نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۵ شماره ۱/ سال ۱۳۹۹/ صفحه‌های ۵۳-۴۳

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.44221.1142

ارزیابی ماشین سورتینگ محصولات باغی از دیدگاه کارایی سامانه و صدمات مکانیکی وارد بر میوه

حبیبه نعلبندی[۱]، سید صادق سیدلو هریس[۱*]، سجاد برنکی[۱]، وحید فرزند احمدی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۲۳

گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبه: E-mail: ss_seiedlo@yahoo.com

چکیده

ایران یکی از قطب‌های مهم تولید میوه در جهان است و از آنجا که یکی از عوامل مهم در بازاریابی، افزایش بازارپسندی و توسعه صادرات، عملیات اندازه‌بندی، درجه‌بندی و بسته‌بندی محصولات می‌باشد، در تحقیق حاضر عملکرد ماشین سورتینگ ساخته شده در درجه‌بندی محصولات شبه‌کروی و نیز میزان صدمات وارده در حین عملیات مورد بررسی قرار گرفت. ماشین مذکور از نوع تسمه غلتک بود. فاکتورهای مختلفی از عملکرد ماشین شامل سرعت پیشروی تسمه نقاله انتقال و نرخ تغذیه و نیز نوع محصول شامل پرتقال و سیب در دو رقم گلدن‌دلیشیز و رد دلیشیز مورد بررسی قرار گرفت و متغیرهای وابسته از قبیل میزان و نرخ صدمات روی محصول، شاخص درجه خلوص و بازده سورتینگ اندازه‌گیری و محاسبه شد. نتایج بیانگر آن بود که درجه خلوص سورتینگ برای سیب و پرتقال به‌ترتیب ۹۵/۸۰ و۹۵/۸۳ درصد است. در این وضعیت ظرفیت بهینه ماشین حدود ۱ تن در ساعت برآورد شد. مقدار صدمات کوفتگی در هر دو محصول و در تنظیمات انجام شده از قبیل سرعت غلتک‌ها، دبی تغذیه و سرعت تسمه نقاله انتقال، تقریبا در حد صفر برآورد شد که بیانگر خصوصیات عملکردی بهینه و نیز خصوصیات طراحی بهینه و اصولی ماشین است. این ماشین برای کاربرد در باغات و نیز سردخانه‌های متوسط بسیار مناسب است.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌بندی، پرتقال، سیب، سورتینگ، صدمات

Evaluation of Sorting Machine of Horticultural Products from the View Point of Machine Performance and Mechanical Damage of Fruit

Habibeh Nalbandi[1], Sadegh Seiiedlou[1*], Sajjad Beranki[1], Vahid Farzand Ahmadi[1]

Received: 25 Jan 2021 Accepted: 13 Mar 2021

Department of Biosystems Engineering, Agricultural faculty, University of Tabriz
*Corresponding author: E-mail: ss_seiedlo@yahoo.com

Abstract

Iran is one of the main producers of fruits in the world. Grading, sizing and sorting of fruit is an important factor in the Iranian marketing and exportation. In this research, the performance of a mechanical sorter machine of semi spherical fruit and fruit damage during process were evaluated. This machine was operates based on the belt-roller mechanism. The effect of some operational characteristics of the machine such as feeding conveyor speed, transportation conveyor speed and fruit kind (two varieties of apple; Red and Golden delicious; and orange) was evaluated on the machine performance factors such as purity index, efficiency of process and fruit damage. The results showed that the purity index was 95.80% and 95.83% for apple and orange sorting, respectively and the optimum capacity of machine was 1 ton per hour at this condition. The fruit damage was negligible at the optimum operational condition such as feeding and transportation conveyor speed and feeding rate. It indicates that the designing and operational characteristics of machine were optimum and the sorting machine was very suitable to sort semi spherical products usable in gardens or cold storages.

Keywords: Apple, Damage, Grading, Orange, Sizing, Sorting

How to cite:

Nalbandi, H., Seiiedlou S., Beranki, B., Farzand Ahmadi, V. 2020. Evaluation of Sorting Machine of Horticultural Products from the View Point of Machine Performance and Mechanical Damage of Fruit. *Journal of* Machination Agriculture 5 (1): 43-53.

۱- مقدمه

صادرات محصولات کشاورزی در ایران یکی از منابع مهم تامین ارز در کشور است که سهم عمده‌ای از صادرات غیرنفتی را به‌خود اختصاص داده است. با توجه به‌پتانسیل موجود در زمینه کشاورزی در کشور و شرایط آب و هوایی برای کشت انواع محصولات باغی، با توسعه این بخش می‌توان میزان تولید و صادرات را افزایش داد. بر اساس گزارش آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۶، میزان تولید محصولات باغی کشور بالغ بر ۲۱ میلیون تن بوده است که سیب، انگور و پرتقال به‌ترتیب با ۱۷/۷۰، ۱۵/۲۰ و ۱۳/۸۰ درصد کل تولید، بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده‌اند (Anonymous, 2017). این مقادیر تولیدی در اغلب مواقع مازاد بر مصرف داخلی است و برای جلوگیری از افت محصول، کاهش قیمت محصول و ایجاد تعادل در بازار، بایستی سالیانه صادرات این محصولات صورت گیرد. رعایت استانداردهای ملی و بین المللی در آماده‌سازی محصول برای صادرات جزء ضروریات می‌باشد. یکی از عملیاتی که در کشورهای توسعه‌یافته برای افزایش ارزش‌افزوده و قدرت رقابت محصول در بازارهای جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سورتینگ و بسته‌بندی محصولات کشاورزی است (Seiiedlou, 2012). سورتینگ اصطلاحی عام است که شامل تفکیک محصولات از نظر کمی (اندازه-بندی) و کیفی (درجه‌بندی) می‌باشد. درجه‌بندی عبارت از جداسازی محصولات از لحاظ کیفیت از قبیل رنگ، رسیدگی و صدمات و اندازه‌بندی عبارت از تفکیک محصولات از لحاظ اندازه از قبیل طول، قطر، ضخامت یا ترکیب آنها، شکل و نیز جرم محصول است (Saravacos & Kostaropoulos, 2016).

در بازارهای بین‌المللی به‌طور تقریبی تمامی میوه‌ها به صورت سورت شده و برچسب‌گذاری شده عرضه می‌شوند و این امر سبب تشخیص آسان‌تر کیفیت محصول توسط مشتری شده و توزیع و عرضه منظم‌تری را به‌دنبال خواهد داشت (Khojasteh Pour, 1996). در ایران علی‌رغم تولید مقادیر بالای محصولات باغی، میزان صادرات این محصولات بسیار ناچیز است که از علل آن عدم توجه به‌سورتینگ و بسته‌بندی محصول می‌باشد که این ضعف موجب کاهش قدرت رقابت محصولات می‌گردد. بنابراین، توسعه ماشین‌های سورتینگ که متناسب با سطح تکنولوژی موجود در کشور بوده و با ارقام تولیدی سازگار باشد و نیز از نظر قیمت نهایی ماشین مقرون به‌صرفه بوده و کاربرد آن برای باغداران آسان باشد، الزامی و ضروری است (Dordi banki, 1991). در خصوص طراحی و ساخت ماشین‌های اندازه‌بندی و درجه‌بندی تحقیقات زیادی انجام شده است و ماشین‌هایی با سطح تکنولوژی‌های متفاوت ساخته شده‌اند. در اکثر این کارهای تحقیقاتی، ضمن ساخت ماشین، مشخصه‌های عملکردی ماشین در سورتینگ محصول خاص برآورد و بررسی شده و بازده و خطای سورتینگ گزارش شده است.

