# طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین خودکار درجه‌بندی وزنی سیب

**هیوا گل‌پیرا[۱]*، هیمن گل‌پیرا[۲] و بختیار حسین‌زاده[۲]**

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۲۰

۱- استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲- استادیاران گروه مهندسی برق، دانشگاه کردستان

*مسئول مکاتبه E-mail:h.golpira@uok.ac.ir

**چکیده**

هدف از اجرای این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین خودکار درجه‌بندی وزنی سیب است. در این راستا یک ماشین درجه‌بندی در سال ۱۳۸۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان طراحی و ساخته شد که در آن پس از توزین و پردازش داده‌ها، میوه به داخل کانال انتقال هدایت شده و از آنجا به یکی از ۶ خروجی تعبیه شده در کانال انتقال یافته و درجه‌بندی انجام می‌گیرد. آزمایش تعیین ارتفاع بحرانی سقوط میوه برای ایجاد کوفتگی در میوه بر روی سطح فولادی انجام گرفت و ارتفاع بحرانی سیب نوع گلاب محلی شش سانتی‌متر تعیین شد. برای جلوگیری از ایجاد صدمات مکانیکی در میوه سیب، زاویه شیب کانال انتقال میوه ۲۲ درجه تعیین گردید که در این شیب سرعت حرکت میوه در داخل کانال یک متر بر ثانیه می‌باشد. پس از بررسی تئوری نیروی ضربه وارد بر میوه در کانال مشخص شد که ماشین هیچ صدمه‌ای در طول فرآیند درجه‌بندی به میوه نمی‌رساند. این مطلب با نتایج آزمایشهای ارزیابی ماشین برای بررسی صدمات مکانیکی وارد بر میوه در طول فرآیند درجه‌بندی کاملاً مطابقت داشت.

**واژه‌های کلیدی**: درجه‌بندی، ساخت، سیب، طراحی، کوفتگی

# Design, Development and Evaluation of Weight Sorting Automatic Machine for Apple

**H Golpira[1*], H Golpira[2] and B Hoseinzadeh[2]**

[1]Asistance Professor, Department of Mechanics of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
[2]Asistance Professors, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kurdistan University, Sanandaj, Iran
*Corresponding author: E-mail: h.golpira@uok.ac.ir

**Abstract**

The objective of this study was the design, development and evaluation of weight sorting automatic machine for apple. A sorting machine was designed and developed in Kurdistan University, Faculty of Agriculture in 2003. After weighting and data processing, fruit was delivered through conveying duct to one of the six inserted gates for sorting. The apple bruising critical height of drop was statistically determined on steel plate. This critical height was 6 cm for a local variety of apple called Golab. To avoid mechanical damage in fruit the duct slope angle fixed at 22 degree thereby the fruit velocity at 1 m/s. Theoretical impact force analyzing on fruit in the duct showed that the machine has no harmful effect on fruit in sorting process. It was approved by actual results of machine evaluation.

**Key Words**: Apple, Automatic, Bruising, Design, Sorting

**مقدمه**

صنایع غذایی با ارزشی معادل ۲/۲ تریلیون دلار در سال مهمترین صنعت در اقتصاد دنیا محسوب می‌شود و پیش‌بینی شده که در سال ۲۰۲۸ این رقم به ۱۰ تریلیون دلار برسد. درجه‌بندی میوه‌ها نیز در چرخه عملیات پس از برداشت بوده و باعث افزایش ارزش نهایی محصول می‌گردد (گلوب و همکاران ۲۰۰۲). درجه‌بندی، عمل جداسازی میوه‌ها و دسته‌بندی آنها بر اساس رنگ، رسیدگی یا سایر فاکتورهای کیفی است (ریچی و همکاران ۱۹۶۱). میوه‌هایی که دارای شکل نسبتاً یکنواخت نبوده یا میوه‌هایی مثل سیب که به سادگی له می‌شوند بهتر است درجه‌بندی آنها بر اساس وزن میوه انجام گیرد (گلوب و همکاران ۲۰۰۲). این نوع درجه‌بندی نسبت به درجه‌بندی بر اساس اندازه دقت بیشتری داشته و صدمه کمتری به میوه وارد می‌نماید (ریچی و همکاران ۱۹۶۱). محسنین (۱۹۷۰) از استفاده از خصوصیات بازتاب نور در محصولات کشاورزی برای دانه‌بندی سیب‌زمینی خبر داد. تاو و همکاران (۱۹۹۵)، بلاسکو و همکاران (۲۰۰۳)، کلینن و همکاران (۲۰۰۳) و رائو و رناناتان (۲۰۰۳)، از روش ماشین بینایی برای دانه‌بندی میوه‌ها استفاده کردند. پلگ (۱۹۹۹) جهت دستیابی به میوه‌های یکنواخت با کیفیت بالا یک ماشین درجه‌بندی طراحی نمود که بر اساس سفتی و رسیدگی میوه کار می‌کند. هان و همکاران (۲۰۰۴) از ساخت ماشینی برای درجه‌بندی میوه انبه بر اساس سفتی میوه خبر دادند که میوه‌ها را به سه دسته سخت، نرم و خیلی نرم طبقه‌بندی

