طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه درجه بندی گل آنتوریوم، مجهز به سامانه شناسایی واریته؛ بخش سخت افزار

علیرضا سلیمانی پور[1]، غلامرضا چگینی[2]، جعفر مساح[3]، پیام زرافشان[4]، مهدی نصوری گزنی[5]

[1]دانش آموخته دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ asoleimani@ut.ac.ir
[2]دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ chegini@ut.ac.ir
[3]دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ jmassah@ut.ac.ir
[4]استادیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران؛ payamzarafshan@ut.ac.ir
[5]دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران؛ nasouri.mahdi.ga@ut.ac.ir

چکیده

در بازارهای رقابتی امروزی، کیفیت تولید و ارائه محصول مهمترین عوامل تاثیرگذار بر بازار پسندی هر محصولی هستند. شیوه معمول ارزیابی حسی ظاهر محصولات کشاورزی توسط انسان، وابسته به شخص، غیر دقیق و زمان‌بر بوده و از این‌رو روش‌های ابزاری عملی از ارجحیت بیشتری برخوردار هستند و یا حتی یک نیاز محسوب می‌شوند. یک دستگاه برای تشخیص واریته و درجه‌بندی گل طراحی و ساخته شد که شامل دو بخش کلی سخت افزار و نرم افزار می‌باشد. در این مقاله، عملیات طراحی و ساخت بخش سخت افزاری این دستگاه تشریح شده است. بخش سخت‌افزار دستگاه شامل واحد حمل مکانیکی گل، واحد تحصیل داده (سامانه بینایی رایانه‌ای)، واحد بیرون‌انداز (سامانه نیوماتیک) و واحد کنترل الکترونیکی است. پس از طراحی، پیاده‌سازی و آزمایش هر یک از واحدهای بخش سخت‌افزاری دستگاه به‌صورت مجزا، این واحدها با هم ادغام و دستگاه تحت شرایط واقعی آزمایش شد. به‌طور کلی، دستگاه ظرفیت شناسایی واریته و درجه‌بندی بیشینه ۶۰ نمونه گل در دقیقه را دارد.

کلمات کلیدی: بینایی رایانه‌ای، نیوماتیک، گل شاخه بریده، دستگاه درجه‌بندی.

Design, Fabrication and Evaluation of a Flower Grading Machine, Equiped with a Cultivar Classification System; Hardware

Alireza Soleimanipour, Gholan Reza Chegini, Jafar Massah, Payam Zarafshan, Mahdi Nasouri-Gazani

Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran

ABSTRACT

In the competitive markets, quality is the most important factor effecting the sales of products. The traditional methods for evaluation of agricultural products are person-oriented, inaccurate and time-consuming. So, practical tools based on modern technologies are preferred as well as considered as a necessity. A flower grading machine was designed and fabricated to recognize the cultivars of cut flowers and grade them which consisted of two sections: software and hardware. The machine's hardware includes a flower handling unit, a data acquisition unit (computer vision system), and an ejection unit (pneumatic system and electronic controller). After designing, fabricating and testing the every part of hardware section, separately, the components merged and the machine was tested in a real condition. In general, the machine has the capacity of cultivar recognition and grading of 60 flowers per minute.

Keywords: Computer vision, Pneumatic, Cut-flowers, Grading machine.

۱- نویسنده مسئول: دکتر غلامرضا چگینی، گروه مهندسی فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران؛ تلفن: ۰۲۱-۳۶۰۴۱۰۵۸

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

مقدمه

شیوه معمول ارزیابی حسی ظاهر توسط انسان، وابسته به شخص، غیردقیق و زمان‌بر بوده و از این‌رو روش‌هایی که از ابزار بهره می‌گیرند از ارجحیت بیشتری برخوردار هستند و یا حتی یک نیاز محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، وجود رقابت برای حضور در بازارهای محلی و جهانی و تقاضای مصرف کننده برای برخورداری از کیفیت عالی و پایدار، تولید کنندگان را بر این داشته تا تک تک موارد مربوط به کیفیت محصول، از جمله رنگ، اندازه، یکنواختی در شکل و آسیب بیرونی را قبل از تحویل آن به مصرف کننده بررسی نمایند. بسیاری از پرورش‌دهندگان محصولات کشاورزی و باغی، محصولات‌شان را به وسیله دست یا ماشین درجه‌بندی می‌کنند تا آن‌ها را به‌لحاظ رسیدگی، رنگ، اندازه، درجه و وجود ناخالصی از هم جدا کنند. در میوه‌ها و سبزیجات ریز به تعداد تصمیمات درجه‌بندی بیشتری نسبت به محصولات بزرگ احتیاج است. در مورد درجه‌بندی دستی، شرایط محیطی و نور مطلوب در محل کار، وجود راهنماها یا حلقه‌های درجه‌بندی، و نصب پلاکاردهای مناسب از درجه‌بندی صحیح و آسیب‌ها، ابزارهای ساده‌ای هستند که به‌کارگران کمک می‌کند تا تصمیمات درجه‌بندی را سریع‌تر و با تناقض کمتر بگیرند. امروزه، برای برخی محصولات، دستگاه‌هایی نیز وجود دارد که درجه‌بندی را بر اساس وزن، حجم، یا تصاویر الکترونیکی انجام می‌دهند. گسترش چنین دستگاه‌هایی می‌تواند به کاهش هزینه‌های کارگری تولید، پایداری و یکنواختی کیفیت، تسریع در روند فراوری، عدم دخالت دست در فراوری و بهره‌وری اقتصادی کمک کند.