اندازه‌بندی محصولات کشاورزی به دو صورت مکانیکی و الکترونیکی صورت می‌گیرد. اندازه‌بندهای الکترونیکی ماشین‌هایی هستند که اندازه‌گیری ابعاد و م شخ صه‌های فیزیکی را به صورت الکترونیکی انجام می‌دهند و معمولا شامل قسمت مکانیکی برای جداسازی می‌باشند. جداسازی بر اساس اخذ تصاویر و پردازش تصویر برای تعیین ابعاد و نیز اندازه‌گیری وزن به‌صورت الکترونیکی صورت می‌گیرد. سیستم‌های مکانیکی شامل غربال‌ها، تسمه‌های واگرا، اندازه‌بند تسمه و صفحه (گریفا)، اندازه‌بند تسمه و غلتک است که در آنها اندازه‌گیری ابعاد و مشخصه‌های فیزیکی و جداسازی به صورت مکانیکی انجام می‌شود.

Bahnasawy & Mostafa (2009) ماشین اندازه‌بندی با مکانیسم تسمه و غلتک برای اندازه‌بندی پیاز طراحی و ساختند و تاثیر سرعت و زاویه تسمه انتقال بر بازده ماشین را مورد ارزیابی قرار دادند. بیشترین بازده ماشین با ۹۴/۳۳ درصد در سرعت تسمه انتقال ۰/۲۳ متر در ثانیه و در زاویه ۲۰ درجه تسمه انتقال به‌دست آمد که در این شرایط بیشترین ظرفیت اندازه‌بندی برابر با ۱/۷۲ تن در ساعت بود. Kermani & Koravand (2019) نوعی دستگاه اندازه‌بندی فندق بر اساس تسمه‌های واگرا طراحی، ساخت و ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی نشان داد که سرعت خطی بر راندمان جداسازی اثر معنی‌دار دارد و مناسب‌ترین سرعت خطی برای انتقال محصول ۰/۸۰ متر بر ثانیه است. Tabatabae Kloor & Hashemi (2008) برای اندازه‌بندی مرکبات ماشینی مشابه ماشین ساخته شده توسط Jarimpos et al. (2007) بر اساس مکانیسم دیسک و صفحه (گریفا) ساخته و عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین عملکرد ماشین در سرعت ۴۰ دور در دقیقه دیسک به‌دست آمد که بازده ماشین ۹۴ درصد و ظرفیت آن ۱ تن در ساعت برآورد شد. Nazer (2012) ماشین اندازه‌بند سیب بر اساس مکانیزم تسمه و غلتک طراحی نمود که میوه‌های سیب را به چهار درجه تفکیک می‌کرد. این ماشین بعد از رفع عیوب احتمالی، توسط Beranki (2015) ساخته شده و ارزیابی اولیه روی آن انجام شد. ارزیابی اولیه نشان داد زمانی‌که زاویه عرضی تسمه نقاله انتقال هشت درجه باشد خطای سورتینگ افزایش یافته ولی در زاویه ۱۵ درجه تسمه انتقال، دقت درجه-بندی افزایش می‌یابد. بالابودن شیب تسمه انتقال هرچند موجب کاهش خطای سورتینگ می‌شود ولی به‌دلیل سرعت بالای برخورد میوه‌ها با واحد اندازه‌بندی می تواند صدمات وارد به میوه‌ها را افزایش دهد. Mostaphapour (2016) ماشین ساخته شده توسط Beranki (2015) را مورد بازبینی، ارزیابی و اصلاح قرار داد. ارزیابی ماشین با سیب رقم گلدن-دلیشیز نشان داد که علی‌رغم عملکرد خوب ماشین، صدمات وارد به

میوه‌ها غیر قابل چشم‌پوشی است. وی ضمن تغییر مکانیسم انتقال میوه‌ها روی تسمه نقاله تغذیه، به‌جای غلتک‌های عمودی استفاده شده در سیستم اندازه‌بندی از غلتک‌های افقی استفاده نمود. در نهایت اثر شیب تسمه انتقال و سرعت تغذیه را بر شاخص‌های عملکردی ماشین بررسی نمود. نتایج حاصل نشان داد که ماشین در شیب ۲۰ درجه تسمه انتقال و سرعت تسمه تغذیه معادل با ۰/۲۶ متر در ثانیه، دارای بهترین عملکرد می‌باشد. به‌طوری‌که بازده و خطای سورتینگ، درجه خلوص و آلودگی سورتینگ و ظرفیت کاری ماشین به‌ترتیب برابر ۹۲/۳۸، ۸/۰۷، ۹۵/۱۸، ۴/۸۱ درصد و ۷۰۸ کیلوگرم در ساعت بود. با این وجود هنوز میزان صدمات وارد شده به میوه‌ها محسوس بود.

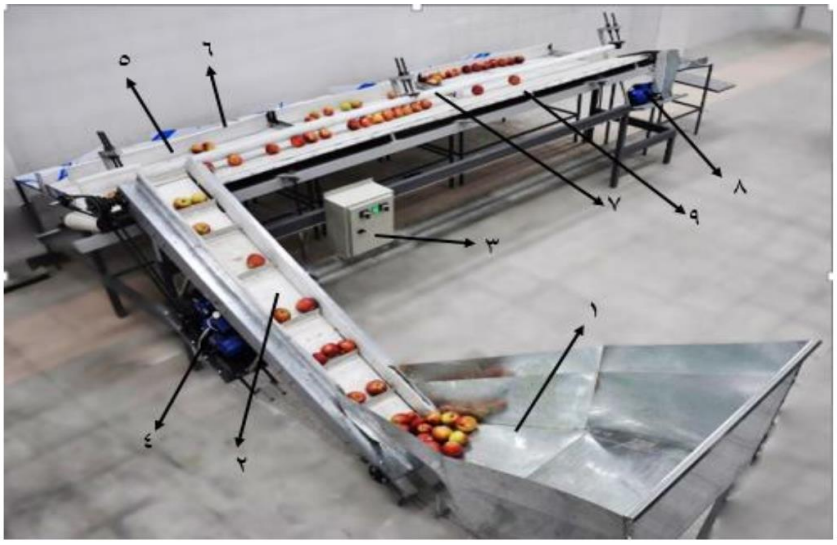
تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد می‌توان با استفاده از مکانیسم‌های متفاوت و در عین حال ساده، اندازه‌بندی محصولات باغی را با بیشترین بازده و کمترین خطا و بدون ایجاد صدمات در محصول، با هزینه‌های ثابت و هزینه عملیاتی پایین انجام داد. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی ماشین اندازه‌بند تسمه و غلتک ساخته شده توسط Beranki (2015) در اندازه‌بندی محصولات کروی و شبه‌کروی و بررسی تاثیر مشخصه‌های عملکردی و تنظیمی ماشین روی شاخص‌هایی از قبیل درجه خلوص و بازده عملیات سورتینگ و نیز صدمات مکانیکی وارده به محصول و در صورت نیاز اصلاح بعضی مکانیسم‌ها بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- شرح اجزای ماشین اندازه‌بند

ماشین اندازه‌بند مکانیکی (شکل ۱) براساس مکانیسم تسمه و غلتک با در نظر گرفتن خواص و شکل عمومی محصولات کروی و شبه‌کروی توسط تیم تحقیقاتی حاضر طراحی و ساخته شده است (Nazer, 2012 & Beranki, 2015). تابع پارامتر اندازه‌بندی این ماشین به‌شدت به‌قطر میوه وابسته است که در رابطه ۱ تابع آورده شده است که در آن L و D به ترتیب طول و قطر میوه است.

$$P = 0.17\,L + 0.83\,D \qquad (۱)$$



شکل ۱- تصویر ماشین سورتینگ: ۱- مخزن ۲- تسمه نقاله تغذیه ۳- تابلو اینورتر برای تغییر دور الکتروموتور ۴- الکتروموتور تسمه نقاله تغذیه ۵- مخازن جمع‌آوری محصول اندازه‌بندی شده ۶- پرده‌های پلی‌اتیلنی جهت کاهش سرعت محصولات ۷ – غلتک‌های اندازه‌بندی ۸ - الکتروموتور تسمه نقاله انتقال ۹ - تسمه نقاله انتقال

Fig 1. Sorting machine: 1-Hupper, 2- Feeder conveyor, 3- Inverter panel to change the speed of the electric motors, 4- electric motors of feeder conveyor, 5- Sorted product collection tanks, 6- Polyethylene curtains to reduce the speed of products, 7- Grading rollers, 8- electric motors of transportation conveyor, 9- Transportation conveyor

