mechanical peeling increases peeling, reduce the peeling losses, and improves the performance of the device.

Key words: peeling, potato, blades, chemical solution, performance, losses

بررسی عوامل مؤثر بر پوست‌گیری سیب‌زمینی به روش تلفیقی مکانیکی و شیمیایی

مصطفی رضایی مهر^۱، رسول معمار دستجردی^{۲*}، مهدی سعادتفرد^۳

۱. گروه ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاتانی، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران، ایمیل:

rasoul.memar@asnrukh.ac.ir

۳. گروه ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان، ملاتانی، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰)

چکیده: سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) یکی از محصولات راهبردی است که در اغلب مناطق ایران کشت می‌شود. پوست‌گیری یکی از مراحل اولیه و مهم در فرآوری این محصول است. کیفیت و کمیت محصول فرآوری شده تحت تأثیر این مرحله می‌باشد. در این مطالعه، ابتدا دستگاه پوست‌گیری سیب‌زمینی به روش تلفیقی مکانیکی و شیمیایی طراحی و ساخته شد. دستگاه از قسمت‌های شاسی، موتور، استوانه پوست‌گیری، حمام محلول شیمیایی، سیستم انتقال نیرو و سه نوع تیغه تشکیل شده است. پس از ساخت دستگاه تأثیر عوامل نوع تیغه (چاقویی، سایشی و برسی)، میزان تغذیه در چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد روی میزان پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد تأثیر نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی و اثر متقابل آن‌ها بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند. بیشترین میزان پوست‌گیری در تیغه برسی در میزان تغذیه ۱ کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی ۳ درصد به دست آمد. نتایج نشان داد در هر سه نوع تیغه و در هر میزان تغذیه‌ای، با افزایش غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم درصد پوست گرفته شده افزایش می‌یابد. به‌طورکلی مشخص شد تلفیق پوست‌گیری شیمیایی و مکانیکی باعث افزایش میزان پوست گرفته شده، کاهش تلفات و بهبود عملکرد دستگاه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پوست‌گیری، سیب‌زمینی، تیغه، محلول شیمیایی، عملکرد، تلفات

مقدمه

میوه‌های گوشتی توسط کوتیکول یا پوست پوشانده می‌شوند که نقش محافظتی مهمی در طول رشد و رسیدن میوه دارد. کوتیکول همچنین نقش مهمی در به حداقل رساندن از دست دادن آب میوه، جلوگیری از نرم شدن آن و محافظت از میوه در برابر عوامل بیماری‌زا را دارد (Trivedi et al., 2020). پوست، بسته به خصوصیات آن ممکن است برداشته یا مصرف گردد. میوه‌هایی نظیر سیب و انگور دارای پوستی چسبنده هستند که به محکمی به گوشت میوه چسبیده‌اند و هرچه میوه رسیده‌تر می‌گردد این پوست نیز خوشمزه‌تر می‌شود. پوست میوه حاوی اسانس‌هایی است که مسئولیت رایحه آن را بر عهده دارند. میوه مرکبات دارای پوست ضخیمی هستند که قبل از مصرف باید برداشته شوند. استحکام پوست بر اساس استحکام ذاتی دیواره سلولی اولیه است. دیواره سلولی گیاهی ماتریس پیچیده‌ای از پلی ساکاریدها است که عمدتاً از پکتین، همی سلولز و سلولز تشکیل شده است. پلیمریزاسیون پکتین و همی سلولز نقش مهمی در رسیدن میوه ایفا می‌کند که منجر به جدا شدن سلولز و شبکه همی سلولزی و کاهش سفتی میوه می‌شود (Wang et al., 2013). پوست‌گیری به‌طور گسترده در مصارف خانگی، مقیاس‌های کوچک فرآوری و فرآوری‌های بزرگ صنعتی روی میوه‌ها و سبزی‌هایی نظیر سیب، پرتقال، هلو، گلابی، پیاز، هویج، گوجه، کدو و سیب‌زمینی انجام می‌گیرد (Pan et al., 2015). این عمل با حذف مواد خارجی نامطلوب یا غیرقابل خوردن از میوه‌ها و سبزی‌ها صورت می‌پذیرد (Pan et al., 2015; Li et al., 2014). انجام عملیات پوست‌گیری نه تنها به‌طور مستقیم بر کیفیت محصولات تأثیر می‌گذارد، بلکه بر هزینه فرآوری محصول و هزینه مدیریت تلفات تولید شده نیز تأثیر دارد (Gavahian & Sastry, 2020) برای اطمینان از عملکرد بهینه پوست‌گیری، عواملی مانند فشار، دما و

زمان باید کنترل گردند. نرخ پوست‌گیری به دما، غلظت، زمان پوست‌گیری، ضخامت پوست و سایر خصوصیات میوه بستگی دارد (Koli et al., 2021). ترکیب این متغیرها نقشی کلیدی در میزان تلفات گوشت میوه دارد. یک عملیات پوست‌گیری پایدار باید تغییرات کیفی، افت کمی، انرژی و آب مصرفی و آلودگی‌های محیطی را به حداقل میزان ممکن برساند (Li et al., 2014). از روش‌های معمول در پوست‌گیری می‌توان به روش‌های مکانیکی، گرمایی و شیمیایی اشاره کرد. در این روش‌ها به ترتیب از ابزارهای مکانیکی، حرارت و محلول‌های قلیایی جهت پوست‌گیری استفاده می‌شود. هر یک از این روش‌ها مزایا و محدودیت‌های خود را دارد. علاوه بر این روش‌ها، اخیراً روش‌های دیگری نیز نظیر به‌کارگیری مادون قرمز، گرمادهی اهمی و امواج فراصوتی نیز در پوست‌گیری استفاده می‌شوند (Wongsa-Ngasri et al., 2015; Shen et al., 2020; Kaur et al., 2013 & Kermani et al., 2018). در میان انواع مختلف روش‌های پوست‌گیری، روش‌های مکانیکی برای میوه‌ها و سبزی‌های دارای شکل منظم نظیر سیب‌زمینی، هویج، سیب، پرتقال و کیوی ارجحیت دارند. اما این روش‌ها در محصولات دارای شکل نامنظم تلفات بالایی نزدیک به ۲۵ درصد را دارند و آسیب‌های جدی به محصول وارد می‌کنند (Kate & Sutar, 2018). برای کاهش ضایعات در هنگام پوست‌گیری مکانیکی از پوست‌گیری شیمیایی استفاده می‌شود. روش شیمیایی پوست‌گیری، معمولاً در کارخانه‌ها و صنایع فرآوری محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. معمول‌ترین روش پوست‌گیری شیمیایی روش پوست‌گیری قلیایی ۱ است. در صنعت مواد غذایی، به محلول هیدروکسید سدیم یا سود سوزآور، قلیا می‌گویند که در غلظت‌های مختلف و برای آسان‌تر کردن جداسازی پوست خارجی میوه از گوشت آن، استفاده می‌شود (Pan et al., 2015). در این روش برای شل شدن پوست میوه‌ها و سبزی‌ها، آن‌ها را در یک محلول