آنتوریوم (*Anthurium andernum*) یک گیاه همیشه سبز، گرمسیری، چند ساله و خوش جلوه است که اغلب برای استفاده به‌عنوان گل شاخه بریده پرورش داده می‌شود و به دلیل ظاهر رنگارنگ، دیرپایی، اسپادیکس[1]استوانه‌ای قرار گرفته در بالای اسپات[2]قلبی‌شکل بزرگ (بخش گلبرگ مانند گل با رنگ براق)، و شاخ و برگ با جذابیت خاص ارزشمند است. در بازارهای جهانی، فروش گل آنتوریوم در بین گل‌های شاخه بریده گرمسیری در رتبه دوم قرار دارد (da Silva, Dobránszki, Winarto, & Zeng, 2015; Galinsky & Laws, 1996; Higaki, Lichty, & Moniz, 1995; Rikken, 2010). گل آنتوریوم عموما بر اساس اندازه اسپات (میانگین طول و عرض ناحیه اسپات) و آسیب ظاهری درجه‌بندی می‌شود. به‌طور عمده گلخانه‌داران و پرورش‌دهندگان، این گل را در چهار سطح درجه کیفی با نام‌های عالی، ممتاز، درجه یک و درجه دو طبقه‌بندی می‌کنند. گاهی اوقات نیز درجه کیفی دیگری با عنوان درجه سه برای گل‌های با اندازه و شکل نامعقول و آسیب ظاهری زیاد در نظر گرفته می‌شود. گل آنتوریوم از تنوع واریته بسیار گسترده‌ای برخوردار است، به‌گونه‌ای که در جهان نزدیک به ۷۲ واریته و در داخل کشور حدود ۳۰ واریته از این گل به شکل گل شاخه بریده زینتی تولید می‌شود؛ بنابراین یکسان بودن معیارهای درجه‌بندی برای واریته‌های مختلف این محصول نمی‌تواند چندان مطلوب باشد.

سامانه‌های مختلفی با هدف تحقیق و کاربرد در صنایع کشاورزی، باغبانی و فراوری پس از برداشت محصولات توسعه داشته شده است که بر پایه بینایی رایانه عمل می‌کنند. در تحقیقی یک روش مبتنی بر پردازش تصویر برای اندازه گیری حجم و سطح رویه محصولات کشاورزی بیضی‌گون (تخم مرغ، لیمو، لیموترش و هلو) توسعه داده شد. در این روش فرض می‌شد که هر محصول یک هندسه متقارنی دارد و مجموعی از مخروط ناقص‌های حاصل از مخروط‌های مدور قائم می‌باشد. حجم محصول و سطح رویه به‌عنوان مجموع حجم‌ها و سطح رویه‌های مخروط ناقص‌های منفرد محاسبه شدند (Sabliov, Boldor, Keener, & Farkas, 2002). در تحقیق دیگری یک تکنیک بینایی کامپیوتر مرکب از روش مثلث‌بندی لیزری و یک تبدیل فاصله برای بهبود دقت اندازه‌گیری سه بعدی بدست آمده با اعمال روش مثلث‌بندی لیزری، برای اشیای با شکل نامنظم توسعه داده شد (Lee, Eifert, Zhan, & Westover, 2003).

در پژوهشی یک سامانه بینایی ماشین مبتنی بر تصویر برداری شعاعی (Lee, Xu, Eifert, & Zhan, 2006) برای اندازه‌گیری سطح رویه مواد غذایی تازه، سیب، طالبی، توت فرنگی و گوجه فرنگی ارائه شد. در این سامانه یک سلسله از ۳۰ تصویر گرفته شده در فواصل زاویه‌ای یکسان جهت پردازش تصویر برای یک شیء ثبت می‌شد؛ به‌نحوی که هر تصویر به عنوان یک تکه از مقطع عرضی شیء در یک موقعیت زاویه مشخص بود. سپس، موقعیت نقاط مرزی روی هر تکه تصویر استخراج و با استفاده از آن یک مدل چارچوبی برای براورد سطح رویه با نرم افزارهای مرسوم ایجاد شد. در نهایت، معادلاتی برای پیش‌بینی سطح رویه هر شکل ماده غذایی از روی اندازه‌گیری وزن پیشنهاد شد (Eifert, Sanglay, Lee, Sumner, & Pierson, 2006). در پژوهش دیگری از روش‌های پردازش تصویر برای براورد سطح رویه و حجم به‌ترتیب مفاصل و ژامبون گوشت استفاده شد. در هر دو کار، شکل نمونه‌ها به هندسه بیضوی برازش شد. محاسبات سطح رویه و حجم بر مبنای مفهوم جمع کردن یک تعداد محدود از مقاطع مخروطی بود، که محور آن‌ها از طریق بینایی رایانه بدست می‌آمد (Zheng, Sun, & Du, 2006).

در پژوهشی یک دستگاه مخصوص برای درجه‌بندی کشمش طراحی شد (Omid, Abbasgolipour, Keyhani, & Mohtasebi, 2010).

1Spadix
2Spathe

این دستگاه بر مبنای تصاویر گرفته شده عملیات درجه‌بندی را انجام می‌داد و محصول را حتی بهتر از یک انسان خبره طبقه‌بندی می‌کرد. الگوریتم این دستگاه برای عدس و بادام نیز قابل کاربرد است. در تحقیقی برای طبقه‌بندی عیوب پوست در میوه پرتقال، از روش تحلیل مشخصه‌های اصلی (PCA) برای تحلیل تصویر چند متغیره استفاده شد (López-García, Andreu-García, Blasco, Aleixos, & Valiente, 2010). در تحقیق دیگری، فرایند ریخت‌شناسی مبتنی بر تحلیل تصویر شکل در زمان- واقعی برای بازرسی و اندازه‌بندی نارنگی توسعه داده شد (Blasco, Aleixos, Cubero, Gómez-Sanchís, & Moltó, 2009).

تاکنون روش‌های ابزاری چندانی برای فراوری گل‌های شاخه بریده توسعه داده نشده است. عمده دستگاه‌های درجه‌بندی و بسته‌بندی توسعه یافته در حوزه گل‌ها و گیاهان زینتی منحصرا برای گل رز می‌باشند. ظریف و حساس بودن این‌دسته از محصولات کشاورزی عملیات پس از برداشت آن‌ها را مشکل می‌نماید. از این‌رو طراحی و توسعه دستگاه‌های کارامد می‌تواند بهره‌وری تولید این محصولات را تا حد زیادی ارتقا دهد. با بررسی‌های به‌عمل آمده در بخش مرور منابع، تا کنون هیچ دستگاه درجه‌بندی و حتی راهکاری برای انجام همزمان شناسایی واریته و درجه‌بندی گل (به‌ویژه گل آنتوریوم) ارائه نشده است؛ بنابراین در این تحقیق اقدام به طراحی و ساخت اولین دستگاه درجه‌بندی گل شده است که همزمان با درجه‌بندی، واریته گل را نیز شناسایی می‌کند.