ماشین اندازه‌بند ساخته شده از سه قسمت اصلی شامل واحد تغذیه، واحد اندازه‌بندی و واحد جمع‌آوری محصولات اندازه‌بندی شده تشکیل یافته است. میوه‌ها توسط تسمه نقاله انتقال زایده‌دار از مخزن محصول به ابتدای تسمه انتقال (سمت چپ در شکل ۱) منتقل می‌شوند. توان تسمه نقاله تغذیه توسط یک موتور الکتریکی با قدرت ۰/۵ اسب بخار و جعبه‌دنده کاهنده حلزونی (۱:۲۰) تامین می‌شود و توسط پولی چهار سرعت به‌تسمه نقاله تغذیه منتقل می‌شود. دور دورانی خروجی جعبه‌دنده ۶۷/۵۰ دور در دقیقه می‌باشد. سرعت‌های دورانی و خطی حاصل از ترکیب پولی‌ها برای تغییر دبی تغذیه محصول در جدول ۱ ارایه شده است. سپس محصول توسط تسمه نقاله انتقال میوه (۹ در شکل ۱) از

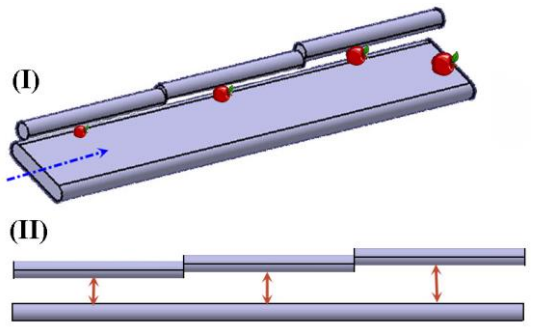
مقابل غلتک‌های دوار افقی سیستم اندازه‌بندی (۷ در شکل ۱) حمل می‌شوند و در صورتی‌که قطر میوه کمتر از فاصله بین تسمه و غلتک باشد، از فاصله بین آنها عبور کرده و درجه‌بندی می‌شود. در غیر این صورت به‌حرکت خود روی تسمه (در جهت راست شکل ۱) و رسیدن به‌درجات بزرگ‌تر ادامه می‌دهد.

جدول ۱- سرعت‌های خطی تسمه نقاله تغذیه

Table 1. Linear speed of the feeding conveyor

سرعت خطی تسمه(m/s) linear speed	دور غلتک محرک تسمه (rpm) The rotational speed of driving drum	نسبت پولی‌ها the ratio of drums	سرعت دورانی خروجی از جعبه دنده (rpm) The rotational speed of the gearbox output
0.17	33.75	6/12	67.50
0.21	40.50	6/10	
0.26	50.60	6/8	
0.35	67.50	6/6	

با توجه به‌اینکه فاصله غلتک دوار و تسمه نقاله انتقال دارای چهار بازه قابل تنظیم است و این فاصله رفته رفته در طول انتقال محصول به‌انتهای ماشین بزرگتر می‌شود بدیهی است میوه‌های بزرگتر در نقاط انتهای دستگاه از فاصله غلتک و تسمه عبور می‌کنند (شکل ۲). توان تسمه نقاله انتقال نیز به‌طور جداگانه توسط یک الکتروموتور با قدرت یک اسب‌بخار که دور خروجی آن توسط اینورتر قابل تنظیم و تغییر است تامین می‌شود. محصولات پس از اندازه‌بندی در مخازن جمع‌آوری (۵ در شکل ۱) جمع شده و در نهایت بسته‌بندی می‌شوند. از پرده‌های پلی-اتیلنی به‌عنوان موانعی جهت کاهش سرعت محصولات در مخازن جمع آوری و کاهش شدت برخورد محصول با بدنه استیل برای جلوگیری از بروز صدمات استفاده شده است.



شکل ۲- شکل شماتیک نحوه عبور میوه‌ها از فاصله بین غلتک و تسمه نقاله انتقال در ماشین سورتینگ؛ I: نمای سه بعدی و II: دید از روبه رو

Fig 2. Schematic of fruit passing through the distance between the rollers and transportation conveyor in the sorting machine; I: 3 dimensional view and II: front view

۲-۲- ارزیابی عملکرد ماشین اندازه‌بند

برای ارزیابی عملکرد ماشین‌های سورتینگ از استاندارد ایالات متحده آمریکا (USDA) استفاده می‌شود (Anonymous, 2002). در این استاندارد عملکرد ماشین هم از دیدگاه شاخص‌های مختلف بیان کننده بازده و خطای ماشین و هم از دیدگاه صدمات مکانیکی احتمالی وارد به محصول مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. در این تحقیق ارزیابی ماشین با استفاده از میوه‌های شبه کروی شامل سیب رقم‌های رد دلیشیز و گلدن دلیشیز و پرتقال رقم تامسون صورت گرفت. از شاخص‌های درجه خلوص و بازده عملیات سورتینگ برای بیان عملکرد ماشین استفاده شد. از شاخص سطح کوفتگی به‌عنوان معیار صدمات مکانیکی استفاده شد. نحوه محاسبه این شاخص‌ها در ادامه بیان شده است.

۲-۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

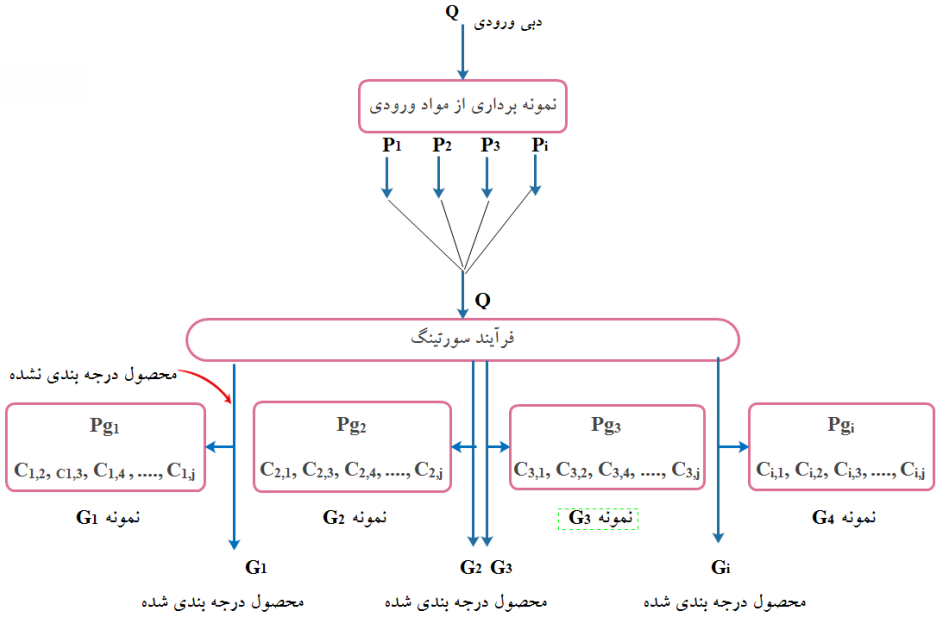
ماشین مورد نظر با ۲ رقم سیب (شامل رد دلیشیز و گلدن دلیشیز) و یک رقم پرتقال (تامسون) مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. ۱۶۰ و ۱۱۰ کیلوگرم سیب به ترتیب از ارقام گلدن دلیشیز و رد دلیشیز و ۵۰ کیلوگرم پرتقال از بازار محلی تهیه شدند. کلیه مراحل آماده‌سازی نمونه ها و ماشین بر اساس استاندارد ایالات متحده آمریکا (USDA) صورت گرفت. بر اساس آن مقرر شد میوه‌ها بر اساس قطر به چهار گروه دسته-بندی شوند. بر این اساس ماشین طوری تنظیم شد تا سیب‌ها به چهار درجه شامل سیب‌هایی با قطر کوچک‌تر از ۶۰ میلی‌متر، ۶۰ تا ۷۰ میلی-متر، ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۸۰ میلی‌متر دسته‌بندی شوند (Anonymous, 2002). هم‌چنین تنظیمات ماشین طوری انجام گرفت تا میوه پرتقال نیز به درجه‌هایی با قطر کوچک‌تر از ۷۰ میلی‌متر، ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر، ۸۰ تا ۹۰ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۹۰ میلی‌متر سورتینگ شوند (Anonymous, 2005). اندازه‌گیری قطرمیوه‌ها در تمام مراحل قبل و بعد سورتینگ با استفاده از کولیس دیجیتال صورت گرفت. در زمان آماده-سازی نمونه‌ها، قطر و جرم هر کدام از میوه‌ها در توده محصولی که تحت آزمون و سورتینگ قرار می‌گرفتند اندازه‌گیری شد و کد مرتبط با کلاس آن و نیز جرم آن روی هر میوه نصب شد تا ردیابی میوه‌ها در مراحل سورتینگ راحت‌تر باشد.