می‌کند. کوفتگی ناشی از تنش وارد بر میوه یکی از نکات مهمی است که در طراحی این ماشین‌ها باید به آن توجه داشت. گارسیا و همکاران (۱۹۸۸) بیان کردند وقتی یک میوه با سطح سخت برخورد می‌کند نیروی وارد بر آن به ضریب پویسن، مدول الاستیسیته، انحنا، جرم میوه و سرعت برخورد بستگی دارد. زی‌بروک و همکاران (۲۰۰۷آ) در بررسی تنش و کرنش در میوه‌ها، آنها را به عنوان مواد الاستیک، الاستوپلاستیک یا ویسکوالاستیک در نظر گرفته‌اند. هامان (۱۹۶۷) مدول الاستیسیته سیب را ۱۸ مگاپاسکال و ضریب پویسن آن را ۰/۲۱۹ بیان نموده است. مسعودی و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی ضریب الاستیسیته سه رقم سیب با استفاده از آزمون نفوذسنجی دریافتند که ضریب الاستیسیته ظاهری سیب گلدن دلیشز ۰/۵۵، رد دلیشز ۰/۷۰ و گرانی اسمیت ۰/۹۸ مگاپاسکال است. گوتیرز و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی نیروهای وارد بر میوه هلو با استفاده از نیروسنج در فرآیند درجه‌بندی پرداختند. تغییر رنگ و نرم شدن بافت آسیب دیده که وابسته به زمان پس از آسیب‌دیدگی است بر روی فرآیند دانه‌بندی میوه موثر است (زینگ و همکاران ۲۰۰۶). تغییر رنگ میوه ناشی از ضربه بلافاصله قابل دید نخواهد بود اما چنانچه سطح ضربه دیده بعد از چند ساعت برش زده شود سطح لکه‌داری به رنگ قهوه‌ای مشاهده خواهد شد (محسنین ۱۹۶۲). در این طرح برای طراحی و ساخت ماشین درجه‌بندی سیب به بررسی فرآیند درجه‌بندی میوه‌ها، صدمات مکانیکی وارد بر میوه و روش‌های بررسی آنها پرداخته شده است. با توجه به این که وزن یکی از خصوصیات فیزیکی میوه بوده که به سادگی قابل اندازه‌گیری است و استفاده از آن به دلیل هزینه کم و استفاده نکردن از اشعه‌های مختلف بر سایر روش‌ها ارجحیت دارد، در این طرح مبنای درجه‌بندی میوه قرار گرفته تا با استفاده از آن بتوان ماشین مناسبی برای درجه‌بندی وزنی سیب طراحی نمود.

## مواد و روش‌ها

این طرح در چهار مرحله تعیین ارتفاع بحرانی سقوط میوه سیب، طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین به مدت سه سال در دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به اجرا درآمد. برای تعیین ارتفاع بحرانی سقوط، آزمایش‌هایی بر روی سیب گلاب محلی، دست‌چین شده از باغ‌های اطراف شهر سنندج در استان کردستان و در تابستان سال ۱۳۸۳ انجام گرفت. پس از برداشت، میوه‌هایی انتخاب گردیدند که فاقد هر گونه کوفتگی بوده و در زمان برداشت و حمل هم دقت لازم برای جلوگیری از اعمال ضربه و خسارت به آنها به عمل آمد. سیب‌های توزین شده با استفاده از یک ترازو با دقت یکدهم گرم، وزنی بین ۴۰ تا ۱۳۰ گرم داشتند. قطر میوه در سه جهت عمود بر هم با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه زیر اندازه میوه تعیین گردید (توکلی۱۳۸۲):

$$R = (abc)^{1/3} \qquad [۱]$$

که در آن:

$a,b,c$: اندازه‌های میوه در سه جهت عمود بر هم $(m)$

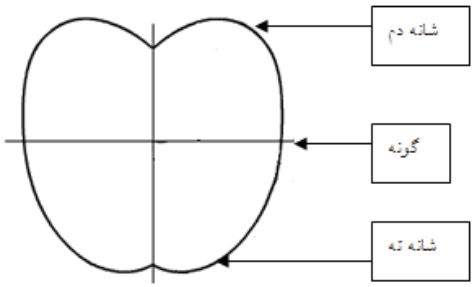
$R$: اندازه میوه $(m)$

شعاع میوه را با فرض کروی بودن آن می‌توان نصف اندازه آن در نظر گرفت.