مواد و روش‌ها

به‌طور کلی، فرایند درجه‌بندی و طبقه‌بندی گل آنتوریوم مراحل مختلفی را شامل می‌شود. این فرایند با قرار گرفتن محصول در ابتدای خط بسته‌بندی آغاز می‌شود. محصول پس از برداشت در گلخانه در سطل‌های مخصوص به محل درجه‌بندی منتقل می‌شود و توسط یک کارگر به‌صورت عمودی روی جایگاه‌های حمل گل قرار داده می‌شود و به سمت مرحله شناسایی واریته و تعیین درجه کیفی حرکت می‌کند. در این مرحله شاخه گل با فاصله مناسب و زاویه عمود نسبت به خط دید، از زیر یک دوربین دیجیتال عبور کرده و تصویر هر نمونه به‌صورت مجزا گرفته می‌شود. تصاویر توسط برنامه‌های پردازش تصویر طراحی شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در فرایند پردازش، پس از تعیین خودکار واریته گل با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، مشخصات هندسی گل محاسبه و با مقادیر استاندارد درجه‌بندی مربوط به هر واریته مقایسه می‌شوند. سپس محصول به سمت درگاه‌های خروجی فرایند درجه‌بندی حرکت می‌کند. در این مرحله با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته از عوامل کیفی مورد بررسی، یک درجه کیفی برای آن تعیین و محصول در خروجی مربوط به آن درجه کیفی توسط یک مکانیزم نیوماتیکی به سمت مسیرهای مشخص هدایت و از خط درجه‌بندی خارج می‌شود. در نهایت محصول جمع شده در هر خروجی به‌صورت مجزا در جعبه‌های مخصوص قابل بسته‌بندی خواهد بود. دستگاه درجه‌بندی گل از دو قسمت عمده سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشکیل شده است که هر کدام به چند زیر موضوع تقسیم می‌شوند. قسمت سخت‌افزاری دستگاه شامل یک واحد مکانیکی برای حمل گل، یک سامانه بینایی رایانه‌ای برای تحصیل داده، یک سامانه بیرون‌انداز نیوماتیکی و سخت‌افزار کنترل دستگاه است (شکل ۱).

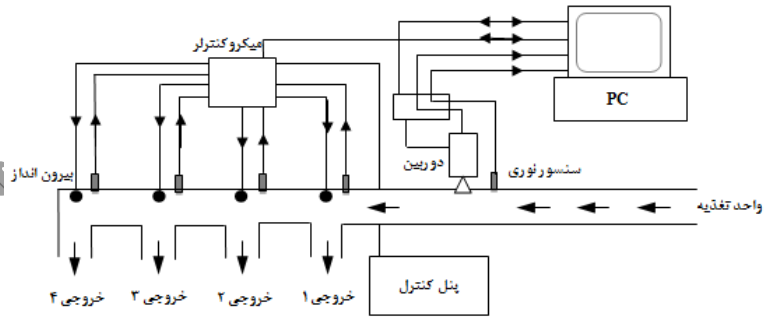

Figure 1. Schematic diagram of flowers grading machine.
شکل ۱- نمودار شماتیک دستگاه درجه‌بندی گل.

۱-۲- طراحی ساشی

سهولت در نقل و انتقال دستگاه، در دسترس بودن قطعات و تجهیزات، محافظت از قسمت‌های درونی و حساس دستگاه، عدم لرزش نمونه در هنگام تصویر برداری، و اندازه مناسب ابعاد دستگاه از عوامل مهم در طراحی شاسی دستگاه بودند. با در نظر گرفتن این ملزومات شاسی دستگاه به‌صورت شکل (۲) طراحی و ساخته شد. ابعاد کلی شاسی ۱۱۰×۷۵×۷۵ سانتی‌متر مکعب است. برای نصب عملگرهای بیرون‌انداز، در قسمت بالای شاسی دو حلقه نورد شده به قطرهای ۷۰ و ۱۱۰ سانتی‌متر تعبیه شد.

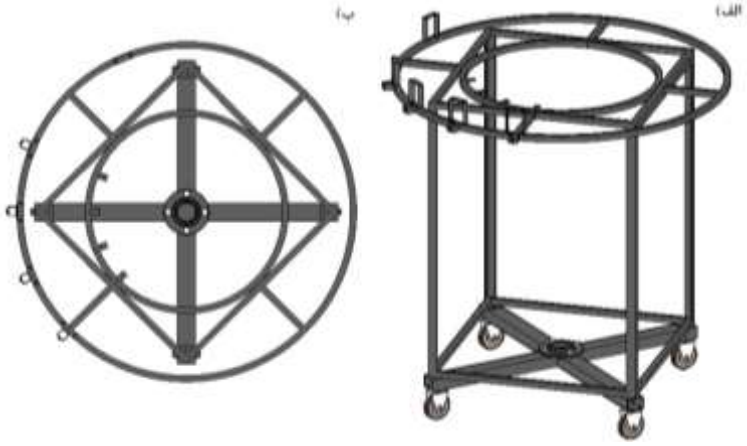

Figure 2. The chassis of flowers grading machine, a) Isometric view, b) Top view.
شکل ۲- شاسی طراحی شده برای دستگاه درجه‌بندی گل ؛ الف) نمای ایزومتریک، ب) دید از بالا.