در فاز بعدی برای ارزیابی ماشین، ابتدا فاصله بین غلتک‌ها و تسمه (۷ و ۹ در شکل ۱) طوری تنظیم شد که محصول خارج شده از خروجی اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب دارای قطری باشند که در استاندارد به آن اشاره شده است. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که فاصله غلتک و تسمه به‌طور پیوسته قابل تنظیم بود و امکان سورتینگ هر محصول در هر اندازه را ممکن می‌ساخت.

مشخصه‌های مهم عملکردی ماشین که روی شاخص‌های بیان کننده کیفیت عملیات تاثیرگذار هستند شامل سرعت خطی تسمه نقاله

تغذیه و یا به‌عبارت دیگر دبی تغذیه محصول، سرعت خطی تسمه نقاله انتقال و شیب تسمه نقاله انتقال بود. اثر سرعت خطی تسمه نقاله تغذیه در سه سطح (۰/۱۷، ۰/۲۱ و ۰/۲۶ متر بر ثانیه) و سرعت خطی تسمه انتقال در دو سطح (۰/۱۸ و ۰/۲۵ متر بر ثانیه) و هر کدام در سه تکرار روی درجه خلوص و بازده عملیات سورتینگ مورد ارزیابی قرار گرفت. البته بر اساس نتایج تحقیقات قبلی تیم تحقیقاتی حاضر، شیب تسمه نقاله انتقال در حد ۲۰ درجه تنظیم و ثابت در نظر گرفته شد.

در زمان شروع هر آزمایش، مقدار مشخص از هر محصول (۱۲ کیلوگرم سیب و یا ۱۶ کیلوگرم پرتقال) به صورت درهم انتخاب و در مخزن ریخته شد و پس از تنظیم سرعت تسمه نقاله تغذیه و تسمه نقاله انتقال در مقادیر تعیین شده، فرآیند اندازه‌بندی انجام شد. مدت زمان انجام فرآیند از لحظه‌ای که اولین میوه روی تسمه انتقال قرار می گرفت تا زمانی که آخرین میوه از روی تسمه انتقال خارج می شد ثبت گردید. پس از اتمام فرآیند، محتوی مخازن و جعبه‌های جمع‌آوری چهار گانه به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گرفت و کد نمونه‌های خروجی از هر درجه یادداشت شده و جرم کل میوه‌های خروجی از هر درجه نیز اندازه-گیری و ثبت می‌شد. بدین ترتیب بر اساس تجزیه و تحلیل میوه‌های جمع‌آوری شده در هر درجه و جعبه گروه‌بندی شده، مشخص می‌شد که در هر درجه چند میوه به‌درستی جداسازی شده و چند میوه به‌صورت اشتباهی از درجات دیگر به درجه مورد نظر و یا از درجه مورد ارزیابی به درجات دیگر منتقل شده است. بنابراین ارزیابی عملکرد ماشین با استفاده از دیاگرام شکل ۳ صورت گرفت. به‌طوری‌که بر اساس دیاگرام مربوطه اندازه‌گیری‌های لازم مانند دبی میوه در نقاط مختلف ماشین، درصد میوه-های سورت شده صحیح یا اشتباه و نیز شاخص‌های نسبت جرمی هر درجه از میوه در هر کدام از تیمارها و تنظیمات ماشین اندازه‌گیری و ثبت شد. شاخص‌های بیان کننده عملیات سورتینگ شامل درجه آلودگی، درجه خلوص، بازده و خطای سورتینگ با استفاده از روابط ۲ الی ۷ محاسبه شدند.



شکل ۳- طرحواره فرآیند سورتینگ

Fig 3. Diagram of sorting process

$$C_w=[C_{1,2}+C_{1,3}+C_{1,4}+...+C_{1,j}]W_1+[C_{2,1}+C_{2,3}+C_{2,4}+...+C_{2,j}]W_2+[C_{3,1}+C_{3,2}+C_{3,4}+C_{3,j}]W_3+....+[C_{i,1}+C_{i,2}+C_{i,3}+...+C_{i,j}]W_i \quad (i\neq j) \qquad (۲)$$

$$P_w=Pg_1W_1+Pg_2W_2+Pg_3W_3+...+Pg_iW_i \qquad (۳)$$

$$P_w+C_w=1 \qquad (۴)$$

$$E_w=\sum_i\left(\frac{Pg_iG_i}{P_iQ}\right)W_i \qquad (۵)$$

$$S_w=\sum_i\left(1-\frac{Pg_iG_i}{P_iQ}\right)W_i \qquad (۶)$$

$$S_w+E_w=1 \qquad (۷)$$

که در این روابط C_w شاخص درجه آلودگی (٪)، P_w شاخص خلوص ماشین (٪)، S_w خطای کل سورتینگ و E_w کل بازده سورتینگ است. P_{gi}

درجه درجه خلوص درجه i می‌باشد که برابر با نسبت تعداد میوه‌های درجه مورد نظر در خروجی i به تعداد کل میوه خارج شده از خروجی مورد نظر است. Q دبی جرمی است و برابر با جرم کل محصول سورت شده بر زمان کل عملیات سورتینگ می‌باشد. W_i تابع وزنی بوده و برابر نسبت جرم میوه‌های درجه i در مخزن اصلی به‌جرم کل محصول می‌باشد. P_i درصد درجه i در دبی ورودی بوده و به صورت تعداد محصول درجه i موجود در توده محصول مخزن اصلی به‌تعداد کل سیب‌های مورد استفاده در عملیات سورتینگ محاسبه می‌شود. $C_{i,j}$ درصد آلودگی درجهj در بین نمونه‌های برداشت شده از دبی خروجی درجه i ($i\neq j$) و G_i دبی خروجی درجه i پس از سورتینگ می‌باشد.

۲-۲-۲- بررسی صدمات میوه

پس از اتمام فرآیند سورتینگ مربوط به هر دو رقم سیب و نیز پرتقال در هر تیمار، از خروجی مربوط به هر درجه تعدادی محصول جهت بررسی صدمات وارده به محصول در طی فرآیند سورتینگ به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد. مطابق استاندارد بررسی صدمات محصول، سیب پس از سورتینگ به‌مدت دو هفته در دمای ۵ تا ۱۰ درجه سانتی-گراد در یخچال نگهداری شده و سپس میزان صدمات بررسی گردید. صدمات مکانیکی در عملیات سورتینگ سیب غالبا به صورت بروز سطوح کوفتگی و قهوه‌ای شدن آن سطوح می‌باشد. هدف از بررسی صدمات در مورد محصول سیب، بررسی میزان سطوح با تغییر رنگ قابل رویت در سطح سیب می‌باشد. پس از اتمام دوره نگهداری، میوه‌ها به‌صورت دقیق و با چاقوی مناسب پوست‌گیری شدند و مساحت سطوح صدمه دیده با استفاده از تصاویر اخذ شده از صدمات در محیط نرم‌افزار دیجی‌مایزر[1] اندازه‌گیری شد. گروه‌بندی صدمات مطابق با استانداردهای درجه‌بندی در چهار گروه شامل اکسترافنسی[2]، فنسی[3]، یوتیلیتی[4] و کول[5] (که مجموع سطوح صدمه دیده در هر کدام از گروه‌ها به‌ترتیب کمتر از مساحت دایره‌ای به‌قطر ۰/۷۵، ۱/۰۰، ۱/۲۵ و ۱/۵۰ اینچ می‌باشد) درجه-بندی شدند (Mohsenin, 1986). بدین ترتیب مقدار صدمات وارده در عملیات سورتینگ اندازه‌گیری شد.