## تعیین ارتفاع بحرانی سقوط میوه

در اندازه‌گیری تنش استاتیکی از تجهیزات آزمایشگاهی متداول استفاده می‌شود اما تقریبا" در هیچکدام از تحقیقات انجام شده از این وسایل برای تعیین تنش دینامیکی استفاده نشده و در حال حاضر هم هیچ روش استانداردی برای تعیین ضربه وارد بر محصولات کشاورزی ارجح بر سایر روش‌ها پیشنهاد نشده است. در این میان استفاده از دو روش متداول‌تر است: روش برخورد با سطح سخت و روش پاندول (زی بروک و همکاران ب۲۰۰۷). در صورتی که تنش ناشی از اعمال ضربه بر میوه بیشتر از حد مجاز باشد این تنش

منجر به ایجاد کوفتگی در میوه می‌گردد. برای تعیین ارتفاع بحرانی سقوط میوه به منظور ایجاد کوفتگی در آن، از روش برخورد با سطح سخت استفاده گردید. میوه طوری رها شد که ضربه به قسمت گونه میوه وارد شود (شکل ۱) و پس از ۲۴ ساعت لکزدگی میوه‌ها مورد بررسی و شمارش قرار گرفتند (لویس و همکاران ب ۲۰۰۷).

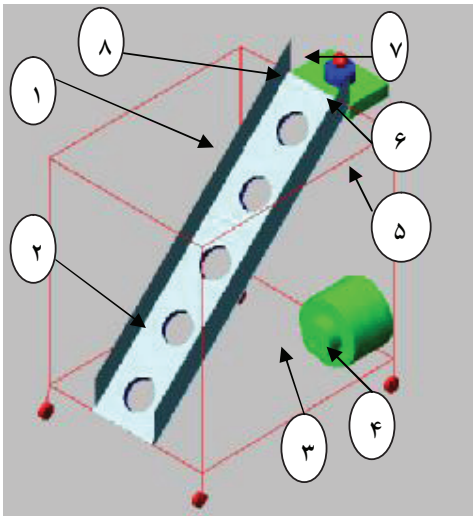



**شکل ۱- شکل ساده میوه سیب**

در این آزمایش میوه‌ها از ارتفاع‌های ۵، ۶ و ۷ سانتی‌متر و در سه تکرار (برداشت میوه‌ها در سه روز) بر روی سطح سقوط آزاد داشته سپس کوفتگی میوه‌ها با تیمار شاهد مقایسه گردیدند. از آنجا که سطح استاندارد صنعتی قابل قبول کوفتگی میوه سیب ۱۰۰ میلیمتر مربع است (لویس و همکاران ب۲۰۰۷) و لکه‌های کوچکتر از این سطح را با چشم غیر مسلح نیز می‌توان دید در این آزمایش‌ها برای تعیین و تشخیص کوفتگی‌ها از مشاهده عینی استفاده شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا" تصادفی به اجرا درآمده و برای انجام تجزیه‌های آماری از آزمون ANOVA در نرم‌افزار MATLAB استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (L.S.D.) انجام گرفت. برای واضح‌تر شدن محاسبات طراحی ماشین، ابتدا به ساختمان ماشین پرداخته سپس محاسبات مرتبط بررسی می‌گردد.

### ساختمان ماشین

ماشین از دو واحد توزین و انتقال مواد تشکیل شده است (شکل‌های ۲ و ۳). واحد انتقال مواد از یک ناودانی از جنس ورق آهن گالوانیزه با ضخامت ۱ میلی‌متر و به ابعاد ۲۰۰ × ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر ساخته شد.




**شکل ۲- طرحوارهٔ ماشین درجه‌بندی میوه شامل ۱. کانال انتقال ۲. دریچه خروجی ۳. پمپ باد ٤. مخزن هوا ٥. شاسی ٦. واحد کنترل ۷. میوه ۸. واحد توزین**

**شکل ۳- ماشین درجه‌بندی میوه سیب**

این ناودانی به صورت شیب‌دار بر روی یک شاسی قرار گرفته تا میوه‌ها با استفاده از نیروی وزن بتوانند به سادگی در کانال حرکت نموده و در خروجی‌های مربوطه قرار گیرند. در کف این ناودانی شش عدد سوراخ مستطیلی به طول ۳۰ و عرض ۲۸ سانتی‌متر تعبیه شده است. در این سوراخ‌ها دریچه‌هایی به شکل لولایی قرار گرفته که این دریچه‌ها در حالت عادی بسته بوده و سوراخ‌های کف کانال را کا ملا" می‌پوشانند. در زیر هر دریچه یک کارانداز بادی قرار می‌گیرد که انتهای

پیستون کارانداز به یک طرف دریچه به صورت لولایی متصل گردیده و با باز و بسته شدن کارانداز ، دریچه نیز باز و بسته می‌گردد. در زیر هر دریچه خروجی یک شیر مغناطیسی و یک کارانداز دوطرفه بادی با کورس ۸۰ میلی‌متر و قطر پیستون ۲۵ میلی‌متر قرارگرفته است. این شیر جهت ورود جریان هوا را به سر یا ته کارانداز تعیین نموده، فرمان راه‌اندازی آن توسط واحد توزین و بر اساس محدوده وزنی میوه صادر می‌گردد. یک پمپ باد دوسیلندر جریان تولیدی هوا را به داخل یک مخزن ۲۰۰ لیتری هدایت نموده و از آنجا در اختیار کاراندازها قرار می‌دهد. یک شیر کنترل جریان، دبی هوای ورودی به کاراندازها را کنترل کرده به این ترتیب سرعت بازوبسته شدن کاراندازها را می‌توان کنترل نمود تا سرعت زیاد بازوبسته شدن کاراندازها باعث ایجاد ارتعاش در ماشین نگردد. تمام اجزاء فوق (غیر از مخزن هوا) بر روی یک شاسی از جنس قوطی ۲ و به ابعاد ۲۰۰ ×۷۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر قرار گرفته است (شکل ۴).

**شکل ٤- کارانداز بادی نصب شده برروی دریچه خروجی**

اندازه‌گیری وزن میوه توسط یک لود سل[1] سنجش وزن با حساسیت یک میلی‌ولت بر ولت و ظرفیت اندازه‌گیری دو کیلوگرم نیرو انجام می‌گیرد. خروجی لودسل پس از تقویت و حذف سیگنال‌های اضافی با استفاده از مبدل آنالوگ به دیجیتال[2] به صورت دیجیتالی درآمده و سیگنال خروجی جهت طبقه‌بندی به یک میکروکنترلر[3] انتقال داده شد. میکروکنترلر از نوع (ات مگا۳۲)[4] بوده که با استفاده از نرم افزار بسکام[5] در محیط بیسیک[6] برنامه‌ریزی گردیده بود. این مدار طوری طراحی شده که می‌توان محدوده وزنی دسته‌ها و زمان باز بودن دریچه‌ها را تغییر داده و آنها را بر اساس نیاز تنظیم نمود. به این ترتیب می‌توان دانه‌بندی میوه‌های مختلف را در دسته‌های دلخواه انجام داد. در این طرح میوه‌ها به شش دسته وزنی تقسیم‌بندی شدند:

$$۴۰ \leq x$$
$$۴۰ \prec x \geq ۶۰$$
$$۶۰ \prec x \geq ۸۰$$
$$۸۰ \prec x \geq ۱۰۰$$
$$۱۰۰ \prec x \geq ۱۲۰$$
$$x \prec ۱۲۰$$

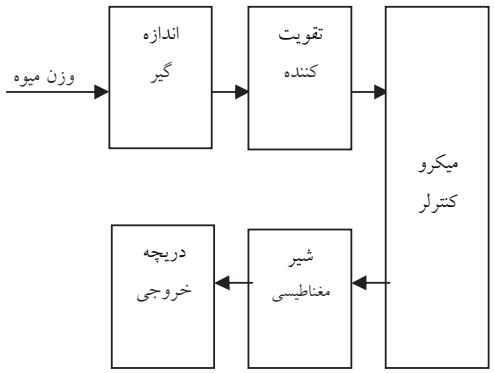
که در آن:

$x$: وزن میوه $(gr)$

بسته به وزن میوه جریانی از این مدار به کلید کارانداز یکی از کاراندازها ارسال شده و بدین ترتیب جریان هوا به انتهای کارانداز وارد شده، دریچه کانال باز و میوه به داخل خروجی مربوطه هدایت می‌گردد. پس از عبور میوه از دریچه، جریان کارانداز قطع شده و جریان هوا به سر دیگر کارانداز وارد می‌شود. در این حالت پیستون کارانداز به سمت خارج حرکت نموده و دریچه خروجی را می‌بندد تا سیستم برای توزین و درجه‌بندی مجدد آماده گردد. چون در این سازوکار ورودی با خروجی مقایسه نمی‌شود و خروجی بر عمل کنترل تاثیری ندارد سازوکار از نوع کنترل حلقه باز است (کافی ۱۳۷۴) که شکل شماتیک آن در زیر آمده است (شکل ۵). برای کاهش سیگنال‌های مزاحم در مدار الکترونیکی، واحد توزین بر روی یک شاسی مجزا از شاسی اصلی قرار گرفته تا ارتعاشات موجود در

[1] Load cell
[2] ADC
[3] Microcontroller
[4] ATMEGA32
[5] BASCOM
[6] BASIC

سازوکار انتقال باعث اخلال در کار اندازه‌گیری این واحد نگردد.




**شکل ۵- طرحوارهٔ کنترل حلقه باز ماشین درجه‌بندی**

**شیب کانال**

شیب کانال انتقال میوه باید طوری باشد که میوه در اثر حرکت در داخل آن دچار کوفتگی نگردد. ارتفاع میوه در ورودی کانال انرژی پتانسیل ذخیره شده در جسم را نشان می‌دهد که هنگامی که میوه در کانال حرکت نموده و به داخل دریچه سقوط می‌کند این انرژی به صورت انرژی جنبشی درمی‌آید. با توجه به این که کوفتگی میوه رابطه مستقیمی با انرژی جذب شده توسط میوه دارد (زی بروک و همکاران ب۲۰۰۷) می‌توان فرض کرد که صدمات مکانیکی وارد بر میوه در طول کانال تا رسیدن به دریچه مورد نظر برابر با صدمات مکانیکی ناشی از سقوط از ارتفاع معادل این تغییر مکان است. بنابراین اختلاف ارتفاع ورودی کانال و آخرین دریچه خروجی نباید بیشتر از ۶ سانتی‌متر (این ارتفاع نتیجه آزمایش سقوط میوه می‌باشد که در ذیل آمده است) باشد. از آنجا که مجموع زمان لازم برای توزین و پاسخگویی کارانداز بسیار کم بوده و این زمان به وسیله زمان حرکت میوه در کانال پوشش می‌یابد لذا هر چه شیب کانال بیشتر شود سرعت حرکت میوه در داخل کانال نیز بیشتر شده و ظرفیت ماشین نیز افزایش می‌یابد اما روی کیفیت درجه‌بندی موثر نیست. سرعت میوه در هنگام ورود آن به دریچه خروجی با صرفنظر کردن از مقاومت هوا و اصطکاک‌های ناشی از برخورد میوه با دیواره کانال و اصطکاک بین میوه و دیواره کانال برابر است با (توکلی ۱۳۸۲):

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \qquad [۳]$$

که در آن:

$v$: سرعت میوه در مدخل دریچه خروجی $\left(m/s\right)$

$g$: شتاب جاذبه زمین $\left(m/s^2\right)$

$h$: اختلاف ارتفاع دریچه با ورودی کانال $(m)$

$m$: جرم میوه $(kg)$

نظر به این که اختلاف ارتفاع میوه در ورودی کانال و آخرین دریچه خروجی، ۶ سانتی‌متر است سرعت میوه در مدخل خروجی دریچه شماره ۶ برابر با یک متر بر ثانیه محاسبه گردید. سرعت میوه در پنج دریچه دیگر کمتر از این مقدار بوده به همین دلیل در محاسبات فقط سرعت میوه در دریچه شماره شش که بیشترین احتمال صدمات مکانیکی را دارد مورد بحث قرار گرفته است. از آنجا که طول کانال ۲ متر و اختلاف ارتفاع ورودی و خروجی آن ۰/۰۶ متر است زاویه کانال با سطح افق باید کمتر از ۲۳ درجه باشد. به عبارت دیگر برای این که در انتهای کانال سرعت میوه از یک متر بر ثانیه بیشتر نگردد شیب کانال نباید بیشتر از ۰/۴۲ *باشد*. افزایش شیب کانال باعث افزایش سرعت میوه شده، احتمال آسیب‌دیدگی میوه را افزایش می‌دهد. در صورتی که در این سرعت میوه با یک سطح سخت برخورد نماید، ضربه وارد بر میوه منجر به ایجاد تنش در آن می‌گردد. در سال ۱۸۹۶ هرتز (هرتز ۱۸۹۶) راه حلی برای مسئله تنش‌های بوجود آمده در اجسام، ناشی از برخورد دو جسم همگن الاستیک (از جمله دو کره هم جنس که با هم برخورد دارند) ارائه داد ( محسنین ۱۹۶۲). این تجزیه و تحلیل گرچه بر اساس الاستیک بودن جسم و استاتیک بودن نیرو استوار بود اما به طور گسترده‌ای در مورد برخورد مواد ویسکوالاستیک نیز (از جمله سیب) که در