۲-۲- واحد انتقال

برای تامین نیروی دورانی واحد حمل گل از یک الکتروموتور گیربکس‌دار استفاده شد. این الکتروموتور می‌بایست به‌گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر تامین توان مورد نیاز دستگاه، بتواند در شرایط پیش باری نیز به درستی عمل نماید. همچنین با حداقل توان مصرفی بیشینه راندمان کاری را حاصل نماید. بنابراین توان الکتروموتور در مرحله اول باید به اندازه‌ای باشد که گشتاور و دور مورد نیاز قسمت‌های متحرک دستگاه را فراهم کند. با توجه به روابط (۱-۳) و (۲-۳) ارتباط گشتاور محرک با توان مورد نیاز موتور واحد حمل دستگاه به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$T_d = F \times R \qquad (۳-۱)$$

$$P_e = F.2\pi R\left(\frac{N}{60}\right) = \frac{2\pi T_d N}{60} \qquad (۳-۲)$$

$$T_d = (6 \times 1.5 \times 9.81) \times 0.55 = 48.56\ N.m$$

$$P_e = \frac{2\pi \times 48.56 \times 10}{60} = 50.82\ W$$

که در آن، T_d : گشتاور لازم برای دوران واحد حمل گل $(N.m)$، F : نیروی حاصل از مجموع وزن کفه‌های حمل و محصول (N)، R : شعاع واحد حمل (m)، P_e : توان مورد نیاز الکتروموتور (W)، سرعت دورانی مورد نیاز دستگاه (rpm) است. با توجه به توان به دست آمده و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲، یک الکتروموتور سه فاز ۰/۱ کیلو وات با دور خروجی ۱۰۰۰ دور در دقیقه برای دستگاه انتخاب شد. از آنجایی‌که سرعت دورانی واحد حمل در دستگاه درجه‌بندی گل می‌بایست کمتر از ۱۰ دور در دقیقه باشد، سرعت دورانی خروجی الکترو موتور با استفاده از یک گیربکس حلزونی با نسبت تبدیل دور ۱۰۰:۱ کاهش داده شد؛ بنابراین گشتاور خروجی موتور گیربکس به‌همین نسبت افزایش می‌یابد. به دلیل استفاده از گیربکس حلزونی، واحد حمل مکانیکی در حالت خاموش بودن دستگاه، قفل می‌شد.

از سامانه پولی- تسمه زمان‌بندی برای انتقال قدرت موتور به واحد حمل گل استفاده شد. اجزای سامانه انتقال قدرت دستگاه عبارتند از؛

- یک عدد پولی زمان‌بندی فلنچ‌دار بوش‌خور با کد فنی TL72-8M-20F (برای نصب بر روی محور دورانی دستگاه) و یک عدد پولی زمان‌بندی فلنچ‌دار بدون بوش با کد فنی Z72-8M-20F (برای نصب بر روی محور موتور گیربکس)؛ هر دو پولی از جنس فولاد C45 با قطر خارجی ۱۸۱/۹۸ میلی‌متر، تعداد دندانه ۷۲ عدد مناسب برای تسمه با پهنای ۲۰ میلی‌متر بودند،
- تسمه زمان‌بندی با کد فنی 1312-8M (به طول ۱۳۱۲ میلی‌متر، پهنای ۲۰ میلی‌متر و تعداد دندانه ۱۶۴ عدد)،
- ستون مرکزی ثابت دستگاه (لوله ۲ اینچ بدون درز رده ۸۰ با قطر خارجی ۶۰/۳۲ میلی‌متر، ضخامت ۵/۵۳ میلی‌متر، از جنس فولاد St 37.4 طبق استاندارد DIN 1630، به طول یک متر)،
- سازه نگهدارنده موتور گیربکس،
- چهار عدد بست‌های نیم‌دایره‌ای، جهت نصب سازه نگهدارنده موتور گیربکس به ستون مرکز ثابت دستگاه،
- دو عدد رولبرینگ مخروطی یک ردیفه Timken با کد فنی JP6010 (قطر داخلی ۶۰ میلی‌متر، قطر خارجی ۱۰۰ میلی‌متر و پهنای ۲۱ میلی‌متر، با قابلیت تحمل بار استاتیک ۱۰۱ کیلو نیوتن)،

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

- محور دورانی دستگاه (لوله ۴ اینچ بدون درز رده ۸۰ با قطر خارجی ۱۱۴/۳ میلی‌متر، ضخامت ۸/۵۶ میلی‌متر، از جنس فولاد St 37.4 طبق استاندارد DIN 1630، به طول ۲۵ سانتی‌متر)، و
- فلنج برای نصب اجزای واحد حمل گل به محوردورانی دستگاه (شکل ۳).

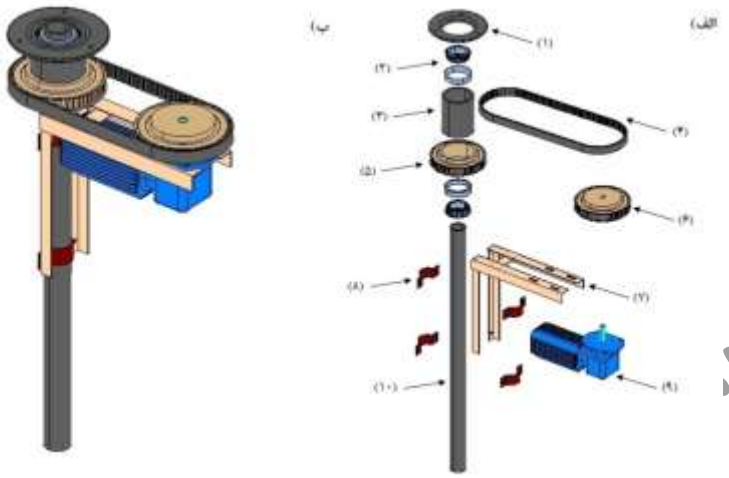

Figure 3. Power transmission system for the flowers grading machine.

شکل ۳- سامانه انتقال توان دستگاه درجه‌بندی گل.

الف) نمای انفجاری، ب) نمای ایزومتریک؛ (۱) فلنج، (۲) رولبرینگ مخروطی، (۳)محور دورانی دستگاه، (۴) تسمه زمان‌بندی، (۵) پولی سر محور دورانی، (۶) پولی سر الکتروموتور، (۷) سازه نگهدارنده موتور گیربکس، (۸) بست نیم‌دایره‌ای، (۹) موتور گیربکس و (۱۰) ستون مرکزی دستگاه.