در مورد محصـــول پرتقال به‌دلیل خواص رئولوژیکی آن صـــدمات بررسی نشد. زیرا پرتقال دارای پوست ضخیم و الاستیسیته بالا بوده و نسبت به‌تنش‌های آنی و سطحی مقاوم بوده و در طول سورتینگ آسیب نمی‌بیند.

۲-۲-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

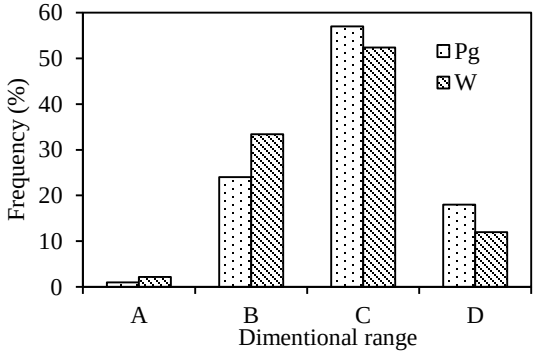
در این تحقیق برای بررسی تاثیر مشخصه‌های مورد مطالعه روی شاخص‌های عملکرد ماشین مانند میزان صدمات، درجه آلودگی و خلوص عملیات سورتینگ از آزمایش‌های فاکتوریل با دو فاکتور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد و داده‌ها در محیط نرم‌افزار MSTATC تحلیل و مقایسه میانگین نیز به‌روش دانکن انجام شد. ترسیم نمودارها نیز در محیط نرم‌افزار اکسل صورت گرفت. هر آزمون آماری فاکتوریل برای هر میوه به‌صورت جداگانه انجام شد. البته آزمون‌ها می‌توانستند به‌صورت سه فاکتوره با لحاظ کردن نوع میوه به عنوان یکی از فاکتورها صورت پذیرند. دلیل مجزا نمودن تحلیل‌های آماری به صورت مستقل از نوع میوه، حصول دقیق بهترین مشخصه‌های عملکرد ماشین برای هر محصول بود تا نتایج قابلیت کاربرد و اجرایی بیشتری داشته باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمون و ارزیابی ماشـــین در ســـورتینگ سیب (رقم گلدن‌دلیشیز)

۳-۱-۱- مشخصات توده محصول سیب (رقم گلدن دلیشیز)

سیب‌ها به چهار درجه شامل سیب‌هایی با قطر کوچک‌تر از ۶۰ میلی‌متر، ۶۰ تا ۷۰ میلی‌متر، ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۸۰ میلی‌متر دسته-بندی شدند. چنانکه گفته شد ابتدا توده محصول از نظر فراوانی میوه در هر گروه و نیز جرم آنها مورد بررسی قرار گرفتند. شکل۴ فراوانی تعداد میوه و توزیع وزنی آنها را در توده محصول نشان می‌دهد.



شکل ۴- توزیع فراوانی درجات مختلف سیب در توده محصول (رقم گلدن‌دلیشیز)

Fig 4- Frequency distribution of various degree of apple inside the product bulk

[1] Digimizer
[2] Extra Fancy
[3] Fancy
[4] Utility
[5] Cull

نتایج اندازه‌گیری قطر سیب‌های گلدن دلیشیز نشان داد که کمینه و بیشینه مقدار قطر سیب به‌ترتیب برابر ۵۴ و ۹۱ میلی‌متر بود. مقدار درجه خلوص در توده محصول ورودی و در مخزن اولیه و نسبت جرمی آنها در ۴ درجه A (قطر بزرگتر از ۸۰ میلی‌متر)، B (قطر ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر)، C (قطر ۶۰ تا ۷۰ میلی‌متر) و D (کوچکتر از ۶۰ میلی‌متر) در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس آنالیز داده‌ها بیشترین تعداد محصول در محدوده قطری درجه C (۶۰ تا ۷۰ میلی‌متر) قرار داشت که حدود ۵۷ درصد سیب‌ها از نظر تعداد در این محدوده قرار داشت. تعداد سیب-های بزرگتر از ۸۰ میلی‌متر در حدود یک درصد و سیب‌هایی با قطر ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر در حدود ۲۵ درصد بود. میانگین قطر سیب‌ها در محدوده ابعادی C که بالاترین فراوانی را داشت و میانگین جرم آنها به‌ترتیب ۶۸/۶۰ میلی‌متر و ۱۴۰ گرم بود. کرویت آنها در حدود ۹۲ درصد محاسبه شد. درصد کرویت نشان می‌دهد که محصولات شبه‌کروی هستند و بسیار نزدیک به‌کره کامل هستند و انتخاب سیستم سورتینگ بر پایه تسمه و غلتک انتخاب صحیحی بوده است چرا که این نوع ماشین‌ها، در حدود ۸۵ درصد قطر را دخالت داده و حدود ۱۵ درصد طول میوه در سورتینگ تاثیرگذار است (رابطه ۱).

۳-۱-۲- اثرات فاکتورهای مورد مطالعه روی شاخص‌های سورتینگ (سیب رقم گلدن‌دلیشیز)

نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت تسمه نقاله تغذیه و تسمه نقاله انتقال روی شاخص‌های اندازه‌بندی سیب (رقم گلدن‌دلیشیز) در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری‌که مشاهده می‌شود اثر مستقیم سرعت تسمه تغذیه و اثر متقابل دو فاکتور سرعت تسمه تغذیه در سرعت تسمه انتقال بر بازده سورتینگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت تسمه نقاله تغذیه و سرعت تسمه نقاله انتقال بر شاخص‌های سورتینگ سیب

Table 1- ANOVA for parameters of feeding conveyor speed and transportation conveyor speed on apple sorting index

منبع تغییر S.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS) رقم گلدن‌دلیشیز Golden delicious		رقم رددلیشیز Red delicious	
		خلوص سورتینگ (٪) Purity index (%)	بازده سورتینگ (٪) Sorting efficiency (%)	خلوص سورتینگ (٪) Purity index (%)	بازده سورتینگ (٪) Sorting efficiency (%)
تکرار Repetition	2	12.198**	10 ^{ns}	12.87 ^{ns}	11.08 ^{ns}
سرعت تسمه نقاله تغذیه Feeding conveyor speed	2	25.80**	100**	78.02**	81.30**
سرعت تسمه نقاله انتقال Transportation conveyor speed	1	142.03**	10.01^{ns}	19.01 ^{ns}	3.00 ^{ns}
سرعت تسمه نقاله تغذیه × سرعت تسمه نقاله انتقال Feeding conveyor speed × Transportation conveyor speed	2	13.92**	60.01*	0.04 ^{ns}	11.20 ^{ns}
خطا Error	10	0.93	10.00	8.71	10.06

** بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ^{ns} بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار می باشد.