آنها تغییر شکل دائم در اثر اعمال نیرو به وجود می‌آید به کار گرفته شد (گولداسمیت ۱۹۶۰ و دینتوا و همکاران ۲۰۰۸). آزمایش‌های انجام شده، صحت استفاده از این تحلیل را با وجود محدودیت‌های آن برای تخمین عوامل ضربه به اثبات رسانده است (گولداسمیت ۱۹۶۰). تجزیه و تحلیل ضربه برخورد یک کره الاستیک با یک صفحه سخت، نیروی ضربه را به شرح ذیل نشان می‌دهد (گولداسمیت ۱۹۶۰ و لویس آ۲۰۰۷):

$$P_{\max} = K_h \delta_{\max}^{1.5} \qquad [۴]$$

که در آن:

$$\delta_{\max} = \left( \frac{5}{4} m \frac{v_0^2}{K_h} \right)^{0.4} \qquad [۵]$$

$$K_h = \frac{3}{4} R^{0.5} \frac{E}{\left(1-\nu^2\right)} \qquad [۶]$$

$m$: جرم میوه $(kg)$

$v_0$: سرعت میوه در زمان برخورد $\left(m/s\right)$

$R$: شعاع میوه $(m)$

$E$: ضریب الاستیسیته $\left(N/m^2\right)$

$\nu$: نسبت پویسن

با جایگذاری متوسط جرم میوه معادل ۰/۰۷ کیلوگرم، سرعت میوه در زمان برخورد یک متر برثانیه، شعاع متوسط میوه ۰/۰۲۸ متر، ضریب الاستیسیته ۴ مگاپاسکال و نسبت پویسن ۰/۳ (محسنین و گولیچ ۱۹۶۲، محسنین ۱۹۷۰، ابوت و لو ۱۹۹۶، هیک ساسماز و ریزوی ۲۰۰۴) در روابط فوق نیروی ضربه وارد بر میوه که منجر به تغییر شکل دائم (کوفتگی) آن می‌گردد برابر با ٤٦ نیوتن محاسبه گردید. بیشترین نیروی مجازی که می‌تواند به میوه سیب اعمال شود ۳۵ نیوتن است اما این نیرو می‌تواند تا ۸۰ نیوتن هم قابل قبول باشد (لویس و همکاران ب۲۰۰۷). با فرض این که میوه پس از برخورد با سطح سخت از حرکت بایستد و سرعت آن به صفر برسد نیروی فوق محاسبه شده است. در این حالت بیشترین نیرو به میوه وارد شده و در سایر موارد برخورد میوه در کانال، نیروی وارد بر میوه کمتر از این مقدار خواهد بود. پس حرکت میوه در کانال در شیب و سرعت مورد نظر و درجه‌بندی آن نمی‌تواند خسارات جدی به میوه وارد نماید. این امر به صورت تجربی و با استفاده از آزمایش حرکت میوه در داخل کانال در زمان درجه‌بندی میوه در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

**ارزیابی ماشین**

پس از ساخت ماشین آزمایش‌های اولیه برای ایجاد هماهنگی بین واحد توزین و واحد انتقال میوه انجام گرفت و تغییرات و تنظیمات لازم برای کارکرد صحیح ماشین اعمال گردید. از آنجا که غیر از سرعت حرکت میوه و شیب کانال عوامل دیگری همچون نوع و صافی سطح کانال، نوع و شکل میوه، نحوه حرکت میوه در داخل کانال، تعداد و نوع برخورد میوه با دیواره کانال، طول و عرض کانال بر خسارات وارد بر میوه موثر هستند کارکرد ماشین از نظر ایجاد خسارت و ضایعات در میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در آخرین دریچه به واسطه زیاد بودن طول مسیر حرکت میوه، سرعت میوه در مدخل دریچه خروجی شماره شش بیشتر از سایر دریچه‌ها بوده ضمن این که احتمال برخورد میوه با دیواره کانال نیز بیشتر بوده که این امر احتمال آسیب‌دیدگی میوه را افزایش می‌دهد. پس از این که میوه‌ها به داخل کانال هدایت شد و از دریچه شماره شش خارج شدند، لکه‌های روی میوه و خراشیدگی پوست آنها پس از ۲۴ ساعت مورد بررسی و شمارش قرار گرفتند. برای انجام آزمایش از سیب گلاب محلی در قالب یک طرح کاملا تصادفی (انتخاب شده با روش گفته شده در بالا) در دو تیمار و سه تکرار استفاده گردید. از آنجا که سطح کانال کاملا صاف و مسطح بود هیچکدام از میوه‌ها دچار خراشیدگی نگردید. اما برای تعیین خسارت وارد بر میوه‌ها با استفاده از تجزیه واریانس به بررسی کوفتگی وارد بر میوه‌ها پرداخته شد و با کوفتگی تیمار شاهد مقایسه گردید.

**نتایج و بحث**

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها برای تعیین ارتفاع بحرانی میوه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سقوط میوه از ارتفاعهای ۵ و ۶ سانتی‌متری با تیمار شاهد از لحاظ کوفتگی میوه وجود ندارد اما اختلاف معنی‌داری بین کوفتگی میوه‌ها در سقوط از ارتفاع ۷ سانتی‌متر با تیمار شاهد و باقی تیمارها وجود دارد (جداول ۱ و ۲). بنابراین ارتفاع بحرانی سقوط آزاد میوه سیب گلاب محلی ۶ سانتی‌متر تعیین گردید و در بیشتر از این ارتفاع میوه‌ها در اثر سقوط آزاد دچار کوفتگی خواهند شد. محسنین و گولیچ (۱۹۶۲) بیشترین ارتفاع بحرانی سقوط یک واریته سیب[1] را ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع بحرانی یک واریته دیگر سیب[2] را ۰/۸ سانتی‌متر برآورد نمود. لویس و همکاران (۲۰۰۷) ارتفاع بحرانی سقوط سیب را بین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر گزارش کردند.

**جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های کوفتگی میوه سیب**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| تیمار | ۳ | ۰/۶۶ * |
| خطا | ۳۲ | ۰/۱۸ |
| کل | ۳۵ | |

*- تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪

**جدول ۲- مقایسه میانگین داده‌های کوفتگی میوه سیب در اثر سقوط از ارتفاع‌های مختلف**

| ارتفاع سقوط | ۰ | ۵ | ۶ | ۷ |
|---|---|---|---|---|
| تعداد لکه‌ها | ۰a* | ۰/۳۳a | ۰/۳۳a | ۰/۶۶ b |

*- حروف مشابه در سطر بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است

همچنین نتایج تجزیه واریانس تعیین صدمات مکانیکی وارد بر میوه (جدول ۳) توسط ماشین نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین تعداد آثار کوفتگی بوجود آمده بر روی میوه که در کانال حرکت نموده با تعداد آثار کوفتگی موجود بر تیمار شاهد، وجود ندارد و این مطلب نشان می‌دهد که دانه‌بندی میوه با این ماشین باعث ایجاد خسارت در میوه نمی‌گردد. بررسی نیروهای وارد بر میوه سیب با وزن‌های متفاوت با استفاده از رابطه [۴] نشان داد که در ارتفاع سقوط یکسان با افزایش وزن و اندازه میوه نیروی وارد بر میوه‌های سنگین‌تر، بزرگتر از نیروی وارد بر میوه‌های سبکتر است. این امر در مورد تغییر شکل میوه نیز صادق است یعنی میوه‌های سنگین‌تر تغییر شکل بیشتری دارند. به عبارت دیگر احتمال کوفتگی میوه‌های سنگین‌تر، بیشتر از میوه‌های سبک است. بنابراین برای کاهش نیروی وارد بر میوه در طول عملیات درجه‌بندی لازم است دریچه‌های ابتدای کانال را به میوه‌های سنگین‌تر و دریچه‌های آخر کانال را به میوه‌های سبکتر اختصاص داد. به این ترتیب سرعت میوه‌های بزرگتر در مدخل دریچه خروجی مربوطه کاهش یافته و نیروی ضربه و تغییر شکل آنها نیز کمتر شده، احتمال کوفتگی میوه در اثر عملیات پس از برداشت کاهش می‌یابد.

**جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های کوفتگی میوه سیب**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| تیمار | ۱ | ۰/۸۸ ns |
| خطا | ۱۶ | ۰/۳۴ |
| کل | ۱۷ | |

ns- غیر معنی‌دار

[1] Golden delicious
[2] Mcintosh

برای انجام عملیات دانه‌بندی یک میوه سیب (شامل توزین، حرکت میوه در کانال و باز و بسته شدن دریچه‌ها) ۲ ثانیه زمان لازم بوده که این زمان مربوط به حرکت میوه در طول نسبتاً زیاد کانال و بازوبسته شدن کاراندازها می‌باشد. اگر وزن متوسط هر میوه ۰/۰۷ کیلوگرم در نظر گرفته شود، ظرفیت ماشین ۱۳۰ کیلوگرم در ساعت می‌باشد. لایکین و همکاران (۱۹۹۹) یک ماشین درجه‌بندی گوجه‌فرنگی را با سرعت یک دانه در ثانیه گزارش دادند. برای کاهش این زمان و افزایش ظرفیت ماشین می‌توان از دو کانال که در دو طرف سازوکار توزین قرار دارد استفاده نمود. همچنین می‌توان کانال را به صورت حلقه‌ای به مرکز سازوکار توزین طراحی نمود تا زمان انتقال میوه کاهش یابد. از طرف دیگر هر چه طول کانال کمتر باشد سرعت میوه کمتر شده و صدمه وارد بر آن نیز کاهش می‌یابد. با توجه به این که امکان استفاده از این ماشین برای درجه‌بندی میوه‌های دیگر نیز وجود دارد بسته به نیاز می‌توان تعدادی از دریچه‌ها را غیر فعال نمود. برای درجه‌بندی میوه‌هایی که به ضربه حساس هستند می‌توان با دسته‌بندی میوه در سه دسته ریز، متوسط و درشت، طول کانال را کمتر کرده و خسارت وارد بر میوه را کاهش داد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این ماشین برای میوه‌های خانواده مرکبات که به ضربه حساسیت زیادی ندارند بسیار مناسب باشد.

**منابع مورد استفاده**


توکلی هشجین ت، ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی (ترجمه). خدمات فرهنگی سالکان.

کافی ع، ۱۳۷۴. کنترل (ترجمه). مرکز نشر دانشگاهی.

مسعودی ح، طباطبایی‌فر س ا، برقعی ع م و شاه‌بیک م ع، ۱۳۸۵. تعیین خواص مکانیکی سه رقم سیب صادراتی پس از پنج ماه انبارداری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد۷، شماره ۲۷. صفحه‌های۶۱ تا ۷۳.

Abbott JA and Lu R, 1996. Anisotropic mechanical properties of apples. Transactions of the ASAE 39:1451–1459.

Blasco J, Aleixos N and E Molto, 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. Biosystems Engineering 85(4): 415-423.

Dintwa E, Zeebroeck MV, Ramon H and Tijskens E, 2008. Finite element analysis of the dynamic collision of apple fruit. Postharvest Biology and Technology 49: 260-276.

Garcia C, Ruiz M and Chen P, 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. Transactions of the ASAE 31: 256–261.

Goldsmith W, 1960. Impact, the theory and physical behavior of colliding bodies, Edward Arnold Publisher, Ltd, London.

Golob P, Farrel G and Orchard J, 2002. Crop post harvest: Science and technology. Volume 1: Principles and practices. 548p.

Gutierrez A, Burgos JA, Molto E, 2007. Pre-commercial sorting line for peaches firmness assessment. Journal of Food Engineering 81: 721-727.

Hamann DD, 1967. Some dynamic mechanical properties of apple fruits and their use in the solution of an impacting problem of spherical fruits. PhD Thesis in Engineering Mechanics, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia.

Hahn F, Esmeralda V and Guerrero Z, 2004. Mango firmness sorter. Biosystems Engineering 89(3): 309– 319.

Hertz H, (1896). Miscellaneous papers. MacMillan and Company, New York.

Hicsasmaz Z and Rizvi SSH, 2004. Effect of size and shape on modulus of deformability. Food Science and Technology 38(4): 431-435.

Kleynen O, Leemans V, Destain MF, 2003. Selection of the most efficient wavelength bands for 'Jonagold'apple sorting. Postharvest Biology and Technology 30: 221-232.

Laykin S, Edan Y, Alchanatis R, Regev R, Gross F, Grinspun J, Bar-Lev E, Fallik E and Alkalai S, 1999. Development of a quality sorting machine using machine vision and impact. ASAE Paper No. 99-3144. St. Joseph, MI, US.

Lewis R, Yoxalla A, Cantya LA, and Romo ER, 2007a. Development of engineering design tools to help reduce apple bruising. Journal of Food Engineering 83(3): 356-365.

Lewis R, Yoxall A, Marshall MB, and Canty LA, 2007b. Characterizing pressure and bruising in apple fruit. Wear 264(1): 37-46.

Mohsenin NN, 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher, INC.

Mohsenin NN and Gohlich N, 1962. Teqniques for determination of mechanical properties of fruit and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. Agricultural Engineering Research 7(1): 300-315.

Peleg K, 1999. Development of a commercial fruit firmness sorter. Agricultural Engineering Research 72: 231-238.

Rao PS, and Renganathan S, 2003. New approaches for size determination of apple fruits for automatic sorting and grading. Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering 1(2): 90-97.

Richey CB, Jacobson P and Hall CW, 1961. Agricultural engineering handbook. McGraw-Hill Company.

Tao Y, Hinemann PH, Varghese Z and Morrow CT, 1995. Machine vision for color inspection of potatoes and apples. Transaction of the ASAE 38(5): 1555- 1561.

Zeebroeck MV, Vanlinden V, Darius P, Deketelaere B, Ramon H and Tijskens E, 2007a. The effect of fruit factors on the bruise susceptibility of apples. Postharvest Biology and Technolog 46(1): 10-19.

Zeebroeck MV, lindena VV, Ramona H, Baerdemaekera JD, Nicolaïa BM and Tijskens E, 2007b. Impact damage of apples during transport and handling. Postharvest Biology and Technolog 45(2): 157-167.

Xing J, Bravo C, Moshou D, Ramon H and Baerdemaeker JD, 2006. Bruise detection on 'Golden Delicious' apples by vis/nir spectroscopy. Computers and Electronics in Agriculture 52: 11–20.

طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین خودکار درجه‌بندی وزنی سیب ۱