همچنین، با توجه به ساختمان و مورفولوژی گل‌های شاخه بریده، به‌ویژه گل آنتوریوم، کفه‌های حمل گل از ورق پلکسی گلاس جنس آکرولیک با ضخامت ۶ میلی‌متر طراحی و ساخته شدند. اندازه کفه‌ها به‌گونه‌ای طراحی شد که بتوان از آن برای حمل و درجه‌بندی همه انواع گل‌های شاخه بریده در اندازه‌های مختلف با دستگاه استفاده کرد. تعداد کفه‌های حمل گل ۶ عدد انتخاب شد. این انتخاب بر مبنای کمینه و بیشینه سرعت دورانی دستگاه انجام شد. با نصب ۶ واحد حمل گل روی دستگاه، فاصله زاویه‌ای بین کفه‌های گل ۶۰ درجه خواهد بود. با توجه به این‌که بیشینه سرعت دورانی خروجی دستگاه ۱۰ دور بر دقیقه و کمینه سرعت دورانی یک دور بر دقیقه باشد، مدت زمان فراهم برای تصویرگیری و پردازش هر نمونه به‌ترتیب یک و ۱۰ ثانیه خواهد بود.

۳-۲- واحد تحصیل داده

دستگاه درجه‌بندی گل طراحی شده مبتنی بر الگوریتم‌هایی است که همگی بر اساس پردازش تصویر گل کار می‌کنند. این الگوریتم‌ها در قالب یک نرم‌افزار کاربردی روی یک سامانه بینایی رایانه‌ای توسعه داده شدند. این سامانه دارای یک دوربین دیجیتال، یک سامانه نورپردازی مناسب و یک رایانه است. تصاویر با استفاده از یک صفحه پس‌زمینه که رنگ آن آبی بود، گرفته شدند. انتخاب رنگ آبی به‌عنوان پس‌زمینه به‌منظور انجام موثر آشکارسازی مرزها در واریته‌های مختلف گل آنتوریوم، با توجه تنوع رنگی این گل بود. چرا که کنتراست بیشتر بین شیء و پس‌زمینه، روند استخراج لبه شیء را تسهیل می‌نماید (Goñi, Purlis, & Salvadori, 2007)هنگام تصویر برداری، لنز دوربین به‌طور عمود بر نمونه گل و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر قرار می‌گرفت. این فاصله با در نظر گرفتن مساحتی که دوربین می‌بایست پوشش دهد تعیین شد.

برای نورپردازی واحد تحصیل داده، از شیوه نورپردازی زمینه تاریک استفاده شد. در این نوع نورپردازی از دو منبع نور با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح قرارگیری استفاده می‌شود. در این نوع نورپردازی تباین بسیار خوبی بین نمونه و پس‌زمینه ایجاد می‌شود که عملیات تشخیص لبه را تسهیل می‌نماید. نورپردازی با زمینه تاریک برای کارهای مربوط به ارزیابی بر اساس رنگ نیز مناسب می‌باشد. برای انجام نورپردازی از دو عدد لامپ SMD با توان ۱۰ وات و ولتاژ ۱۲ ولت جریان مستقیم (VDC۱۲) با نور سفید (با دمای رنگ ۶۵۰۰ درجه کلوین) استفاده شد. با توجه به مشخصات لامپ‌ها و هندسه محل تصویرگیری، شدت نور در محل قرارگیری نمونه گل حدود ۵۵۰۰ لوکس بود.

در این برای اخذ تصویر از نمونه‌ها، از یک دوربین تحت شبکه (Basler GigE Camera, acA800-200gc, Germany) استفاده شد. وضوح تصویر دوربین مورد استفاده ۶۰۰×۸۰۰ است که با توجه ابعاد تصویرگیری و فاصله دوربین از نمونه، از وضوح بسیار مناسبی برخوردار است. هرچند، برای کاهش زمان محاسبه در عملیات نرم‌افزاری شناسایی واریته و محاسبه مشخصه‌های هندسی لازم است وضوح تصویر حتی کاهش داده شود. با توجه به هندسه تصویر برداری، یک لنز با فاصله کانونی شش میلی‌متر (Basler Lens C125-0618-5M F1.8 f6mm) انتخاب شد. گستره

دیافراگمی(عنبیه) این لنز از F1.8 تا F22 بوده و دوربین‌های با وضوح تا ۵ مگاپیکسل را پشتیبانی می‌کند. قابل ذکر است در نرم‌افزار MATLAB از دستور 'gigecam' برای شناسایی و گرفتن تصویر از دوربین استفاده شد.

۴-۲- واحد بیرون انداز

پس از انجام عملیات‌های تصویرگیری، پردازش تصویر، شناسایی واریته و درجه‌بندی، لازم است که هر نمونه گل در مخزن مربوط درجه کیفی خود آزاد شود. سامانه بیرون‌انداز واحدی است که وظیفه خارج کردن نمونه‌ها در زمان و مکان مشخص از کفه‌های حمل را بر عهده دارد. این واحد علاوه بر عملکرد مناسب به‌لحاظ زمان‌بندی عمل بیرون‌اندازی، چون با نمونه‌های گل در تماس است(خارج‌سازی مکانیکی) می‌بایست طوری طراحی شود که کمترین آسیب ممکن را به نمونه‌ها وارد سازد. به‌طور مشخص ساقه گل ظرافت کمتری نسبت به گلبرگ داشته و از لحاظ تحمل ضربه هم پایدارتر است؛ بنابراین واحدهای بیرون‌انداز طوری طراحی شدند که ضربه لازم برای بیرون‌اندازی را به ساقه وارد کنند. همچنین سطح تماس ابزار با ساقه گل نیز تا حد امکان بیشتر در نظر گرفته شد تا نیروی نقطه‌ای به ساقه وارد نشود. برای راه اندازی واحدهای بیرون‌انداز از یک سامانه بادی (نیوماتیک) استفاده شد. دلیل این انتخاب سرعت بالای کار و عدم نیاز به نیروی زیاد برای خارج‌سازی نمونه‌های کفه‌های حمل بود. مزیت این سامانه عملکرد سریع، قابل تنظیم بودن سرعت حرکت، قابل تنظیم بودن موقعیت توقف، راه اندازی چندین بیرون‌انداز با یک سامانه، هزینه نسبتا کم، و انعطاف پذیری آن است. اجزای اصلی سامانه نیوماتیک طراحی شده شامل سیلندرها، شیرهای برقی، کمپرسور باد، واحد مراقبت، شیر کنترل فشار و شیر کنترل جریان است. این اجزا توسط یک مدار نیوماتیکی به یکدیگر متصل شدند. شکل (۴) سامانه نیوماتیک دستگاه درجه‌بندی گل را نشان می‌دهد.