نتایج مقایسه میانگین سرعت تسمه نقاله تغذیه نشان می‌دهد (جدول ۲) با افزایش سرعت تسمه نقاله تغذیه بازده سورتینگ کاهش و به تبع آن خطای سورتینگ افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت تسمه نقاله تغذیه و نرخ تغذیه، تجمع محصول به‌ویژه در ورودی تسمه نقاله انتقال افزایش می‌یابد یعنی تعداد محصول بیشتری در روی تسمه انتقال تجمع می‌کنند. این امر نحوه قرارگیری محصولات را روی تسمه تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌طوری‌که در برخی مواقع بیش از یک ردیف محصول بر روی تسمه انتقال قرار می‌گرفت که به این ترتیب همه میوه‌ها امکان تماس با غلتک-های اندازه‌بندی را در نواحی اولیه تسمه انتقال نداشته و در نتیجه خطای سورتینگ افزایش و بازده درجه‌بندی کاهش می‌یافت. لازم به‌ذکر است افزایش سرعت تسمه تغذیه از ۰/۱۷ به ۰/۲۱ متر بر ثانیه تاثیر معنی‌داری روی کاهش بازده سورتینگ و افزایش خطای آن نداشت. ولی افزایش بیشتر سرعت تغذیه از ۰/۲۱ به ۰/۲۶ متر بر ثانیه موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های مذکور گردید. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت تسمه تغذیه در سرعت تسمه انتقال روی بازده سورتینگ در شکل ۵ ارایه شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش آهنگ تغذیه از طریق افزایش سرعت تسمه نقاله تغذیه بازده سورتینگ در هر دو سرعت تسمه انتقال کاهش می‌یابد. این کاهش در سرعت‌های بالاتر تسمه نقاله انتقال

کمتر است. به‌عبارت دیگر، افزایش سرعت تسمه نقاله انتقال به‌ویژه در نرخ بالاتر تغذیه محصول به‌ماشین، از تجمع میوه در نقاط میوه ابتدایی ماشین کاسته و فرصت سورتینگ برای همه محصولات پیش می‌آید چرا که محصول به‌صورت دو لایه از مقابل غلتک قرار نمی‌گیرد.

مطالعه بیشتر اثر متقابل فاکتورهای سرعت تغذیه در سرعت انتقال نشان داد که بیشترین بازده در سرعت تسمه نقاله تغذیه معادل ۰/۱۷ متر بر ثانیه و سرعت تسمه انتقال معادل ۰/۲۵ متر بر ثانیه به مقدار ۹۶/۵۰ درصد و کمترین بازده در بالاترین مقدار سرعت تسمه تغذیه و کمترین مقدار سرعت تسمه انتقال معادل ۸۲ درصد محاسبه شد (شکل ۵-A). همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود با افزایش سرعت تغذیه نباید سرعت انتقال کاهش یابد چرا که موجب کاهش بازده سورتینگ می‌گردد.

پس نسبت مناسبی از آهنگ تغذیه و سرعت انتقال محصول روی ماشین باید انتخاب شود. البته انتخاب سرعت تسمه نقاله انتقال و به‌تبع آن سرعت حرکت محصول روی ماشین تابع میزان آسیب‌پذیری محصول نیز می‌باشد چرا که در محصولات آسیب‌پذیر، افزایش سرعت انتقال می‌تواند موجب افزایش صدمات روی میوه شود. پس در انتخاب سرعت تغذیه و انتقال باید به صدمات محصول توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

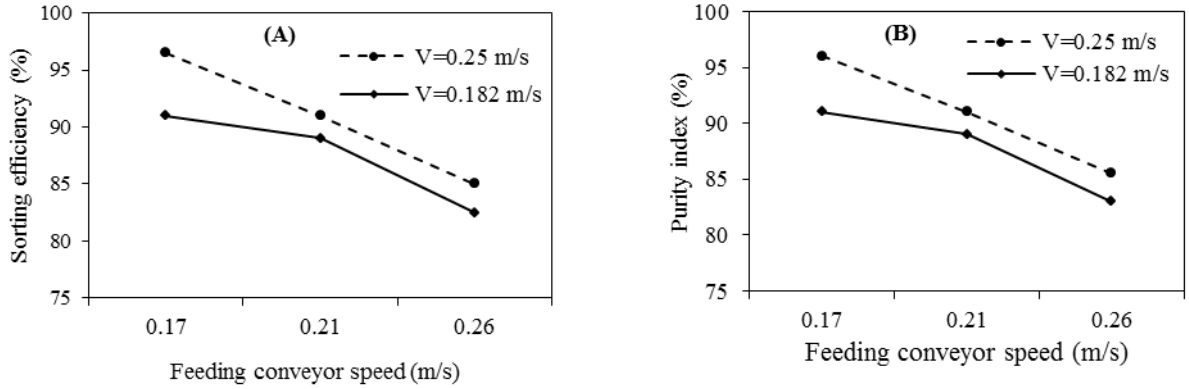
بر اساس نتایج شکل ۵-A می‌توان عنوان نمود که انتخاب نرخ و سرعت تغذیه و سرعت انتقال محصول روی ماشین تابع یکدیگر می‌باشند و بدیهی است در نرخ تغذیه کمتر، لزومی به افزایش سرعت انتقال نمی‌باشد.

جدول ۲- مقایسه میانگین بازده سورتینگ میوه سیب در سطوح مختلف سرعت تسمه نقاله تغذیه

Table 2- Mean comparison of sorting efficiency of apple at various feeding conveyor speed

سرعت تسمه نقاله تغذیه (m/s) Feeding conveyor speed	گلدن دلیشیز Golden delicious	رد دلیشیز Red delicious		میانگین Mean
	بازده سورتینگ (٪) Sorting efficiency (%)	بازده سورتینگ (٪) Sorting efficiency (%)	خلوص سورتینگ (٪) Purity index (%)	
0.17	92.48 [a]	93.24 [a]	91.33 [a]	
0.21	87.83 [ab]	88.35 [ab]	88.45 [ab]	
0.26	84.41 [b]	83.87 [b]	84.17 [b]	

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد.



شکل ۵- تاثیر سرعت تسمه نقاله تغذیه بر بازده و درجه خلوص سورتینگ سیب (گلدن‌دلیشیز) در سرعت‌های مختلف تسمه نقاله انتقال (V)

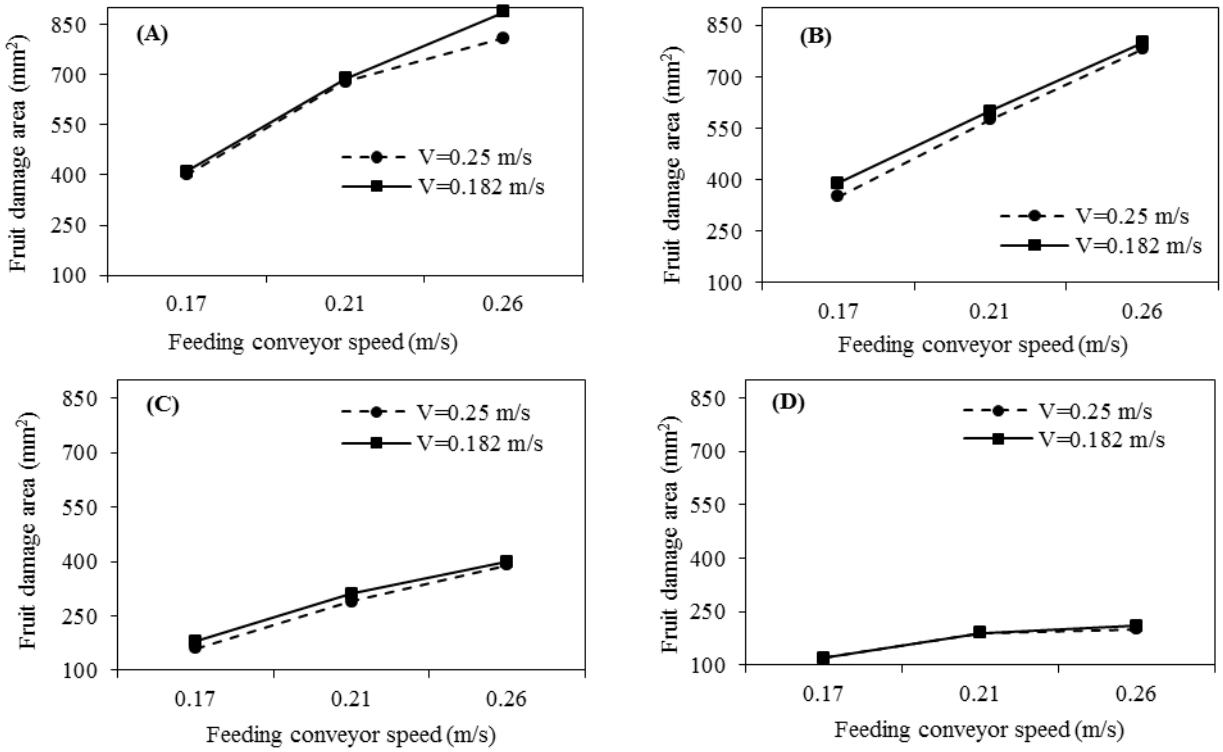
Fig 5. Effect of feeding conveyor speed on sorting efficiency (%) and purity index (%) of apple sorting (Golden delicious) at various speed of transportation conveyor (V)