برای نمونه در طول فرایند تولید سیبزمینی سرخ کرده، مقدار زیادی تلفات وزنی اتفاق می‌افتد. این تلفات می‌تواند خواسته یا ناخواسته باشد. تلفات ناخواسته بازده عملکرد فرایند را کاهش می‌دهد که می‌تواند به دلیل عملکرد ناکارآمد واحد پوست‌گیری، نشستی سیستم، رسوب ضایعات و ... باشد. در مصارف خانگی، پوست‌گیری سنتی به روش دستی صورت گرفته که زمان‌بر و خسته‌کننده است و تلفات گوشت سیبزمینی نیز بسیار بالاست. در مصارف صنعتی از پوست‌گیری به روش قلیایی ۱ استفاده می‌شود. در روش مذکور از یک محلول قلیایی با دمای بالا استفاده می‌شود. این حرارت باعث ایجاد آسیب به بافت سیبزمینی و فعال‌سازی آنزیم پلی فنل گردیده که موجب کاهش کیفیت سیب‌زمینی خواهد شد. از طرف دیگر فاضلاب ناشی از فرایند پوست‌گیری سبزی و صیفی‌جات در صورت رها شدن در طبیعت، باعث ایجاد آلودگی جدی زیست‌محیطی می‌شوند. در این فاضلاب‌ها مقادیر زیادی از اکسیژن بیوشیمیایی ۲ وجود دارد که برای محیط‌زیست مضر است (Arapoglou et al., 2010). با در نظر گرفتن اهمیت عملیات پوست‌گیری در فرآوری سیبزمینی و میزان تلفات بالای روش مکانیکی و همچنین آلودگی ایجاد شده در روش شیمیایی، نیاز به ساخت دستگاهی مجهز با تلفیق دو سیستم پوست‌گیری مکانیکی و شیمیایی دیده می‌شود؛ لذا هدف کلی از این پژوهش پس از ساخت دستگاه، بررسی عوامل مؤثر بر پوست‌گیری سیبزمینی به روش تلفیقی مکانیکی و شیمیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این قسمت ابتدا مراحل کار و نحوه تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصول سیبزمینی بیان می‌گردد. سپس مراحل ساخت دستگاه پوست‌گیر تلفیقی

غلیظ قلیایی با دمای بالا در مدت زمان از پیش تعریف شده، غوطه‌ور می‌کنند (Li et al., 2014 & Gao et al., 2018). در پژوهشی Das & Barringer (2006) کارآیی پوست‌گیری به‌وسیله‌ی محلول‌های قلیایی هیدروکسید سدیم، هیدروکسید پتاسیم و هیدروکسید کلسیم را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد هیدروکسید پتاسیم و هیدروکسید سدیم کارآیی بیشتری از هیدروکسید کلسیم در پوست‌گیری دارند. همچنین ثابت شده است هیدروکسید پتاسیم بازدهی بیشتری نسبت به هیدروکسید سدیم دارد. اما مهم‌ترین دلیل آنکه در صنعت مواد غذایی استفاده از محلول هیدروکسید سدیم رواج بیشتری دارد، قیمت بالای محلول هیدروکسید پتاسیم است. سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) سومین محصول پرمصرف در جهان می‌باشد. کاشت و برداشت این گیاه غده‌ای روزبه‌روز در جهان در حال افزایش است و از جمله اقلامی است که در صنایع تبدیلی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی این محصول کشور چین با میانگین تولید ۷۸۱۸۳ هزار تن در سال ۲۰۲۰ است. ایران سیزدهمین تولیدکننده‌ی جهان با میزان تولید ۴۴۷۴ هزار تن می‌باشد (FAO, 2020). تلفات پس از برداشت سیبزمینی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متغیر است. مهم‌ترین علت تلفات این محصول عدم وجود امکانات مناسب و انبارهای کافی برای ذخیره‌سازی و نگهداری آن است (Sephehdoust & Emami, 2017). به همین دلیل کشاورزان در فصولی از سال که عرضه بر تقاضا پیشی می‌گیرد، مجبور به فروش محصول خود به قیمت‌های بسیار پایین می‌باشند. در نتیجه صنعت تولید این محصول نیاز بسزایی به صنایع تبدیلی برای استفاده از مازاد تولید دارد. از جمله محصولات پرمصرف فرآوری شده از سیبزمینی می‌توان به پودر، پوره، پرک و چیپس سیبزمینی اشاره کرد.

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این روابط، L طول نمونه (متر)، B عرض نمونه (متر) و T ضخامت نمونه (متر) است (جدول ۱).

اندازه گیری خواص مکانیکی

برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه آزمون مواد شرکت سنتام (مدل STM-20) ساخت کشور ایران استفاده شد. به منظور تعیین نیروی گسیختگی و چقرمگی، آزمون فشاری - عمودی در سرعت بارگذاری ۲۰ میلی متر بر دقیقه انجام گرفت. برای مشخص کردن میزان مقاومت برشی نمونه، یک نفوذکننده از جنس فولاد ضدزنگ با قطر ۸ میلی متر و نوک صاف، با سرعت حرکت ۲۰ میلی متر بر دقیقه استفاده گردید. نیروی برشی نمونه ها با استفاده از یک نفوذ کننده برنده با نوک تیز شده (۳۰ درجه) و ضخامت ۱/۵ میلی متر به دست آمد (ASAE, 2016). نتایج در جدول ۱ آمده است.

سیب زمینی و روش های انجام آزمایش ها و ارزیابی دستگاه بیان خواهد شد.

خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه سیب زمینی

برای انجام این تحقیق از سیب زمینی رقم آریندا با قطر معادل ۴/۵۶ سانتی متر که در بازار محلی استان خوزستان وجود دارد، استفاده گردید. تمام نمونه های سیب زمینی، رسیده (آماده برای خوردن)، بدون نقص و در اندازه های مختلف بودند. آن ها برای آزمایش به مدت حداقل ۲۴ و حداکثر ۴۸ ساعت قبل از آزمایش آماده شدند (ASAE, 2016). سه بعد اصلی سیب زمینی ($W =$ قطر متوسط، عرض، $L =$ قطر بزرگ، طول $T =$ ضخامت) به کمک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازه گیری شد. با استفاده از این سه بعد، میانگین هندسی قطر (D_g) و ضریب کرویت (ϕ) توسط روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند (Sahin & Sumnu, 2006).