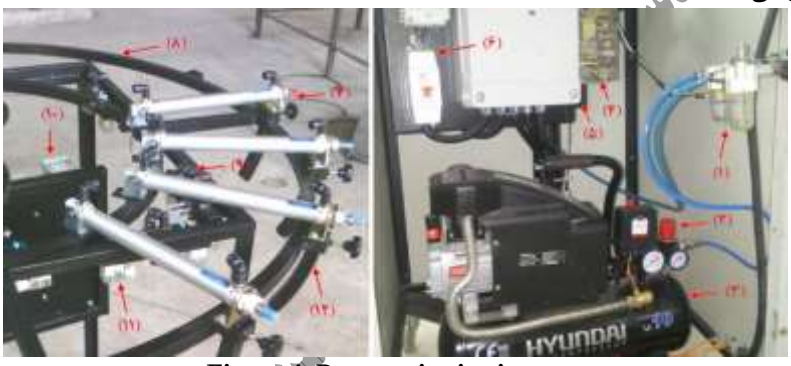

Figure 4. Pneumatic ejection system.

شکل ۴- سامانه نیوماتیکی بیرون‌انداز.

اجزای مشخص در این شکل عبارتند از: (۱) فیلتر و روغن‌زن، (۲) شیر کنترل فشار و گیج فشار قبل و بعد از آن، (۳) کمپرسور، (۴) مبدل ۲۲۰ ولت متناوب به ۱۲ ولت مستقیم، (۵) تابلو کنترل، (۶) فیوز اصلی دستگاه، (۷) سیلندر نیوماتیک، (۸) شاسی، (۹) شیر کنترل جریان، (۱۰) اینورتر، (۱۱) شیر برقی و (۱۲) مکانیزم تغییر زاویه برخورد سیلندر با نمونه (از راستای افق تا ۴۵ درجه رو به بالا).

بخش‌های مختلف دستگاه به‌گونه‌ای طراحی و انتخاب شدند که با استفاده از برق ۲۲۰ ولت شهری قابل راه اندازی باشند. برای اطمینان از ایمنی و همچنین حفاظت از دستگاه در برابر تغییرات ولتاژ و وجود اتصال در مدارها و اجزای الکتریکی دستگاه، از دو عدد فیوز استفاده شد. یکی از فیوزها که از نوع شیشه‌ای (250V 25A) است در ترمینال ورودی برق قرار دارد. به‌منظور فراهم ساختن امکان قطع و وصل کلی برق دستگاه و حفاظت مضاعف از دستگاه، از یک عدد فیوز مینیاتوری ۱۶ آمپر نیز استفاده شد. بخش الکتریکی دستگاه شامل درایور موتور، مدار تامین برق واحد بیرون‌انداز، دورسنج دستگاه و مدار چراغ‌های سیگنال و کلیدهای راه اندازی است.

برای کنترل الکترونیکی دستگاه از یک برد آردوینو نوع Mega2560 استفاده شد. قطعاتی که به برد آردوینو اتصال دارند و کار می‌کنند شامل حسگر نوری تشخیص نمونه گل، ماژول‌های شناسایی رادیویی، و نیز رله‌های مربوط به عملگرهای سامانه بیرون‌انداز و رله‌های مربوط به نورپردازی و دوربین دیجیتال است. همچنین، برد آردوینو به‌صورت سریال با رایانه دستگاه در ارتباط است که به‌صورت برخط با یکدیگر اطلاعات رد و بدل می‌کنند. این اطلاعات شامل ارسال دستور تصویرگیری به رایانه جهت اخذ تصویر است و رایانه نیز اطلاعات مربوط به درجه کیفی هر نمونه گل پردازش شده را با ارتباط سریال به برد آردوینو ارسال می‌نماید. حسگر نوری بر روی بدنه دستگاه و زیر دوربین تصویر برداری نصب شده است و با عبور ساقه گل از مقابل آن یک سیگنال ایجاد می‌کند. با ارسال سیگنال به برد الکترونیکی دستور اخذ تصویر صادر می‌شود. در مجموع تعداد ۵ ماژول شناسایی رادیویی استفاده شد. یک ماژول در فاصله ۶۰ درجه‌ای نسبت محل تصویرگیری تعبیه شده بود و کار ثبت درجه کیفی مربوط به هر نمونه گلی که تصویر آن پردازش شده و اطلاعات درجه کیفی و واریته آن مشخص شده است را انجام می‌داد. چهار ماژول دیگر هر یک بر روی

یکی از واحدهای بیرون‌انداز نصب شده بودند. وظیفه این ماژول‌ها اعلان عبور نمونه گل از مقابل واحدهای بیرون‌انداز است. همچنین، تعداد ۶ عدد کارت شناسایی رادیویی به تعداد واحدهای حمل گل و در زیر کفه‌های حمل گل تعبیه شدند. در صورت تطبیق درجه کیفی ثبت شده برای نمونه گل در حال عبور از آن واحد بیرون‌انداز با درجه کیفی مربوط به آن واحد، برد الکترونیکی دستور بیرون‌اندازی نمونه گل را صادر می‌کند (شکل ۵).

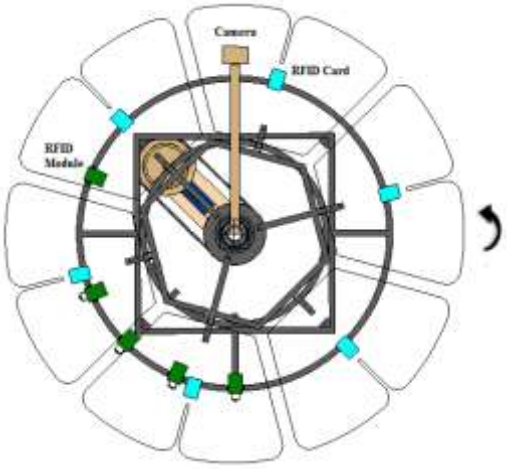

Figure 5. Locating the RFID modules and cards on the machine.
شکل ۵- جانمایی ماژول‌ها و تگ‌های شناسایی رادیویی روی دستگاه.