همان‌طوری‌که در جدول ۱ مشاهده شد تاثیر کلیه فاکتورهای مورد مطالعه شامل اثرات مستقیم و متقابل آنها بر روی درجه خلوص عملیات سورتینگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت تسمه تغذیه و سرعت تسمه انتقال روی درجه خلوص عملیات سورتینگ در شکل ۵-B ارایه شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش سرعت تغذیه درجه خلوص کاهش می‌یابد ولی با افزایش سرعت تسمه نقاله انتقال مقدار آن افزایش می‌یابد. بنابراین بهترین تیمار برای حصول بالاترین درجه خلوص (۹۶٪) عبارت از سرعت تغذیه ۰/۱۷ متر در ثانیه و سرعت انتقال ۰/۲۵ متر در ثانیه می‌باشد که در این تیمار، بازده سورتینگ نیز حداکثر است (۹۶/۵۱٪). در این حالت مقدار دبی تغذیه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در ساعت محصول سیب خواهد بود.

۳-۱-۳- صدمات وارده بر سیب (رقم گلدن‌دلیشیز) در طی فرآیند سورتینگ

برای بررسی میزان صدمات وارده به محصول در حین سورتینگ، مساحت و عمق صدمات ایجاد شده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان صدمات وارد شده به درجه‌های A وB بیش از ۲/۸۵ سانتی‌مترمربع بوده و آنها در گروه فنسی قرار گرفتند. سیب‌های درجه C و D از لحاظ صدمات در گروه اکترافنسی قرار گرفتند. کمترین میزان صدمات در سرعت تسمه تغذیه ۰/۱۷ متر در ثانیه و سرعت تسمه انتقال ۰/۲۵ متر در ثانیه رخ داد. بطورکلی با افزایش سرعت تسمه تغذیه و به‌تبع آن افزایش آهنگ تغذیه محصول میزان صدمات افزایش یافت. علت این امر افزایش دفعات و شدت برخورد میوه‌ها به یکدیگر در قسمت تخلیه تسمه تغذیه بر روی تسمه انتقال می‌باشد. افزایش سرعت تسمه انتقال موجب کاهش جزیی میزان صدمات گردید (شکل ۶).

به‌طورکلی نتایج مبین آن است که سرعت تسمه نقاله تغذیه ۰/۱۷ متر در ثانیه و سرعت تسمه انتقال ۰/۲۵ متر در ثانیه با داشتن حداکثر بازده و حداقل صدمات بهترین شرایط عملکردی ماشین سورتینگ در سیب رقم گلدن دلیشیز می‌باشد.



شکل ۶- سطح صدمات وارد شده بر درجات مختلف سیب (گلدن دلیشیز) در سرعت‌های مختلف تسمه نقاله تغذیه و تسمه نقاله انتقال (V)

Fig 6. Damage area of various apple degrees (Golden delicious) at various feeding conveyor and transportation conveyor (V)

۳-۲- نتایج آزمون و ارزیابی ماشین سورتینگ سیب (رقم رددلیشیز)

۳-۲-۱- مشخصات توده محصول سیب (قم رددلیشیز)

برای ارزیابی عملکرد ماشین اندازه‌بند رقم دیگری از سیب (رد دلیشیز) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. قطر سیب‌های رقم رددلیشیز بین ۵۰ الی ۹۷ میلی‌متر و متوسط جرم میوه‌ها ۱۶۵ گرم بود. متوسط ضریب کرویت آنها نیز ۹۳ درصد محاسبه گردید. همانند رقم گلدن‌دلیشیز، درجه‌های C و B رقم رددلیشیز، بیشترین تعداد را در توده محصول به خود اختصاص داده بودند. بطوریکه درجه c با ۵۳ درصد و درجه B با ۳۶ درصد نسبت به درجات A و D دارای فراوانی بیشتری در توده محصول اولیه بودند.

۳-۲-۲- اثرات فاکتورهای مورد مطالعه روی شاخص‌های سورتینگ (سیب رقم رددلیشیز)

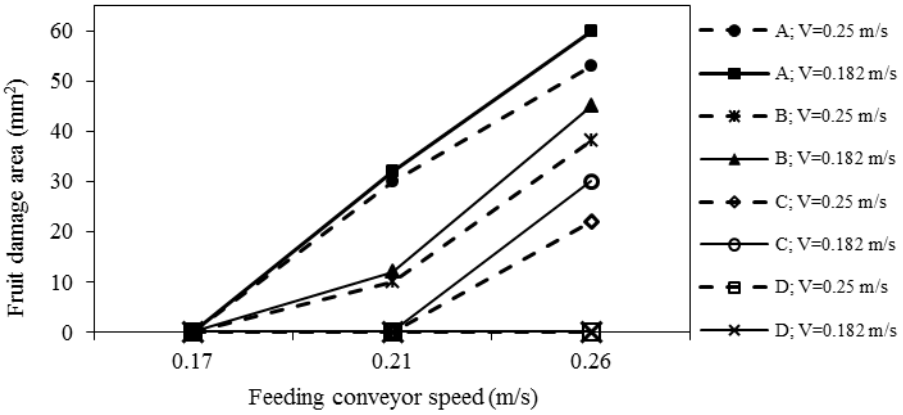
همانند سیب رقم گلدن‌دلیشیز، سرعت تسمه نقاله تغذیه تاثیر معنی‌دار در سطح ۱٪ بر تمامی معیارهای ارزیابی ماشین در درجه‌بندی سیب رقم رددلیشیز داشت (جدول ۱). برای تعیین بهترین تیمار مقایسه میانگین به‌روش دانکن و در سطح احتمال ۱ ٪ انجام شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سرعت تسمه نقاله تغذیه، بازده و درجه

خلوص کاهش یافته و به تبع آن خطای سورتینگ و درجه آلودگی افزایش می‌یابد (جدول ۲). این نتایج با نتایج حاصل از ارزیابی سیب رقم گلدن-دلیشیز مطابقت دارد. در واقع تجمع میوه‌ها روی ناحیه ابتدایی تسمه نقاله انتقال در آهنگ بالای تغذیه محصول به همراه سرعت‌های پایین تسمه نقاله موجب افزایش خطای سورتینگ می‌گردد.

بیشترین مقدار بازده و درجه خلوص در سیب رقم رددلیشیز به ترتیب با مقادیر ۹۳/۲۴ و ۹۱/۳۳ درصد و کمترین خطای سورتینگ و درجه آلودگی به‌ترتیب برابر ۶/۷۵ و ۸/۶۷ درصد در کمترین سرعت تسمه نقاله تغذیه (۰/۱۷ متر بر ثانیه) حاصل شد که این مقدار سرعت تسمه نقاله تقریبا معادل ۱۰۰۰ کیلوگرم محصول در ساعت است. همان‌طوریکه ملاحظه می‌شود اثر متقابل تیمارها در شاخص‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود. چنانکه انتظار می‌رفت تفاوت محسوسی بین بازده و درجه خلوص سورتینگ در دو رقم سیب مورد مطالعه مشاهده نشد چرا که ضریب کرویت هر دو سیب تقریبا یکسان بوده و خصوصیات فیزیکی آنها از جمله اندازه بهم نزدیک بودند. بنابراین دستگاه ساخته شده با بازده مناسب قابل استفاده برای ارقام مختلف سیب می‌باشد.

۳-۲-۳- صدمات وارده بر سیب (رقم رددلیشیز) در طی فرآیند سورتینگ

بررسی صدمات وارد شده به سیب‌های رقم رددلیشیز نشان داد که در همه درجه‌های سیب و در سرعت تغذیه ۰/۱۷ متر در ثانیه میزان صدمات وارد شده به میوه‌ها صفر می‌باشد. ولی با افزایش سرعت تسمه تغذیه میزان صدمات افزایش یافت. بالابودن سرعت تسمه نقاله انتقال نیز منجر به کاهش صدمات گردید. به‌طوری‌که در سرعت تسمه نقاله انتقال ۰/۲۵ متر در ثانیه میزان صدمات حداقل بود. همان‌طوری‌که در شکل ۷ ارایه شده است صدمات وارد شده بر سیب‌های درجه D در همه سرعت-های مورد مطالعه صفر می‌باشد. این نتایج مطابق با نتایج به دست آمده برای سیب رقم گلدن‌دلیشیز بود و همواره کمترین میزان صدمات در سرعت تسمه نقاله تغذیه ۰/۱۷ متر در ثانیه و سرعت تسمه نقاله انتقال ۰/۲۵ متر در ثانیه به‌دست آمد.



شکل ۷- سطح صدمات وارد شده بر درجات مختلف سیب (رددلیشیز) در سرعت‌های مختلف تسمه نقاله تغذیه و تسمه نقاله انتقال (V)

Fig 7. Damage area of various apple degrees (Red delicious) at various feeding conveyor and transportation conveyor (V)

۳-۳- نتایج ارزیابی ماشین در سورتینگ پرتقال (رقم تامسون)

۳-۳-۱- مشخصات توده محصول پرتقال

اندازه‌گیری خواص فیزیکی پرتقال‌های تامسون توزیع اندازه آنها را مشخص نمود، به‌طوری‌که بیشتری تعداد میوه در درجه B (۴۲٪) قرار داشت. درجه‌های C، D و A به‌ترتیب ۳۲، ۱۵ و ۱۱ درصد میوه‌ها را در توده محصول داشتند. کرویت میوه‌ها ۹۵ درصد و جرم متوسط آنها ۲۶۰ گرم محاسبه و برآورد شد. قطر میوه‌ها نیز در محدوده ۶۵ الی ۱۰۰ میلی‌متر قرار داشت.

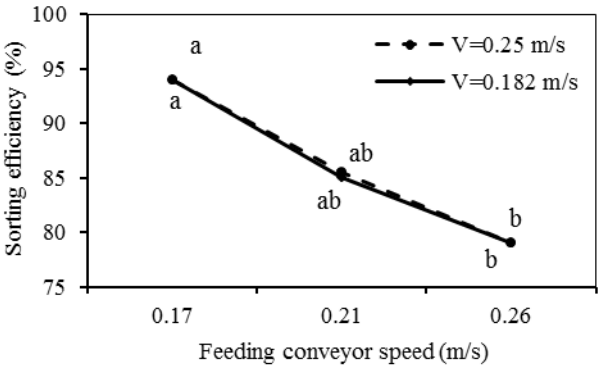
۳-۳-۲- اثرات فاکتورهای مورد مطالعه روی شاخص‌های سورتینگ پرتقال

بر اساس نتایج تجزیه واریانس می‌توان اظهار نمود که در محدوده سرعت‌های مورد مطالعه باز اثر سرعت تسمه نقاله تغذیه روی درجه خلوص و بازده عملیات سورتینگ معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین درجه خلوص و بازده سورتینگ به‌ترتیب با مقادیر ۹۵/۶۷٪ و ۹۴/۰۰٪ در کمترین دبی آهنگ تغذیه حادث شد. افزایش سرعت تسمه نقاله تغذیه موجب کاهش درجه خلوص و بازده سورتینگ گردید. با توجه به‌ضریب کرویت بالای پرتقال و نیز خواص سطحی آن تاثیر سرعت انتقال روی

شاخص‌ها غیرمعنی‌دار بود. نمودار شکل ۸ نیز بیانگر غیر معنی‌دار بودن اثر سرعت تسمه نقاله انتقال در محدوده مورد مطالعه روی بازده سورتینگ می‌باشد. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود فقط سرعت تسمه نقاله تغذیه موجب تغییر بازده سورتینگ شده است. بنابراین به منظور کاهش مصرف انرژی استفاده از سرعت‌های پایین تسمه نقاله انتقال توصیه می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ماشین سورتینگ تسمه و غلتک ساخته شده توسط تیم تحقیقاتی، برای اندازه‌بندی محصولات کروی و شبه‌کروی مانند دو رقم سیب با ضریب کرویت حدود ۹۲/۵۰ درصد و یک رقم پرتقال با ضریب کرویت ۹۵ درصد ارزیابی شد که کمترین خطا و بیشترین بازده سورتینگ، در کمترین سرعت تسمه نقاله تغذیه (۰/۱۷ متر بر ثانیه) و بیشترین سرعت تسمه نقاله انتقال (۰/۲۵ متر بر ثانیه) به‌دست آمد که در این محدوده سرعتی، مقدار ظرفیت ماشین در حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم محصول در ساعت برای سیب و ۱۳۰۰ کیلوگرم محصول در ساعت برای پرتقال حاصل شد. به‌طوری‌که بازده سورتینگ در این سرعت‌ها برابر ۹۳/۲۴ درصد، ۹۶/۵۰ درصد و ۹۴/۰۰ درصد به‌ترتیب برای سیب رقم گلدن‌دلیشیز و رددلیشیز و پرتقال حادث شد که بیانگر عملکرد قابل قبول ماشین سورتینگ مکانیکی مورد نظر در سورتینگ محصولات شبه‌کروی بود. نباید آهنگ تغذیه از ۱۰۰۰ کیلوگرم در ساعت تجاوز کند چرا که موجب افزایش خطای عملیات سورتینگ می‌شود.



شکل ۸- نمودار اثر متقابل سرعت تسمه نقاله تغذیه و سرعت تسمه نقاله انتقال (V) روی بازده سورتینگ پرتقال (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ می‌باشد)

Fig 8. Curve of interaction effect of feeding conveyor speed and transportation conveyor speed (V) on the sorting efficiency of orange (various letters show the significant differences at 1% probably level)

۵- منابع

Anonymous. (2002). *United State Standards for Grades of Apples*. United States Department of Agriculture.

Anonymous. (2005). *United State Standards for Grades of Orange*. United States Department of Agriculture.

Anonymous. (2017). *Agricultural Statistics. Publications of the General Directorate of Statistics and Information of the Ministry of Jihad Agriculture* (In Persian).

Bahnasawy, A.H. and Mostafa, H.M. (2009). *Development of affordable machine for sizing Egyptian onion*. Agricultural Engineering International CIGR. Vol: XI.

Beranki, S. (2015). *Optimization of design, fabrication and evaluation of apple mechanical sorting machine*. MS.c. Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).

Dordi banki, Gh. (1991). *Investigating the export of Iranian agricultural products and ways of its development.* MS.c. Thesis, University of Tehran (In Persian).

Jarimpos, B., Toomsaengtong, S. and Inparasit, C. (2007). *Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine*. Journal of Food Engineering. 79(3):745-751.

Kermani, A. M., Kouravand, Sh. (2016). *Design, construction and evaluation of a sizing machine for hazelnuts*. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 47(2):375-381 (In Persian).

Khojasteh Pour, M. (1996). *Design and construction of potato grading machine according to Iranian conditions*. MS.c. Thesis, University of Tehran (In Persian).

Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of food and Agricultural Materials*. 2nd Revised and Updated Edition. Gordon and breach Science Publishers. New York.

Mostaphapor, M. (2016). *Testing, reforming, evaluation and optimization of performance of the apple mechanical sixing machine*. MS.c Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).

Nazer, A. (2012). *Design and fabrication of Apple mechanical sorting machine*. MS.c. Thesis, Department of Biosystems Engineering, University of Tabriz (In Persian).

Saravacos, G. and Kostaropoulos, E. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment*, Second Edition. pp: 233-247.

Seiiedlou, S. 2012. *Engineering of agricultural equipment processing equipment*. Course notes. University of Tabriz (In Persian).

Tabatabae Kloor, R. and Hashemi, J. (2008). *Development and evaluation of citrus sorting machine with rotary semi-conical disc*. Journal of Agriculture Machinery Science. 4 (4): 371-374.