$$D_g = (LBT)^{1/3} \quad (\text{رابطه ۱})$$

جدول ۱. خواص فیزیکی اندازه گیری شده نمونه های سیب زمینی

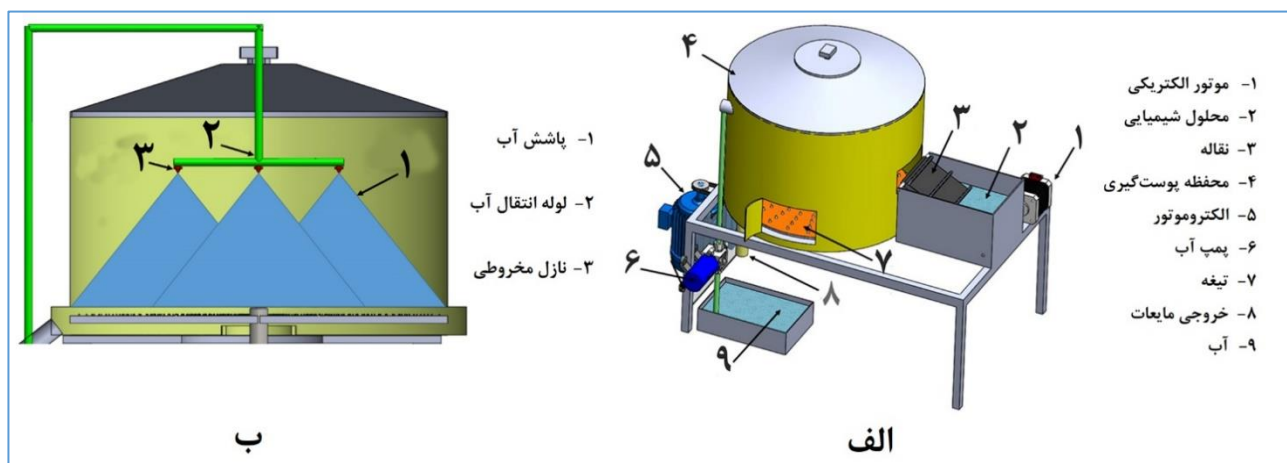
Table 1. Measured physical properties of potato samples

ردیف	پارامتر	نماد	مقدار	ضریب تغییرات (درصد)	واحد
۱	میانگین طول نمونه	L	۶/۵	۲۱/۲	سانتی متر
۲	میانگین عرض نمونه	B	۴/۰	۱۵/۳	سانتی متر
۳	میانگین ضخامت نمونه	T	۳/۶	۱۷/۹	سانتی متر
۴	قطر معادل نمونه	D_{eq}	۴/۶	۱۷/۵	سانتی متر
۵	ضریب کرویت نمونه (درصد)	ϕ	۷۰/۰	۱۱/۱	-
۶	نیروی گسیختگی	F_r	۲۱۷/۷	۱۵/۵	نیوتن
۷	تغییر شکل در نقطه ی گسیختگی	D_r	۲/۱	۲/۵	میلی متر
۸	چقرمگی	T_j	۲۳۰/۷	۳/۷	نیوتن در میلی متر
۹	مقاومت برشی	S	۰/۵	۱۰/۲	نیوتن بر میلی متر مربع
۱۰	نیروی برشی	Fc	۶/۳	۱۰/۸	نیوتن

دستگاه پوست گیری سیب زمینی

به منظور بررسی تأثیر نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول هیدروکسید سدیم روی درصد پوست گرفته شده و همچنین تلفات پوست گیری در مدت زمان قرارگیری نمونه ها در محفظه پوست گیری، دستگاه پوست گیری سیب زمینی با قابلیت تغییر پارامترهای مورد نظر طراحی و

ساخته شد. طرحواره دستگاه مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. دستگاه پوست گیر مدنظر شامل بخش مکانیکی (تیغه ها و سیستم انتقال قدرت)، بخش شیمیایی (شامل حمام محلول شیمیایی و سیستم تنظیم دمای محلول) و بخش هیدرولیکی (شامل سیستم پاشش آب) جهت شست و شو و سهولت در امر پوست گیری می باشد.



شکل ۱- طرحواره دستگاه پوست‌گیر سیب‌زمینی (الف) و سیستم پاشش آب و شست‌وشو (ب)
Fig 1-Schematic of potato peeling machine(a) and water spray and washing system(b)

سیب‌زمینی‌ها، از نازل‌های مخروطی توپ‌ر مدل Vs-5002 استفاده شد که دارای الگوی پاشش مخروطی و کم بودن میزان بادبردگی هستند. مطابق شکل با توجه به ابعاد محفظه‌ی پوست‌گیری و تیغه‌ها جهت پاشش مقدار کافی آب بر نمونه‌ها و تمام سطح تیغه، از سه عدد نازل با زاویه‌ی پاشش ۸۰ درجه استفاده شد.

تیغه‌ها

تیغه‌ها باید طوری در نظر گرفته شوند که تا حد امکان تلفات پوست‌گیری کاهش‌یافته، پوست جدا شده و گوشت دست‌نخورده باقی بماند. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته سه نوع تیغه قابل تعویض، چاقویی از جنس فولاد ضدزنگ، سایشی از صفحه‌های مجهز به ماده‌ی کربوران‌دوم و برسی با میزان تراکم ۶۰ تار بر سانتی‌متر مربع و ارتفاع تارهای ۳ سانتی‌متر ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل ۲).

بخش شیمیایی

بخش شیمیایی شامل مخزن، حمام روباز محلول هیدروکسید سدیم و سیستم کنترل دما می‌باشد. سیب‌زمینی‌ها پس از شسته و تمیز شدن به مدت ۴ دقیقه در محلول هیدروکسید سدیم با غلظت‌های

استوانه‌ی پوست‌گیری

با توجه به بیشترین مقدار نمونه‌ی مورد نیاز برای آزمایش‌ها، یک مخزن با ظرفیت ۴ کیلوگرم سیب‌زمینی طراحی و ساخته شد.

محیط پوست‌گیری استوانه‌ای

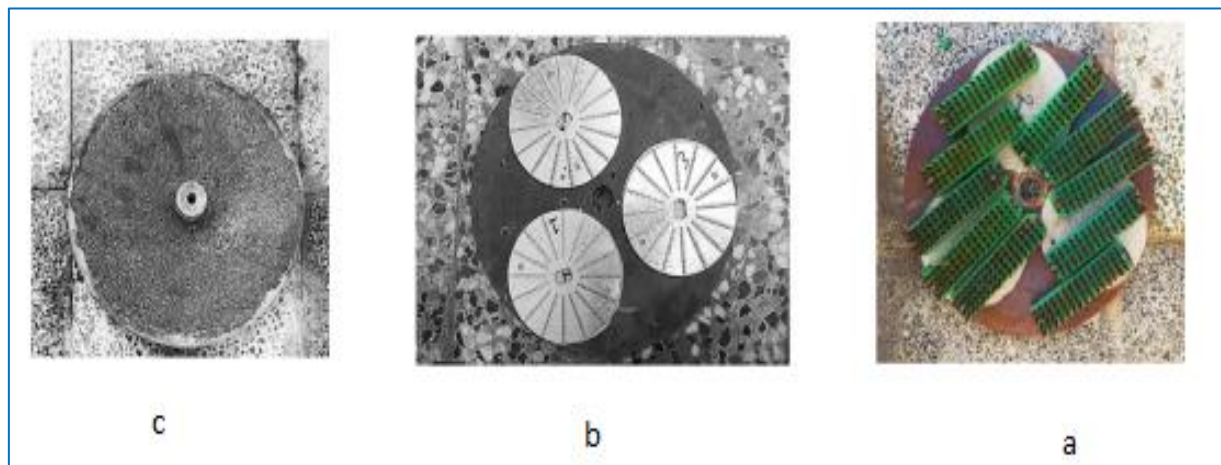
جهت پوست‌گیری بهتر، از یک ورق آلومینیومی با ضخامت ۲ میلی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر، دارای برجستگی بر روی سطح آن استفاده شد. مطابق شکل ۱ ورق در محیط داخلی استوانه نصب شد. جهت ورود لوله آب بر روی پوسته سوراخی به قطر ۲ سانتی‌متر تعبیه گردید. آب و ضایعات نیز توسط نوسانات ایجاد شده در هنگام کار دستگاه از محل خروجی ضایعات تعبیه شده در کف استوانه خارج می‌شود.

بخش شست‌وشو

واحد شست‌وشو شامل یک پمپ آب و سه عدد نازل جهت پاشش آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس خواهد بود (Chand et al., 2013). محل قرارگیری نازل‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که تمام سطح تیغه را پوشش دهد (شکل ۱). با توجه به مدور بودن سطح تیغه‌ها و به علت به‌وجود آمدن جریان هوا در اثر چرخش تیغه و

پوست گیری شده و همزمان با پوست گیری توسط سیستم شست و شو، شسته می شود.

مختلف با دمای ۹۰ درجه سلسیوس فرو برده می شوند (Oladejo *et al.*, 2014). سپس نمونه ها وارد محفظه



شکل ۲- تیغه های پوست گیر سیب زمینی (a: برسی، b: چاقویی و c: سایشی)
Fig 2- Potato peeler blades (a: brush, b: knife and c: carborundum)

مقدار پوست موجود بر نمونه^۱

برای تعیین درصد مقدار پوست موجود بر روی سیب زمینی ها، ابتدا ۵ عدد نمونه، هر کدام به وزن ۲۰۰ گرم انتخاب شدند. سپس نمونه ها در آب جوش به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شدند تا پوست آنها شل شده و با دست جدا گردد. سپس سیب زمینی و پوست آن در آون مدل memert854 ساخت کشور آلمان با دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک گردید. درصد وزن خشک پوست موجود بر سیب زمینی (M_{pc}) نسبت به ماده خشک سیب زمینی از رابطه ی (۳) محاسبه شد (Singh & Shukla, 1995).

$$M_{pc} = \frac{\text{وزن پوست خشک شده}}{\text{وزن نمونه سیب زمینی خشک شده}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

درصد پوست گرفته شده

مقدار پوست گرفته شده توسط دستگاه (R_p) بر حسب درصد نیز از رابطه ی (۴) محاسبه گردید (Oladejo *et al.*, 2014)

$$R_p = \frac{\text{وزن پوست خشک مانده بر تیمار پوست گیری شده (گرم)} - \text{وزن خالص خشک پوست تیمار (گرم)}}{\text{وزن خالص خشک پوست تیمار (گرم)}} \times 100$$

محاسبه توان مورد نیاز موتور

برای محاسبه توان مورد نیاز دستگاه ابتدا باید حداکثر نیروهای وارد به تیغه ها محاسبه شود. با در نظر گرفتن حداکثر ظرفیت پیش بینی شده دستگاه (۴ کیلوگرم) و ابعاد محفظه پوست گیری و با در نظر گرفتن شکل قرارگیری سیب زمینی ها، مجموع گشتاورهای وارده به تیغه توسط سیب زمینی ها، محاسبه گردید و در نهایت، با توجه به محاسبات توان انجام شده و الکتروموتورهای موجود در بازار، موتور ۱۵۰۰ وات با دور ۶۲۰ دور در دقیقه انتخاب شد.

ارزیابی و آزمایش ها

ارزیابی ماشین پس از تعیین ظرفیت پوست گیری ماشین به وسیله ی ۲ شاخص مقدار پوست گرفته شده و تلفات پوست گیری انجام شد (Singh & Shukla, 1995).

(رابطه ۴)

تلفات پوست‌گیری

تلفات پوست‌گیری (ε) بر حسب درصد از رابطه‌ی (۵) به دست آمد (Oladejo et al., 2014).

$$\varepsilon = \frac{\text{وزن سیب‌زمینی پوست گرفته شده} - \text{وزن اولیه سیب‌زمینی}}{\text{وزن اولیه سیب‌زمینی}} \times 100$$

طرح آماری

در این تحقیق عوامل نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول هیدروکسید سدیم به‌عنوان پارامترهای متغیر بر میزان عملکرد دستگاه پوست‌گیر سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر تیغه در سه نوع (چاقویی، سایشی و بُرسی)، میزان تغذیه چهار سطح (۱، ۲، ۳ و ۴ کیلوگرم) و غلظت محلول هیدروکسید سدیم در چهار سطح (۰، ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی) روی درصد پوست گرفته شده و همچنین تلفات پوست‌گیری در مدت‌زمان ۳۰ ثانیه قرارگیری نمونه‌ها در محفظه پوست‌گیری (Kaleoglu et al., 2004)، به‌صورت آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با

سه تکرار انجام گرفت. داده‌ها به کمک نرم‌افزار آماری SPSS (Version 20, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. اختلاف بین میانگین نتایج با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p < 0.05$) بررسی گردید. ترسیم نمودارها توسط نرم‌افزار EXCEL (Version 2019) انجام شد.

نتایج آزمایش‌ها بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییرات نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم در هر یک از سه نوع تیغه‌ی چاقویی، کربورانوم و بُرسی بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری در جدول ۲ آورده شده است. مطابق جدول مذکور تأثیر نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم و اثر متقابل آن‌ها بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول هیدروکسید سدیم بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری
Table 2- Analysis of variance of blade type, feed rate and concentration of sodium hydroxide chemical solution on the amount removed peels percentage and peeling losses

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه		درجه آزادی	منابع تغییرات
درصد پوست گرفته شده	تلفات پوست‌گیری		
۹۴۱/۳**	۶۰/۹**	۲	نوع تیغه
۶۶۰/۴**	۹/۹**	۳	میزان تغذیه
۱۶۹۸۸/۳**	۷۴/۱**	۳	غلظت محلول هیدروکسید سدیم
۱۷۹/۸**	۴/۵**	۶	نوع تیغه × میزان تغذیه
۱۱۶/۴**	۲/۷**	۶	نوع تیغه × غلظت محلول
۲۲/۵**	۰/۶**	۹	میزان تغذیه × غلظت محلول
۲۸/۴**	۰/۳**	۱۸	نوع تیغه × میزان تغذیه × غلظت محلول
۳/۱	۰/۰۰۳	۹۶	خطای آزمایش
۱۶/۵	۱۶/۵		ضریب تغییرات (درصد)

** بیانگر معنی‌دار بودن میانگین‌ها در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.

را دارد و تیغه‌ی چاقویی با ۷ درصد کاهش در درصد پوست گرفته شده، در رده‌ی دوم از لحاظ عملکرد پوست‌گیری قرار گرفته است. همچنین کمترین میزان

تأثیر نوع تیغه بر درصد پوست گرفته شده بر اساس شکل ۳، مشاهده می‌شود در بین هر سه نوع تیغه از نظر پوست‌گیری، تیغه‌ی بُرسی بهترین عملکرد

که روی طراحی و ساخت دستگاه پوست گیر میوه‌ی کاساوا^۱ انجام شد محققین دریافتند با بیشتر شدن میزان تغذیه از مقدار ۳ کیلوگرم، بازده دستگاه شروع به کاهش می‌کند که با نتایج تحقیق حاضر منطبق است (Oluwole & Adio, 2013).