نتایج و بحث

پیش از اقدام به ساخت دستگاه درجه‌بندی گل، اجزای آن در نرم‌افزار CATIA مدل‌سازی شد. در شکل (۶- الف و ب) به‌ترتیب مدل نرم‌افزاری و ابعاد دستگاه نشان داده شده است. با توجه به ابعاد دستگاه، فضایی با مساحت حدود چهار مترمربع برای قرار دادن دستگاه کافی خواهد بود. هرچند، فضای لازم برای قرارگیری رایانه دستگاه، واحد تغذیه و خروجی‌ها نیز در نظر گرفته شود. قطعات مکانیکی دستگاه پس از انجام طراحی‌های لازم و با توجه به نقشه‌های فنی تهیه شده، در کارگاه گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان ساخته شدند. سپس اجزای سامانه بینایی رایانه‌ای و سامانه بیرون‌انداز نصب شدند. دستگاه با استفاده از یک کابل USB (برای ارتباط برد با رایانه) و یک کابل شبکه CAT6 (برای ارسال تصویر از دوربین) به رایانه وصل می‌شود. یک کابل برق تک فاز نیز برای تامین برق دستگاه استفاده شده است. شکل نهایی دستگاه ساخته شده در شکل (۶-ج) نشان داده شده است.

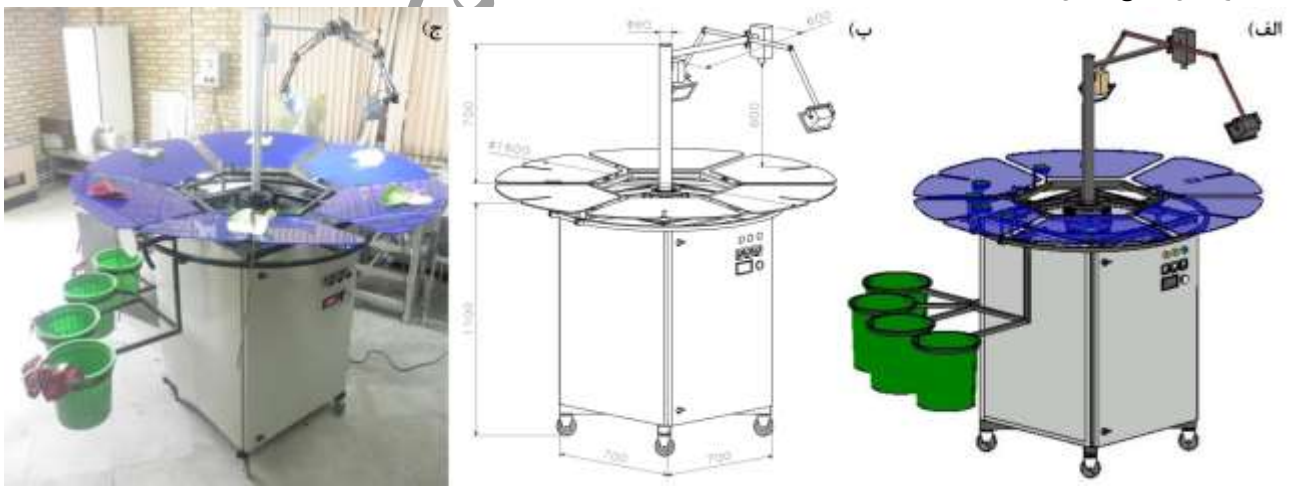

Figure 6. a) CAD model, b) Dimensions (mm), c) Real image of the flowers grading machine
شکل ۶- الف) مدل نرم‌افزاری، ب) ابعاد ظاهری (mm)، ج) شکل نهایی دستگاه درجه‌بندی گل.

قبل از ساخت، اجزا و مدار سامانه بیرون انداز با استفاده از نرم‌افزار Festo FluidSIM مدل‌سازی شد. رفتار مدل تحت شرایط مختلف

شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. پس از جمع‌بندی و ساخت سامانه بیرون‌انداز، با تنظیم شیرهای کنترل فشار و کنترل جریان، افت فشار به ازای هر بار عملکرد سیلندر و سرعت (مدت زمان) پیستون در مسیرهای رفت و برگشت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد افت فشار ایجاد شده به ازای یک عمل در ثانیه کمتر از ۰/۶ بار است که با فرض روشن بودن دائمی‌کمپرسور در کمتر از یک ثانیه جبران می‌شود.

برای ارزیابی عملی سرعت باز و بسته شدن سیلندرهای بیرون انداز دستگاه از یک اپتوکانتر (زمان‌سنج نوری) استفاده شد. دستگاه اپتوکانتر مورد استفاده شامل دو حسگر نوری و یک زمان‌سنج با دقت یک میلی ثانیه بود. دو حسگر نوری در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از یکدیگر در مقابل پیستون سیلندر بیرون‌انداز نصب شدند. نحوه عملکرد بدین ترتیب بود که با عبور نوک پیستون از حسگر اول، زمان‌سنج به راه می‌افتاد و با رسیدن آن به حسگر دوم متوقف می‌شد. با بدست آوردن زمان باز و بسته شدن پیستون، با توجه به طول پیستون، سرعت حرکت متوسط آن بدست می‌آید. مدت زمان باز شدن سیلندر نیوماتیک تحت شرایط فشار کاری مختلف و نیز درصد باز بودن شیر کنترل جریان مختلف اندازه‌گیری شد. فشار مدار در هفت سطح ۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴ ، ۵ ، ۶ و ۷ بار و میزان باز بودن شیر کنترل جریان در چهار سطح ۰/۲۵ ، ۵۰٪ ، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ باز تغییر داده شدند. آزمایش‌ها سه بار تکرار شدند. نتایج در جدول (۱) آورده شده‌اند.

Table 1. Duration of opening the pneumatic cylinder under different pressure and air flow conditions.
جدول ۱- مدت زمان باز شدن سیلندر نیوماتیک تحت شرایط فشار و دبی هوای مختلف.

