درجه بندی مرکبات با استفاده از نیروی گریز از مرکز و ثقل (۳٤)

رضا طباطبایی کلور[۱] ، سید جعفر هاشمی[۲]

چکیده

یک دستگاه درجه بندی مرکبات بر اساس اندازه ساخته شد و عملکرد آن مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. یک صفحه دورانی با سطح شیب دار نیمه مخروطی، میوه ها را تحت تاثیر ترکیب نیروی گریز از مرکز و ثقل به سمت انتهای صفحه هدایت می کند. یک جداکننده با فواصل عمودی مختلف که در قسمت بالای محیط صفحه قرار گرفته عمل درجه بندی را انجام می دهد. میوه ها از سینی ورودی وارد صفحه دورانی می شوند و به سمت انتهای صفحه می روند تا اینکه به جداکننده برخورد کنند. چنانچه اندازه میوه ها متناسب با اندازه فاصله عمودی جداکننده و صفحه باشد از آن عبورکرده و وارد سینی دریافت کننده می شوند. در غیر این صورت، نیروی مماسی بین میوه و جداکننده سبب غلتش میوه ها در طول جداکننده شده تا اینکه بتوانند از فاصله مورد نظر عبور کنند. آزمایش دستگاه با استفاده از پرتقال رقم تامسون در چهار سرعت دورانی صفحه (۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ دور در دقیقه) انجام گرفت و پارامترهای ارزیابی عملکرد مانند درصد میانگین خطا، بازده و ظرفیت دستگاه تعیین گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در سرعت ۴۰ دور در دقیقه صفحه با بازده ۹۴٪، نسبت میانگین خطای ۱۱/۱ ٪ و ظرفیت ۱۰۱۲ کیلوگرم در ساعت بدست آمد.

کلیدواژه: دستگاه درجه بندی، مرکبات، نیروی گریز از مرکز

۱ و ۲- استادیار گروه ماشین های کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پست الکترونیک: r_tabatabaee@yahoo.com

مقدمه

ایران با تولید حدود ۴/۴ میلیون تن مرکبات در سال ۱۳۸۵ مقام هشتم جهان را به خود اختصاص اد (گزارش وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵). با توجه به این مقدار تولید، مدیریت بعد از برداشت این محصول ارزشمند بسیار ضروری است. درجه بندی ازجمله فرایندهایی است که موجب ارزش افزوده محصول شده و امکان صادرات را فراهم می کند. در حال حاضر تعداد نسبتا کمی کارگاه های درجه بندی و بسته بندی در کشور فعال هستند که پاسخگوی این همه تولید نیستند. از این رو، حجم زیادی از مرکبات هر ساله بصورت فله ای و غیر استاندارد وارد بازار مصرف داخلی شده که علاوه بر عدم جلب نظر مشتری قیمت غیر واقعی نیز دارد.

امروزه در دنیا دستگاه های متعددی برای درجه بندی انواع میوه ها طراحی و تولید شده است که بر اساس ویژگیهای مختلف محصول مانند اندازه، حجم، رنگ و وزن با سیستم های مکانیکی و الکترونی کار می کنند[۴، ۷] . عمده دستگاه های درجه بندی موجود در کشور از نوع غلطکی شیاردار هستند که فاصله شیارها به تدریج برای درجات مختلف افزایش می یابد و میوه ها را براساس اندازه آنها درجه بندی می کند. در این سیستم اغلب دیده شده است که میوه ها در بین غلطکها گیر کرده و له می شوند، بعلاوه چندین کارگر بر کار آنها نظارت می کنند. در ضمن تعداد زیادی غلطک نیاز است که علاوه بر طول زیاد دستگاه، هزینه اولیه و نگهداری آنها نیز زیاد می باشد.

با استفاده از نیروی گریز از مرکز توسط یک صفحه دورانی نیز می توان عمل درجه بندی را انجام داد[۷] . جاریموپاس و همکاران در سال ۲۰۰۷ از این روش برای درجه بندی میوه انبه استفاده کردند. آنها یک ماشین درجه بند طراحی کردند که بوسیله یک صفحه دورانی و یک صفحه جداکننده شیب دار می توانست میوه انبه را به چهار درجه تقسیم کند. این دستگاه با ظرفیت ۱۰۷۶ کیلو گرم در ساعت و بازده ۸۴/۷ ٪ دارای نسبت میانگین خطای ۱۴/۸ ٪ بود و تا حدی مورد استقبال تولید کنندگان این محصول قرار گرفت[۴]. طباطبائی فر و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در بین سیستم های درجه بندی پرتقال بر اساس اندازه، استفاده از قطر میانگین میوه در درجه بندی موثرتر است[۸].

بر این اساس، برای درجه بندی مرکبات که دارای شکل نسبتا کروی هستند، می توان از یک صفحه دورانی با سطح شیب دار نیمه مخروطی استفاده کرد تا ترکیب نیروی گریز از مرکز و نیروی ثقل وارد بر میوه کارایی درجه بندی را افزایش دهد. بعلاوه، می توان از یک تسمه جداکننده با فواصل عمودی پلکانی در بالای محیط صفحه استفاده کرد. در عمل، میوه با قرارگیری روی صفحه چرخشی در اثر نیروهای گریز از مرکز و ثقل به سمت انتهای صفحه هدایت می شود و با تسمه جداکننده برخورد می کند. ضمنا حالت چرخشی میوه آن را در وضعیت به اصطلاح خوابیده قرار می دهد. فاصله بین تسمه و سطح صفحه دورانی متناسب با انـ ازه میوه بر اساس قطر میانگین آن به صورت پلکانی و به ترتیب کوچک، متوسط و بزرگ در جهت چرخش صفحه تنظیم می شود. میوه ها متناسب با اندازه خود از فاصله بین تسمه و صفحه عبور کرده و به داخل سینی های دریافت کننده می ریزند و درجه بندی می شوند. کارایی یک سیستم درجه بندی را می توان با تعیین میوه های درست درجه بندی شده مورد ارزیابی قرار داد[۵].

بنابراین هدف از اجرای این تحقیق، طراحی و ساخت یک دستگاه درجه بندی مرکبات بر اساس مکانیزم صفحه دورانی با سطح شیب دارمی باشد که بتواند میوه را در سه گروه درجه بندی کند. بعلاوه، تعیین سرعت چرخشی مناسب صفحه دورانی و ارزیابی عملکرد دستگاه با برآورد نسبت خطای میانگین، بازده و کارایی دستگاه.

واد و روشها

دستگاه درجه بند و روش کار آن

نمونه ساخته شده دستگاه درجه بندی مرکبات و اجزای مختلف آن در شکل ۱ نشان داده شده است. شاسی دستگاه از نبشی فولادی ۳۰×۳۰ به طول ۷۰۰، عرض ۷۰۰ و ارتفاع ۹۰۰ میلی متر تشکیل شده است. صفحه دورانی به قطر ۷۰۰ میلی متر از جنس ورق فولادی به ضخامت ۲/۵ میلی متر که در قسمت بالایی توسط یک لایه فوم پوشانده شده و به صورت یک سطح شیب دار نیمه مخروطی با شیب ۱۰٪ درآمده است. بعلاوه، در قسمت زیرین با میله گرد به صورت شعاعی و ضربدری تقویت شده است. در زیر صفحه و در مرکز آن یک محور به قطر ۲۰ میلی متر نصب شده که در انتهای محور یک چرخدنده قرار دارد و حرکت را از طریق زنجیر از الکتروموتور به صفحه منتقل می کند. دو تسمه که بین آنها یک لایه لاستیکی فشرده قرار دارد به عنوان تسمه

حایل نقش جداکننده را ایفا می کند و به صورت پلکانی و مستقل در قسمت انتهایی و بالای صفحه دورانی با قابلیت تنظیم به شاسی نصب شده است. الکتروموتور ۰/۵ اسب بخار به عنوان تامین کننده حرکت دورانی صفحه از طریق چرخ دنده و زنجیر ه به یک دستگاه کنترل دور متصل است و بر روی شاسی قرار دارد. یک سینی ورودی میوه با سطح شیب دار که عرض دهانه در ابتدا ۶۰۰ میلی متر و در انتها ۴۰۰ میلی متر بوده و سه سینی خروجی میوه با عرض دهانه ورودی ۴۰۰ میلی متر و دهانه خروجی ۲۰۰ میلی متر که همگی در محیط صفحه با ترتیب معینی قرار گرفته اند و به شاسی متصل شده اند. روش کار به این صورت است که با تنظیم دور الکتروموتور توسط اینورتور، صفحه با دور در دقیقه مورد نظر چرخش می کند. وقتی میوه ها وارد سینی شده و به سطح صفحه برخورد می کنند نیروی گریز از مرکز حاصل از دوران صفحه و نیروی ثقل ناشی از شیب ، میوه ها را به سمت انتهای صفحه هدایت کرده تا اینکه با تسمه حایل برخورد می کنند. فاصله عمودی بین تسمه حایل و انتهای سطح صفحه متناسب با قطر ماکزیمم و درجه میوه، در جهت چرخش صفحه به صورت پله ای و به ترتیب برای میوه های کوچک، متوسط و بزرگ می باشد.

شکل ۱- نمونه دستگاه ساخته شده و اجزای آن

بنابراین وقتی میوه ها به سمت انتهای صفحه می آیند چنانچه در محدوده اندازه کوچک باشند از آن عبور می کنند و در سینی مربوط به همان درجه می افتند. در غیر اینصورت، در اثر نیروی تماسی و غلتشی به سمت پله بعد هدایت می شوند تا اینکه از فاصله عمودی مربوط به درجه خود عبور نمایند.

آزمایش و ارزیابی دستگاه

آزمایش دستگاه درجه بندی با استفاده از پرتقال رقم تامسون انجام گرفت. سه جعبه پرتقال به صورت تصادفی خریداری شد و تعداد ۹۰ عدد از میان آنها در سه دسته ۳۰ تایی با توجه به قطر متوسط اندازه گیری شدند. سپس این دسته ها را بر حسب درجه ۱، ۲ و ۳ برچسب زده و وزن کل و نیز وزن هر دسته ثبت گردید و مجددا مخلوط شد. برای انجام آزمایش، ابتدا فرکانس مورد نظر در دستگاه اینورتور برای ۳۰ دور در دقیقه صفحه تنظیم شد. میوه ها به صورت دسته های ۴ الی ۶ تایی داخل سینی ورودی ریخته شد. زمان شروع ورود میوه به دستگاه تا پایان آن توسط یک کرونومتر ثبت گردید. سپس میوه های درست و نادرست وارد شده در سینی های خروجی هر درجه مشخص و ثبت گردید. بعلاوه وزن میوه ها در هر سینی و تعداد کل آنها نیز تعیین شد. هر آزمایش سه بار تکرار شد و برای دورهای ۳۵، ۴۰ و ۴۵ دور در دقیقه نیز آزمایش به همین ترتیب انجام گرفت. داده های بدست آمده برای ارزیابی دستگاه مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی عملکرد دستگاه در چهار سرعت مختلف صفحه و با برآورد پارامترهای عملکرد مانند نسبت میانگین خطا، بازده و ظرفیت که توسط Peleg در سال ۱۹۸۵ ارائه شد به صورت زیر محاسبه گردید:

$$E_{mr} = \frac{\sum N_{ij}}{\sum N_i} \quad (۱)$$

$$R = \frac{\sum P_{gi} W_i G_i}{Q P_i} \quad (۲)$$

$$Q = \frac{W_t}{t} \quad (۳)$$

که در این فرمولها داریم:

$$P_{gi} = \frac{N_{gi}}{N_{ti}}$$

$$W_i = \frac{K_i P_i}{\sum K_i P_i}$$

$$G_i = \frac{w_i}{t}$$

$$P_i = \frac{N_i}{\sum N_i}$$

$$N_{ti} = N_{gi} + N_{ij}$$

E_{mr} = نسبت خطای میانگین

R = بازده دستگاه (٪)

Q = ظرفیت دستگاه درجه بند (kg/h)

N_{ij} = تعداد میوه درجه i که وارد سینی درجه j شده است

N_i = تعداد میوه های درجه i وارد شده به ماشین

$\sum N_i$ = کل تعداد میوه های وارد شده به دستگاه

P_{gi} = نسبت میوه درجه i به کل میوه های وارد شده به سطنی درجه i

N_{gi} = تعداد میوه درجه i که به طور صحیح وارد سینی درجه i شده است

N_{ti} = تعداد کل میوه وارد شده به سینی درجه i

W_i = تابع وزنی

K_i = ارزش نسبی درجه i

P_i = نسبت میوه های اندازه i به کل میوه ها در شروع درجه بندی

G_i = سرعت درجه بندی میوه اندازه i (کیلوگرم در ساعت)

w_i = وزن کل میوه در سینی درجه i

W_t = وزن کل میوه مطابق با $\sum N_i$

t = زمان درجه بندی

نتایج و بحث

مقادیر مربوط به برخی مشخصات فیزیکی اندازه گیری شده برای پرتقال رقم تامسون در سه درجه کوچک (۳)، متوسط (۲) و بزرگ (۱) در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی پرتقال رقم تامسون

مشخصه فیزیکی	درجه ۳ (۷۲-۵۹)				درجه۲ (۸۶-۷۳)				درجه ۱ (۱۰۵-۸۷)			
	max	min	avg	SD	max	min	avg	SD	max	min	avg	SD
میانگین قطرهای افقی (mm)	۷۲	۵۹	۶۶/۲	۳/۸	۸۶	۷۳	۸۰/۹	۴/۶۷	۹۹/۸	۸۶/۸	۹۱/۴	۳/۴۹
قطر عمودی (mm)	۸۰/۳	۶۱/۸	۶۹/۷	۶/۳	۹۲/۹	۷۴	۸۳/۴	۵/۱۱	۱۰۲/۷	۸۳	۹۲	۵/۵
میانگین قطر هندسی (mm)	۷۴/۹	۵۹/۹	۶۷/۳	۳/۶۲	۸۸/۲	۷۳/۳	۸۱/۷	۴/۱۵	۱۰۰/۷	۸۵/۵	۹۱/۶	۳/۴۳
کرویت (٪)	۹۲/۵	۹۶/۹	۹۶/۵	۱/۱۲	۹۴/۹	۹۹	۹۷/۹	۱/۱	۹۸	۹۷	۹۹/۵	۰/۳
جرم (g)	۱۹۴/۳	۱۰۱/۲	۱۵۱/۳	۲۶/۱	۳۲۸/۱	۱۹۰/۳	۲۶۳/۱	۴۴/۸	۴۹۳/۳	۲۹۹/۳	۲۵۳/۵	۴۷/۵
حجم (cm^3)	۲۰۰	۱۰۰	۱۶۵	۳۲/۲	۴۳۰	۲۰۵	۲۹۱/۵	۵۹/۸	۶۰۰	۳۰۰	۳۹۲/۳	۵۵/۲

داده ها برای هر درجه از اندازه های ۳۰ عدد پرتقال بدست آمده است

با توجه به محدوده مقادیر مربوط به هر درجه، فاصله عمودی تسمه حایل و سطح صفحه دورانی در حد بالای این محدوده متناسب با قطر ماکزیمم تنظیم می شود. دلیل آن این است که چرخش میوه روی سطح صفحه آن را در راستای قطرهای افقی که معمولا کوچکتر از قطر عمودی است قرار می دهد. بنابراین در پله اول که مربوط به درجه ۳ می باشد این فاصله به میزان ۷۲ میلی متر، در پله دوم مربوط به درجه دو، ۸۶ میلی متر و در پله سوم مربوط به درجه یک، ۱۰۰ میلی متر تنظیم و تثبیت می شود.

نتایج مربوط به آزمایش و ارزیابی دستگاه در جدول ۲ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می شود تغییرات سرعت دورانی صفحه مقادیر نسبت خطای میانگین را تحت تاثیر قرار می دهد. بیشترین مقدار خطا در سرعت ۳۰ دور در دقیقه بدست آمد. این امر ممکن است بدلیل کم بودن نیروی گریز از مرکز صفحه و در نتیجه چرخش درجای میوه روی سطح صفحه باشد که موجب رد شدن میوه قبل از رسیدن به محل عبور خود می شود. بنظر می رسد که با افزایش شیب سطح صفحه می توان خطا در سرعت کم را کاهش داد. از سوی دیگر با افزایش سرعت صفحه می توان سرعت تغذیه دستگاه را نیزافزایش داد منوط به اینکه خطای دستگاه در حد مورد قبول باشد که این امر در سرعت ۴۰ دور در دقیقه بدست آمده است. احتمالا، علت افزایش خطا در سرعت ۴۵ دور در دقیقه رد شدن آن بدلیل سرعت سریع میوه و نداشتن فرصت کافی برای قرار گرفتن در محدوده درجه مربوط به خود باشد.

جدول ۲- مقادیر مربوط به پارامترهای عملکرد دستگاه برای دورهای مختلف صفحه

عامل	دور در دقیقه صفحه			
	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
نسبت میانگین خطا (٪)	۱۸	۱۶/۶	۱۱/۱	۱۴/۳
زمان شروع تا اتمام درجه بندی (min)	۲/۴۳	۲/۰۷	۱/۳۷	۱/۱۳
ظرفیت کل دستگاه (kg/h)	۵۶۰	۶۵۵	۱۰۱۲	۱۲۰۰
بازده دستگاه (٪)	۹۱	۹۲/۴	۹۴	۸۲/۸

هر داده میانگین سه تکرار می باشند

از نتایج جدول ۲ پیداست که علارغم اینکه دستگاه در سرعت ۴۵ دور در دقیقه بیشترین ظرفیت را دارد اما کمترین خطا به میزان ۱۱/۱ درصد و بیشترین بازده به میزان ۹۴ درصد با ظرفیت ۱۰۱۲ کیلو گرم در ساعت در سرعت ۴۰ دور در دقیقه بدست آمد. بنابراین ترجیح داده می شود که سرعت ۴۰ دور در دقیقه به عنوان سرعت مناسب برای طرح نهایی مورد استفاده قرار گیرد.

در این دستگاه، اصلاح دو عامل یعنی شیب صفحه و طرح تسمه حایل، در نمونه اولیه می تواند تا حدود زیادی کارایی را افزایش دهد. شیب سطح صفحه دورانی ده درصد می باشد که تا نیمه های صفحه از مرکز امتداد دارد. در طی آزمایش مشخص شد که

شیب می تواند تاثیر زیادی روی درجه بندی داشته باشد، از این رو بهتر است شیبهای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد و نیز شیب تا انتهای صفحه امتداد پیدا کند. به جای استفاده از تسمه های ثابت می توان از غلتکهای دوار پلاستیکی نیز استفاده کرد کـه عمـل چرخش آنها نقش بیرون انداز را برای میوه های با اندازه های نامتناسب ایفا می کند و موجب کـارایی بهتـر مـی شـود. بخـشی از خطای حاصل از آزمایش دستگاه ناشی از تغذیه غیر یکنواخت و ناپیوسته می باشد که ایـن مـشکل در صـورت قرارگیـری در خـط کامل درجه بندی در کارگاه برطرف می شود یا در صورت استفاده بطور مجزا بایستی برای تغذیه یکنواخت میـوه از چنـد غلتـک و نقاله استفاده کرد.

نتیجه گیری

استفاده از ترکیب نیروی گریز از مرکز و ثقل می تواند روش موثری در درجه بندی میوه های با شکل نسبتا کروی همانند مرکبات باشد. نتایج آزمایش و ارزیابی دستگاه درجه بندی مرکبات بر اساس اندازه نشان داد که سرعتهای مختلف صفحه عملکرد دستگاه را تحت تاثیر قرار می دهند. از میان چهار سرعت انتخابی صفحه (۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ دور در دقیقه) بهترین عملکرد در سرعت ۴۰ دور در دقیقه بدست آمد بطوریکه در این سرعت نسبت میانگین خطا ۱۱/۱٪، بازده ۹۴٪ و ظرفیت دسـتگاه ۱۰۱۲ کیلـوگرم در سـاعت بدست آمد.

کلیه هزینه های طراحی و ساخت و آزمایش نمونه اولیه حدود سه میلیون ریال برآورد شد که در صورت تولید تجارتی و بـا ابعـاد و ظرفیت بزرگتر این دستگاه بسیار ارزانتر از انواع دستگاه های دیگر هم اندازه خواهد بود. بـا توجـه بـه ایـن کـه بـسیاری از تولیـد کنندگان مرکبات در سطوح کم و متوسط تولید قرار دارند استفاده از دستگاه های کارآمد و با قیمت مناسب اهمیت زیادی پیدا مـی کند.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی مجتمع علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه مازندران بخاطر حمایت مالی در اجرای ایـن تحقیـق تشکر وسپاسگزاری می شود.

منابع

۱- آمارنامه کشاورزی ایران در سال ۱۳۸۵، نتشارات وزارت جهاد کشاورزی، تهران، ایران.

2- Bakker- Arkema, F.W., DeBaerdemaeker, J. 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Published by ASAE, Michigan, USA.

3- Hilton, D.J. 1999. Processing of fruit and vegetable. Agricultural Engineering Handbook, ASAE, Michigan Section IV. 3.2.

4- Jarimopas, B., Toomsaengton, S., Inprasit, C. 2007. Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine. Journal of Food Engineering. 79, 745-751.

5- McRay, D.C., Glasbey, C.A., Melrose, H. 1986. Size grading methods and their relationship to the dimensions, mass and volume characteristics of potato cultivars. Potato Research. 29, 477-486.

6- Mohsenin, N.N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. PP. 20-89.

7- Peleg, K. 1985. Produce handling, packaging and distribution. The AVI publication Company Inc., Westport, Connecticut, pp. 20-90.

8- Tabatabaeefar, A., Vefagh-Nematolahi, A., Rajabipor, A. 2000. Modeling of orange mass based on dimensions. Agic. Sci. Tech. 2, 299-305.

9- Studman, C.J., 2001. Computers and electronics in post harvest technology, Computers and Electronics in Agriculture. 30, 109-124.

Citrus grading with centrifugal and gravitational force

R. tabatabaekoloor
S.J. Hashemi

Abstract
A citrus size grading machine was developed and evaluated. Rotation of a semi-conical surface disc resulted in centrifugal and gravitational force to move fruit to the disc periphery. A metering board with gaps of increasing size arranged along the periphery of the disc. Fruits are fed onto one section of the rotating disc and move toward the periphery until contact with the metering board is attained. Otherwise, the tangential force rolls the fruit along the metering board were they are sized and allowed to drop through gaps. Experiment was conducted on oranges (Thompson variety) at four disc speed (30, 35, 40 and 45 rpm) and performance parameters such as, mean error ratio, efficiency and throughput capacity was determined. Results showed that the best performance was obtained at the disc speed of 40 rpm with mean error ratio of 11.1%, efficiency of 94% and throughput capacity of 1012 kg/h.

Keywords: grading machine, sorting, citrus, centrifugal force