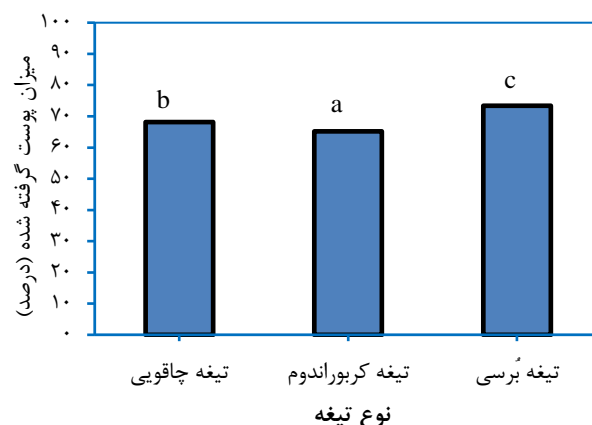
شکل ۴- تأثیر میزان تغذیه بر درصد پوست گرفته شده، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 4- The effect of feed rate on the amount removed peels percentage. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

تأثیر غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد پوست گرفته شده

بر اساس شکل ۵ با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم، درصد پوست گرفته شده به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. زیرا با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم، لایه‌ی مومی اپیکوتیکولار^۲ با سرعت بیشتری در اپیدرم حل شده و موجب ضعیف شدن شبکه‌های قوی سلولزی می‌شود. در نتیجه پوست بیشتری از سطح نمونه‌ها جدا شده و درصد پوست گرفته شده افزایش پیدا کرده است. در تحقیقی که روی ارزیابی و بهینه‌سازی پوست‌گیری شیمیایی و بخار روی سیب زمینی انجام گرفت محققین دریافتند که افزایش غلظت محلول شیمیایی در دمای بالا باعث افزایش میزان پوست گرفته شده می‌شود که با نتایج تحقیق

عملکرد در تیغه‌ی کربوراندوم به میزان ۶۵/۲ درصد مشاهده گردید. دلیل این امر آن است که تارهای تیغه‌ی برسی به علت انعطاف‌پذیری بیشتر توانایی نفوذ به سطوح محدب و مقعر را دارا می‌باشد و این دسترسی به سطوح ناموزون باعث بالارفتن عملکرد این نوع تیغه می‌شود. در تحقیقی از تیغه‌ی برسی در دستگاه پوست‌گیر گردو استفاده شد و محققین عملکرد قابل قبولی برای این نوع تیغه گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (Chegini & Makarichian, 2014).



شکل ۳- تأثیر نوع تیغه بر درصد پوست گرفته شده، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 3- The effect of bald type on the amount removed peels percentage. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

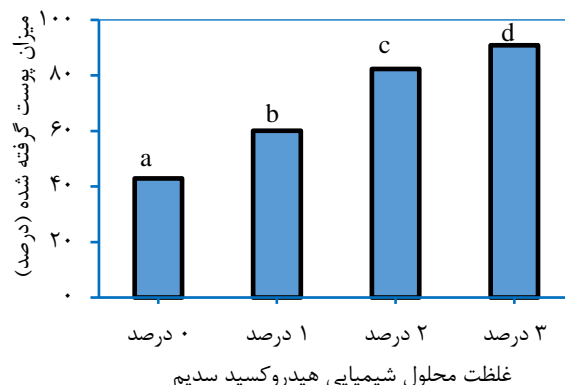
تأثیر میزان تغذیه بر درصد پوست گرفته شده
میزان تغذیه نقش بسزایی در عملکرد تیغه‌ها دارد. مطابق شکل ۴ با افزایش میزان تغذیه به ۴ کیلوگرم، میزان عملکرد کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود در میزان تغذیه‌ی ۲ کیلوگرم عملکرد دستگاه افزایش یافته است. با افزایش مقدار نمونه‌ها در محفظه‌ی پوست‌گیری با حجم محدود، برخی از نمونه‌ها شانس کمتری در برخورد با سطح تیغه دارند که این امر موجب کاهش درصد پوست گرفته شده می‌گردد. در تحقیقی

حاضر مطابقت داشت (Oladejo et al., 2014).

در میزان تغذیه‌ی بالاتر، آن دسته از نمونه‌هایی که شانس برخورد کمتری با تیغه داشته‌اند، در برخورد با یکدیگر و دیواره نیز مقداری از پوست آن‌ها جدا می‌شود. در نتیجه در همه‌ی سطوح میزان تغذیه، تقریباً درصد پوست‌گیری مشابه است. بیشترین درصد پوست گرفته شده در میزان تغذیه ۳ کیلوگرم و در غلظت محلول شیمیایی ۳ درصد، میزان ۹۲/۹ درصد و کمترین درصد پوست گرفته شده در میزان تغذیه ۴ کیلوگرم و برای غلظت محلول شیمیایی صفر درصد، مقدار ۳۳/۳ درصد است.

مطابق شکل ۶ در تیغه‌ی کربورانومی به‌طور کلی با افزایش غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم، درصد پوست گرفته شده افزایش یافته است. همچنین در هر غلظت محلول شیمیایی، با افزایش میزان تغذیه درصد پوست گرفته شده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. بیشترین درصد پوست گرفته شده در غلظت محلول شیمیایی ۳ درصد و میزان تغذیه ۲ کیلوگرم، یعنی مقدار ۹۲/۲ درصد و کمترین آن در غلظت محلول شیمیایی صفر درصد و میزان تغذیه ۴ کیلوگرم به مقدار ۲۷/۹ درصد می‌باشد.

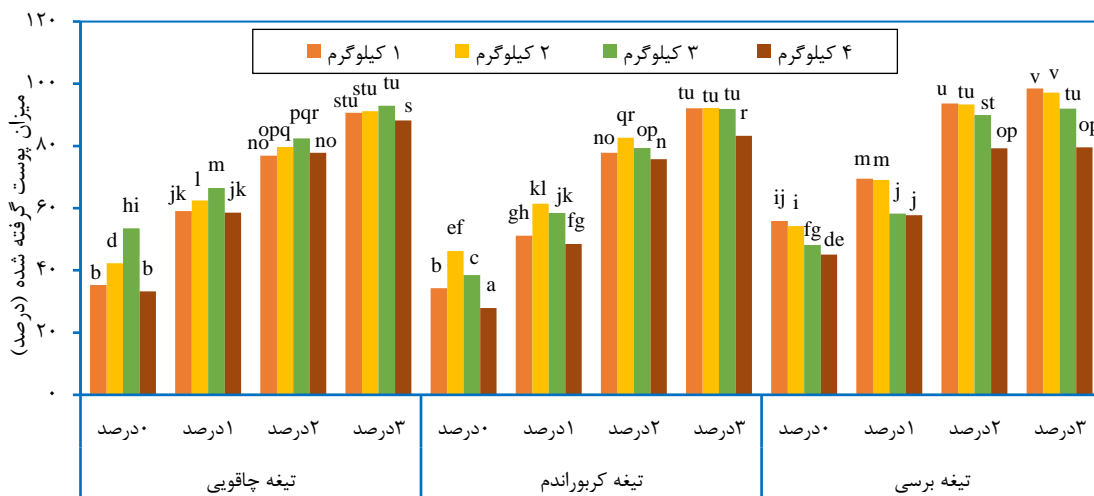
در تیغه‌ی برسی در هر غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم، با افزایش میزان تغذیه درصد پوست گرفته شده روند نزولی خود را حفظ می‌کند. دلیل این پدیده نیز همان‌طور که ذکر شد حساسیت تارهای تیغه‌ی برسی به وزن زیاد نمونه‌ها می‌باشد که موجب تغییر شکل و خم شدن آن‌ها شده، در نتیجه از توانایی پوست‌گیری آن‌ها می‌کاهد. همچنین در هر میزان تغذیه‌ای، با بالا رفتن غلظت محلول پوست گرفته شده افزایش یافته است. بیشترین مقدار درصد پوست گرفته شده در غلظت ۳ درصد و میزان تغذیه‌ی ۱ کیلوگرم، یعنی مقدار ۹۸/۵ درصد و کمترین مقدار آن نیز در غلظت صفر درصد و میزان تغذیه‌ی ۴ کیلوگرم، یعنی مقدار ۴۵/۱ درصد می‌باشد.



شکل ۵- تأثیر غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد پوست گرفته شده، میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

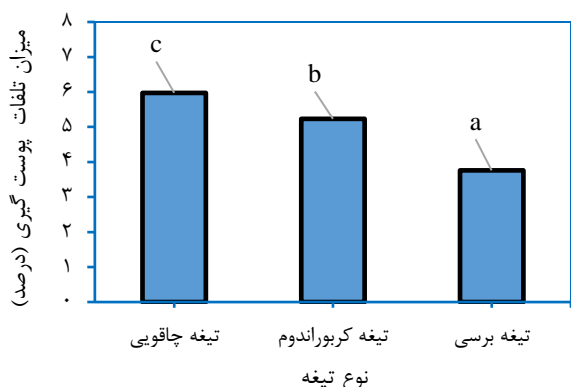
Fig 5- The effect of concentration of sodium hydroxide chemical solution on the amount removed peels percentage. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

تأثیر متقابل نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول هیدروکسید سدیم بر درصد پوست گرفته شده اثر متقابل سه‌گانه نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی بر درصد پوست گرفته شده در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این نمودار مشاهده می‌گردد برای تیغه‌ی چاقویی در هر غلظت محلول شیمیایی، درصد پوست گرفته شده ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. در این تیغه همچنین در هر غلظت محلول شیمیایی بیشترین درصد پوست‌گیری در میزان تغذیه سه کیلوگرم اتفاق افتاده است. زیرا با افزایش وزن روی تیغه نیروی عمودی لازم برای پوست‌گیری تأمین می‌شود. سپس با افزایش بیشتر مقدار نمونه‌ها در فضای محدود استوانه پوست‌گیری، برخی از نمونه‌ها فرصت کمتری برای برخورد با سطح تیغه پیدا می‌کنند. بروز این واقعه باعث کاهش عملکرد دستگاه شده است. همچنین مشاهده می‌شود برای غلظت‌های بالاتر محلول شیمیایی، اختلاف معنی‌داری بین سطوح میزان تغذیه وجود ندارد. دلیل آن این است که با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم پوست نمونه‌ها شل‌تر شده و



شکل ۶- تأثیر متقابل سه گانه نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد پوست گرفته شده میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 6- The triple interaction of blade type, feed rate and concentration of sodium hydroxide chemical solution on the amount removed peels percentage. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.



شکل ۷- تأثیر نوع تیغه بر تلفات پوست‌گیری. میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

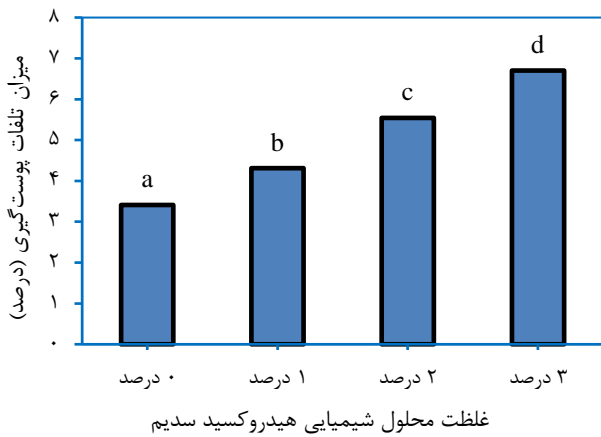
Fig 7- The effect of blade type on the amount of peeling wastes. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

تأثیر میزان تغذیه بر تلفات پوست‌گیری

بر اساس شکل ۸ با افزایش میزان تغذیه، تلفات پوست‌گیری به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است. زیرا با افزایش تعداد نمونه‌ها و وجود فضای محدود در محفظه‌ی پوست‌گیری، برخی از نمونه‌ها بیش از حد نیاز در مجاورت تیغه قرار گرفته، در نتیجه علاوه بر پوست، بخش قابل‌توجهی از گوشت نیز جدا می‌شود که باعث افزایش قابل‌توجه تلفات شده است. در تحقیقی که یک

تأثیر نوع تیغه بر تلفات پوست‌گیری

مطابق شکل ۷، بیشترین میزان تلفات در پوست‌گیری متعلق به تیغه‌ی چاقویی با درصد تلفات ۶ درصد می‌باشد. بعد از تیغه‌ی چاقویی تیغه‌ی کربوراندم با میزان تلفات ۵/۲ درصد در رده‌ی دوم قرار دارد. در نهایت تلفات تیغه‌ی برسی با کاهش ۳۷ درصدی نسبت به تیغه‌ی چاقویی و ۲۸/۱ درصدی نسبت به تیغه‌ی کربوراندم بهترین نوع تیغه از نظر پایین بودن تلفات (۳/۸ درصد) شناخته شد. دلیل این امر آن است که عمل پوست‌گیری در تیغه‌ی برسی بر اساس اصل سایش انجام می‌گیرد. در حالی که در تیغه‌ی چاقویی عمل برش باعث جدا شدن پوست از گوشت می‌شود. به همین دلیل افزایش وزن نمونه‌های روی تیغه باعث ایجاد برش‌های عمیق از سطح سیب‌زمینی‌ها شده که این امر موجب جدا شدن بخشی از گوشت از پوست می‌شود و تلفات را افزایش می‌دهد. در تحقیقی که روی دستگاه پوست‌گیر میوه‌ی یام با تیغه‌های مشابه تیغه‌ی چاقویی انجام شد محققین تلفات نسبی بالایی را گزارش کردند که با نتایج تحقیق حاضر منطبق است (Ukatu, 2005).

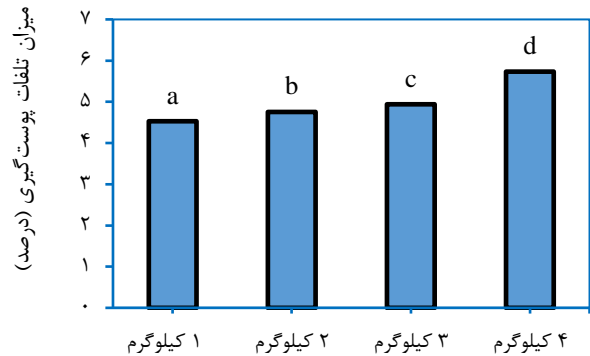


شکل ۹- تأثیر غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر تلفات پوست گیری، میانگین های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 9- The effect of concentration of sodium hydroxide chemical solution on the amount of peeling wastes. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

تأثیر متقابل سه گانه نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد تلفات پوست گیری شکل ۱۰ تأثیر متقابل سه گانه نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد تلفات پوست گیری را نشان می دهد. بر اساس این شکل مشاهده می شود در تیغه ی نوع چاقویی برای میزان تغذیه های ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم، با افزایش غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم تلفات تقریباً به طور یکنواخت افزایش می یابد. در حالی که پس از افزایش غلظت از مقدار ۲ درصد، در میزان تغذیه ۴ کیلوگرم، تلفات به صورت چشمگیری افزایش پیدا کرد. علت این امر آن است که در غلظت های بیشتر، هم پوست و هم بافت نمونه شل شده، در نتیجه برای میزان تغذیه بالاتر و به علت تراکم نمونه ها و برخورد بیشتر آن ها با یکدیگر و دیواره علاوه بر پوست سطحی آن ها مقدار بیشتری از گوشت از نمونه ها جدا شده و تلفات به شدت افزایش داشته است. بیشترین مقدار تلفات در میزان تغذیه ۴ کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی ۳ درصد مقدار ۱۰/۴ درصد و کمترین درصد تلفات در میزان تغذیه ۱ کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی صفر درصد مقدار

دستگاه پوست گیر استوانه ای برای پیاز با اندازه های مختلف (کوچک، متوسط، مخلوط و بزرگ) انجام شد محققین دریافتند با افزایش میزان تغذیه بازدهی دستگاه کاهش می یابد که با نتایج تحقیق حاضر منطبق است (El-Ghobashy *et al.*, 2012).



میزان تغذیه

شکل ۸- تأثیر میزان تغذیه بر تلفات پوست گیری، میانگین های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 8- The effect of feed rate on the amount of peeling wastes. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

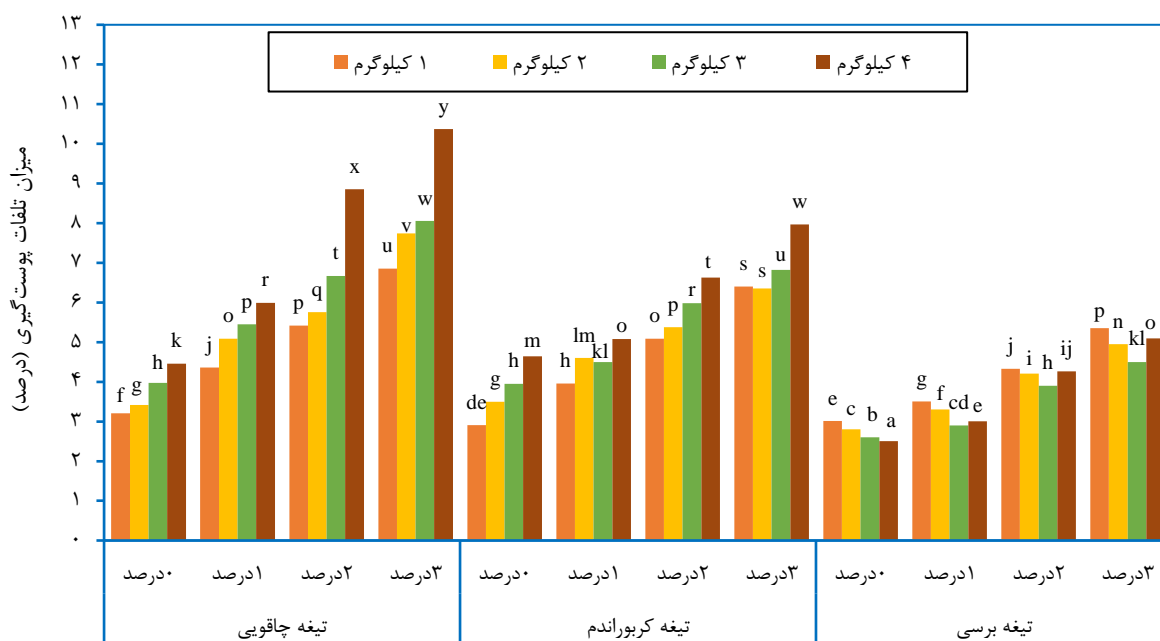
تأثیر غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر تلفات پوست گیری مطابق شکل ۹ درصد تلفات با افزایش غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بیشتر می شود. افزایش غلظت محلول داغ هیدروکسید سدیم باعث شکستن پیوندهای آلفا ۱-۴ در واحدهای گالاکترونیکی پکتین شده و موجب ضعیف شدن شبکه های قوی سلولزی می شود. نتیجه ی این فرایندها جدا شدن لایه ی پوست رویی از پریکارپ است (Oladejo *et al.*, 2014). علاوه بر آن همانند روش بخار، افزایش دما و تبخیر آب زیر سطح پوست میوه به جدا شدن پوست کمک می کند. در نتیجه این پیش تیمار، نمونه ها به سایش و برش حساس تر شده و علاوه بر پوست، مقداری از بافت گوشتی نمونه ها نیز طی فرایند پوست گیری جدا می شود. در نتیجه تلفات افزایش پیدا می کند.

۳/۲ درصد بوده است.

همچنین در تیغه‌ی کربوراندم، با افزایش غلظت محلول شیمیایی در هر میزان تغذیه‌ای، درصد تلفات پوست‌گیری به مرور افزایش پیدا می‌کند. همچنین در اکثر مواقع در هر غلظت محلول شیمیایی، با افزایش میزان تغذیه تلفات افزایش یافته، اما در غلظت محلول شیمیایی ۱ درصد و ۳ درصد و برای میزان تغذیه‌های ۲ و ۳ کیلوگرم این اتفاق نیفتاده است. دلیل آن را می‌توان به علت عدم همگونی سطح تیغه که دارای برآمدگی و فرورفتگی ناشی از عدم پخش یکنواخت دانه‌های کربوراندم بر سطح آن دانست. نتایج آزمایش نشان می‌دهد بیشترین مقدار تلفات پوست‌گیری در غلظت

محلول شیمیایی ۳ درصد و میزان تغذیه ۴ کیلوگرم مقدار ۸ درصد و کمترین مقدار تلفات در غلظت محلول شیمیایی صفر درصد و میزان تغذیه‌ی ۱ کیلوگرم مقدار ۲/۹ درصد می‌باشد.

همچنین مشاهده می‌گردد در تیغه‌ی برسی و برای همه‌ی غلظت‌ها به غیر از غلظت محلول صفر درصد، روند کاهشی و سپس افزایشی در درصد تلفات برقرار است. زیرا در غلظت‌های بالاتر محلول شیمیایی به علت نرمی پوست و بافت نمونه‌ها، تارهای خم شده و تغییر شکل یافته نیز باعث جدا شدن بخش قابل توجهی از گوشت نمونه می‌شود و در نتیجه در این میزان تغذیه، تلفات مقداری افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰- اثر متقابل سه گانه نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم بر درصد تلفات پوست‌گیری میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است.

Fig 10- The triple interaction of blade type, feed rate and concentration of sodium hydroxide chemical solution on the amount of peeling wastes. Means with different letters are significantly different at 1% probability level based on Duncan's multiple range test.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تأثیر نوع تیغه، میزان تغذیه و غلظت محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم و اثر متقابل آن‌ها بر درصد پوست گرفته شده و تلفات پوست‌گیری در سطح ۱٪ معنی‌دار هستند. تیغه‌ی

برسی با میزان پوست‌گیری ۷۳/۴ درصد بالاترین عملکرد را در بین سه نوع تیغه دارا بود. تیغه‌ی چاقویی با ۶۸/۲ درصد و تیغه‌ی کربوراندم با ۶۵/۲ درصد به ترتیب در رده‌های دوم و سوم قرار می‌گیرند. در هر سه نوع تیغه و در هر میزان تغذیه‌ای، با افزایش غلظت

کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی صفر درصد، یعنی مقدار ۲/۵ درصد اتفاق افتاد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل مساعدت-های مالی در اجرای این تحقیق که بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک بیوسیستم می باشد، کمال تشکر و قدردانی را دارم. هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

محلول شیمیایی هیدروکسید سدیم درصد پوست گرفته شده افزایش می یابد. همچنین مشخص گردید تیغی بررسی با ۳/۸ درصد کمترین و تیغی چاقویی با ۶ درصد بیشترین درصد تلفات را داراست. تیغی کربوراندوم با درصد تلفات ۵/۲ درصد در رده میانه قرار دارد. در تیغی بررسی با افزایش میزان تغذیه، درصد تلفات ابتدا کاهش و سپس در میزان تغذیه ۴ کیلوگرم افزایش پیدا می کند. بیشترین درصد تلفات در میزان تغذیه ۱ کیلوگرم و غلظت محلول شیمیایی ۳ درصد، یعنی مقدار ۵/۴ درصد و کمترین درصد تلفات در میزان تغذیه ۴

REFERENCES

- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A. & Israilides, C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, 30(10), 1898-1902.
- ASAE Standard. (2016). ASAE S368.4. Compression test of food materials of convex shape. *American Society of Agricultural Engineering*. 2950 Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659.
- Oladejo, A., Sobukola, O., Awonorin, S. & Adejuyigbe, S. (2014). Evaluation and Optimization of Steam and Lye Peeling Processes of Sweet Potato (*Ipomea batatas*) using Response Surface Methodology (RSM). *International Journal of Food Engineering*, 10(2), 329-338.
- Camire, M. E., Violette, D., Dougherty, M. P. & McLaughlin, M. A. (1997). Potato peel dietary fiber composition: effects of peeling and extrusion cooking processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1404-1408.
- Chand, K., Pandey, R. K., Shahi, N. C. & Lohani, U. C. (2013). Pedal-operated integrated potato peeler and slicer. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 44(1), 65-68.
- Chegini G.R., & Makarichian A.R. (2014). Design and Construction A Walnut Peeler. *Journal of Nuts*, 5(1), 1-13. (In Persian)
- Das, D. J., & Barringer, S. A. (2006). Potassium hydroxide replacement for lye (sodium hydroxide) in tomato peeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(1), 15-19.
- El-Ghobashy, H., Bahnasawy, A. H., Ali, S. A., Afify, M. T. & Emara, Z. (2012). Development and evaluation of an onion peeling machine. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 29(2), 663-682.
- FAO. 2020. www.fao.org/faostat/en/#data/QCL
- Gao, R., Ye, F., Lu, Z., Wang, J., Shen, X., & Zhao, G. (2018). A novel two-step ultrasound post-assisted lye peeling regime for tomatoes: Reducing pollution while improving product yield and quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 45, 267-278.
- Gavahian, M., & Sastry, S. K. (2020). Ohmic-assisted peeling of fruits: Understanding the mechanisms involved, effective parameters, and prospective applications in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 106, 345-354.
- Kaleoglu, M., Bayindirli, L. & Bayindirli, A. (2004). Lye peeling of 'Tombul' hazelnuts and effect of peeling on quality. *Food and Bioproducts Processing*, 82(3), 201-206.
- Kate, A. E., & Sutar, P. P. (2018). Development and optimization of novel infrared dry peeling method for ginger (*Zingiber officinale roscoe*) rhizome. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48, 111-121.

- Kaur, C., Walia, S., Nagal, S., Walia, S., Singh, J., Singh, B. B. & Jaggi, S. (2013). Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 139-145.
- Kermani, A., Kouravand, S. & Eskandari, J. (2018). Technical feasibility of using infrared radiation in dry-peeling for hazelnuts. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 49 (2), 261-268. (In Persian)
- Kohli, D., Champawat, P. S., Mudgal, V. D., Jain, S. K., & Tiwari, B. K. (2021). Advances in peeling techniques for fresh produce. *Journal of Food Process Engineering*, 44(10), e13826.
- Li, X., Pan, Z., Atungulu, G. G., Wood, D. & McHugh, T. (2014). Peeling mechanism of tomato under infrared heating: Peel loosening and cracking. *Journal of Food Engineering*, 128, 79–87.
- Li, X., Zhang, A., Atungulu, G. G., Delwiche, M., Milczarek, R., & Wood, D. (2014). Effects of infrared radiation heating on peeling performance and quality attributes of clingstone peaches. *LWT - Food Science and Technology*, 55, 34–42.
- Oluwole, O. O. & Adio, M. A. (2013). Design and construction of a batch cassava peeling machine. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 3(1), 16-21.
- Pan, Z., Li, X., Venkitasamy, C., & Shen, Y. (2015). Food peeling: conventional and new approaches. *Reference Module in Food Science*, 1-9.
- Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). *Physical Properties of Foods*. Springer Science & Business Media.
- Sepehrdoust, H. & Emami, S., (2017) .Comparative Advantage of Potato Production and Related Government Policies in Hamedan. *Journal of Agricultural Economic Research*, 9(33), 51–71. (In Farsi)
- Shen, Y., Khir, R., Wood, D., McHugh, T. H., & Pan, Z. L. (2020). Pear peeling using infrared radiation heating technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, Article 102474.
- Singh, K. K. & Shukla, B. D. (1995). Abrasive peeling of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 26(4), 431-442.
- Trivedi, P., Nguyen, N., Hykkerud, A. L., Häggman, H., Martinussen, I., Jaakola, L., & Karppinen, K. (2019). Developmental and environmental regulation of cuticular wax biosynthesis in fleshy fruits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 431.
- Ukatu, A. C. (2005). Development of an industrial yam peeler. *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 36(2), 21.
- Wang, D., Zhang, H., Wu, F., Li, T., Liang, Y., & Duan, X. (2013). Modification of pectin and hemicellulose polysaccharides in relation to aril breakdown of harvested longan fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(12), 23356-23368.
- Wang, W., Wang, L., Feng, Y., Pu, Y., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Ultrasound-assisted lye peeling of peach and comparison with conventional methods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 204–213.
- Wongsa-Ngasri, P. & Sastry, S. K. (2015). Effect of ohmic heating on tomato peeling. *LWT-Food Science and Technology*, 61(2), 269-274.