Pressure (Bar)	Cylinder opening time (ms)							
	25% vavle		50% valve		75% valve		100% valve	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	281.3	2.52	234	11.27	217	3.46	218.7	6.43
2	180.3	3.06	138.7	6.11	138.3	8.33	137.3	11.02
3	126	1	96	1.73	94.3	1.53	94	1.73
4	106.3	6.51	81	3.61	75.3	1.53	72	1.73
5	93	2	72	2.65	68.3	2.31	70.7	3.51
6	81.3	1.15	71.3	0.58	63	1	62	1
7	78.3	1.15	67.3	2.52	63.3	2.52	62.7	1.15

با توجه به جدول (۱)، با افزایش فشار در مدار و افزایش در میزان باز بودن شیر کنترل جریان، مدت زمان باز شدن پیستون کاهش می‌یابد. مدت زمان بسته شدن پیستون به‌دلیل کاهش حجم داخل سیلندر، اندکی کمتر خواهد بود. از مزیت‌های استفاده از سامانه‌های نیوماتیک قابل پیش‌بینی و کنترل بودن عملکرد دستگاه‌ها می‌باشد. برای بیرون‌اندازی صحیح نمونه گل می‌بایست سرعت باز شدن و بسته شدن سیلندر نیوماتیک را متناسب با سرعت دورانی واحد حمل تنظیم کرد. از طرفی افزایش بیش از حد سرعت باز شدن سیلندر با محدودیت افزایش شدت برخورد پیستون با ساقه گل مواجه است. در واقع شتاب حرکتی پیستون به دلیل برخورد پیستون با ساقه گل حائز اهمیت است. البته می‌توان اثر نامطلوب شدت برخورد پیستون به ساقه گل را در شتاب‌های مختلف حرکتی مورد بررسی قرار داد. با تنظیم فشار مدار نیوماتیک با استفاده از شیر کنترل فشار و نیز حجم هوای ورودی به سیلندر در زمان باز یا بسته شدن پیستون، می‌توان سرعت و شتاب حرکت پیستون را به‌طور مطلوب تنظیم کرد. از آنجایی‌که هوا در فشارهای پایین‌تر از ۷ بار یک سیال تراکم پذیر محسوب می‌شود، حفظ فشار بالا در مدار و استفاده از شیر کنترل جریان برای تنظیم این متغیرها ارجحیت دارد. تراکم پذیری هوا در فشارهای پایین باعث حرکت‌های ناگهانی پیستون تحت بار خواهد شد.

نتیجه‌گیری

یک دستگاه درجه‌بندی هوشمند برای شناسایی واریته، اندازه گیری مشخصه‌های هندسی و درجه‌بندی گل طراحی و ساخته شد. پس از طراحی، ساخت و آزمایش هر یک از واحدهای سخت افزاری دستگاه به‌صورت مجزا، واحدها با هم ادغام و دستگاه تحت شرایط واقعی و با استفاده از یک پایگاه داده مشتمل بر ۳۰۰ تصویر از ۱۵ واریته مختلف گل آنتوریوم آزمایش شد. قوای محرکه و سیستم انتقال قدرت دستگاه به‌گونه ای طراحی شد تا سرعت عمل دستگاه بین ۶ تا ۶۰ نمونه در دقیقه متغیر باشد. برای شناسایی نمونه گل‌هایی که از مقابل هر یک از خروجی‌ها عبور می‌کنند و همچنین برای ثبت درجه کیفی تعیین شده برای هر نمونه گل، از ماژول‌های ریدر/ رایتر شناسایی رادیویی (RFID) مدل MFRC522 استفاده شد. سرعت عمل بخش بیرون‌انداز نیوماتیکی دستگاه با استفاده از شیرهای کنترل فشار و جریان به‌طور کاملا دقیق قابل کنترل بود. ظاهر و مشخصات فنی دستگاه به گونه‌ای طراحی شده است که قابل استفاده برای انجام عملیات شناسایی و درجه‌بندی سایر گل‌های شاخه بریده نیز مناسب باشد.

تقدیر و تشکر

از حمایت‌های مادی و معنوی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در ساخت دستگاه درجه‌بندی گل تقدیر و تشکر می‌نماییم. همچین از موسسه گل و گیاه کبریایی به دلیل ایجاد ایده ساخت این دستگاه و تامین گل آنتوریوم تشکر می‌نماییم.

مراجع

Blasco, J., Aleixos, N., Cubero, S., Gómez-Sanchís, J., & Moltó, E. (2009). Automatic sorting of satsuma (Citrus unshiu) segments using computer vision and morphological features. *Computers and electronics in agriculture, 66*(1), 1-8 .

da Silva, J. A. T ,.Dobránszki, J., Winarto, B., & Zeng, S. (2015). Anthurium in vitro: a review. *Scientia Horticulturae, 186*, 266-298 .

Eifert, J. D., Sanglay, G. C., Lee, D.-J., Sumner, S. S., & Pierson, M. D. (2006). Prediction of raw produce surface area from weight measurement. *Journal of Food Engineering, 74*(4), 552-556 .

Galinsky, R., & Laws, N. (1996). Anthurium market. *RAP Market Information Bulletin, 11* .

Goñi, S. M., Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2007). Three-dimensional reconstruction of irregular foodstuffs. *Journal of Food Engineering, 82*(4), 536-547 .

Higaki, T., Lichty, J. S., & Moniz, D. (1995). Anthurium culture in Hawai'i .

Lee, D.-J., Eifert, J. D., Zhan, P., & Westover, B. P. (2003). Fast surface approximation for volume and surface area measurements using distance transform. *Optical engineering, 42*(10), 2947-2956 .

Lee, D.-J., Xu, X., Eifert, J. D., & Zhan, P. (2006). Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical engineering, 45*(2), 027202 .

López-García, F., Andreu-García, G., Blasco, J., Aleixos, N., & Valiente, J.-M. (2010). Automatic detection of skin defects in citrus fruits using a multivariate image analysis approach. *Computers and electronics in agriculture, 71*(2), 189-197 .

Omid, M., Abbasgolipour, M., Keyhani, A., & Mohtasebi, S. (2010). Implementation of an efficient image processing algorithm for grading raisins. *International Journal of Signal and Image Processing, 1*(1), 31-34 .

Rikken, M. (2010). The European market for fair and sustainable flowers and plants. *BTC, Belgian Development Agency* .

Sabliov, C., Boldor, D., Keener, K., & Farkas, B. (2002). Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products. *International Journal of Food Properties, 5*(3), 641-653 .

Zheng, C., Sun, D.-W., & Du, C.-J. (2006). Estimating shrinkage of large cooked beef joints during air-blast cooling by computer vision. *Journal of Food Engineering, 72*(1), 56-62 .

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران