

تعیین حجم و جرم لیمو با استفاده از سیستم ماشین بینایی

مصطفی خجسته‌نژاد، محمود امید* و احمد طباطبایی فر**

* نگارنده مسئول: نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۲۸۰۸۱۳۸ (۰۲۶۱)، پیام‌نگار: omid@ut.ac.ir

** به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشیار؛ و استاد گروه دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۹

چکیده

خواص فیزیکی محصولات کشاورزی از مهمترین پارامترهای طراحی سیستم‌های بسته‌بندی، فراوری، انتقال، و درجه‌بندی هستند. در میان این خواص حجم، جرم، سطح تصویر شده، و مرکز ثقل محصولات از عوامل مهم در سیستم‌های سایزبندی هستند. در این مطالعه، از روش قطعه‌بندی با استفاده از سیستم ماشین بینایی برای تخمین حجم لیمو استفاده شده است. در مجموع ۵۰ لیمو مورد آزمون قرار گرفت. سیستم ماشین بینایی طراحی شده شامل دو عدد دوربین CCD، دو عدد کارت تصویرگیر، یک سیستم نورپردازی، و یک کامپیوتر شخصی است. دوربین‌ها با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم قرار گرفته‌اند تا دو تصویر عمود بر هم از لیمو تهیه کنند. حجم محاسبه شده با این روش با حجم واقعی اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب با آزمون t و نیز آزمون p -اندازه مقایسه شد. حجم محاسبه شده با روش ماشین بینایی با حجم واقعی اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). اختلاف میانگین بین روش جابه‌جایی آب با روش ماشین بینایی ۰/۰۶ سانتی‌متر مکعب بود. نتایج خصوصیتی لیموها نشان داد که پارامترهای حجم محاسبه شده (V) و جرم اندازه‌گیری شده لیموها (M) وابستگی خوبی نسبت به هم، $M = 0.8894V + 2.2757$ و با ضریب تبیین، ۰/۹۶، دارند. در کل، روش ماشین بینایی به عنوان روشی ساده، دقیق، سریع، و غیر مخرب برای تخمین حجم و جرم لیمو و سایر مرکبات پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی

جرم، حجم، درجه‌بندی، روش قطعه‌بندی، لیمو، ماشین بینایی

مقدمه

(Safwat & Moustafa, 1971; Wright *et al.*, 1986; Tabatabaeefer & Rajabipour, 2005)

برخی مواقع در نظر است رابطه بین خواص فیزیکی محصولات تعیین شود. برای مثال، میوه‌ها اغلب براساس اندازه درجه‌بندی می‌شوند، اما طراحی و ارائه سیستم ماشین بینایی که بتواند محصول کشاورزی را بر اساس حجم یا جرم درجه‌بندی کند ممکن است. اندازه محصول کشاورزی اغلب با جرم آن ربط داده می‌شود زیرا اندازه‌گیری جرم نسبتاً ساده است. با این همه، درجه‌بندی و پایش رشد بر اساس حجم روش مفیدتری از درجه‌بندی را بر اساس جرم فراهم می‌کند. جرم محصول کشاورزی

اندازه و خصوصیات ابعادی میوه، از خواص فیزیکی مهم محصولات کشاورزی هستند. مخصوصاً، برآورد اندازه متوسط میوه در تعیین استانداردهای کیفی (Wilhelm *et al.*, 2005)، بالا بردن ارزش فروش، مونیتورینگ رشد میوه، پیش‌بینی عملکرد و به‌دست آوردن مقادیر بهینه آب آبیاری و کود همانند طراحی سیستم‌های درجه‌بندی مورد نیاز هستند. تعیین اندازه میوه در تصمیم‌گیری برای بسته‌بندی و فعالیت‌های حمل و نقل و فروش مفید است. در میان خواص فیزیکی، حجم، جرم، سطح تصویر شده و مرکز ثقل از عوامل مهم در طراحی سیستم‌های تعیین اندازه هستند

تصویر دیجیتالی ۳ درصد بود که با قرارگیری چهار تصویر این خطا به ۱/۹ درصد کاهش داده شد. لریستانی و همکاران (Lorestani *et al.*, 2006) یک سیستم درجه‌بندی بر اساس منطق فازی برای درجه‌بندی سیب گلدن دلشز ارائه داده‌اند. خصوصیات مثل رنگ و اندازه از طریق یک سیستم تحصیل داده شامل سورتر سیب، محفظه نورپردازی، دوربین، و کامپیوتر محاسبه شده‌اند. نتایج درجه‌بندی به‌دست آمده توافق ۹۱/۲ و ۹۵/۲ درصد را به ترتیب در حالت‌های off-line و on-line نسبت به کارشناس خبره نشان دادند.

هان و سانچز (Hahn & Sanchez, 2000) الگوریتم تصویری را برای محاسبه حجم محصولات کشاورزی غیر مدور مانند هویج ارائه دادند. سابیلوو و همکاران (Sabliov *et al.*, 2002) الگوریتم پردازش تصویری را برای تعیین تصویر سطح و حجم محصولات کشاورزی دارای محور تقارن به کار برده‌اند. وانگ و نگانگ (Wang & Nguang, 2007) با استفاده از روش سابیلوو و همکاران (Sabliov *et al.*, 2002) یک سنسور ارزان قیمت برای اندازه‌گیری تصویر سطح و حجم محصولات کشاورزی طراحی کردند. این محققان، با فرض اینکه شیء قرار گرفته استوانه‌ای است ارتفاع آن را یک پیکسل فرض و حجم هر جزء را محاسبه کردند و حجم کل را با جمع کردن استوانه‌های منفرد به دست آوردند. این محققان گزارش دادند که این روش، حجم و سطح تصویر تخم‌مرغ، لیمو، لیموترش، هلو، و گوجه فرنگی را به‌طور موفقیت‌آمیز تخمین زده است. بیلی و همکاران (Bailey *et al.*, 2004) سیستم پردازش تصویری را ارائه دادند که جرم محصولات کشاورزی را سریع و دقیق به‌دست می‌آورد. کک (Koc, 2007) حجم هندوانه را با دو

با در دست داشتن چگالی محصول از روی حجم آن قابل محاسبه است.

نگوجیو و همکاران (Ngouajio *et al.*, 2003) و هال و همکاران (Hall *et al.*, 1996) با اندازه‌گیری ابعاد معادله‌ای ساده برای تعیین حجم فلفل و کیوی ارائه داده‌اند. با این همه، اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از کولیس دیجیتالی با توجه به خطای انسانی، ممکن است روشی مناسب برای تعیین حجم، به‌خصوص در درجه‌بندی مقادیر بزرگی از محصولات کشاورزی یا مونیتورینگ محصول در طول برداشت نباشد.

در سال‌های اخیر، ماشین بینایی و پردازش تصویر به‌طور چشمگیری در کشاورزی مؤثر واقع شده است. به‌خصوص برای کاربردهایی در بازرسی کیفی و درجه‌بندی از نظر شکل. محققان در این زمینه امکان استفاده از سیستم‌های ماشین بینایی را برای بهتر کردن کیفیت تولید بدون نیاز به نیروی انسانی و فارغ از سیستم درجه‌بندی دستی مواد کشاورزی نشان داده‌اند. ماشین بینایی روشی مفید برای اندازه‌گیری خصوصیات ظاهری مانند شدت رنگ، یکنواختی رنگ، ضرب دیدگی، اندازه، شکل و شناسایی ساقه است (Lee *et al.*, 1999; Majumdar & Jayas, 2000; Shahin & Symons, 2001; Paliwal *et al.*, 2003; Shahin *et al.*, 2004; Shigeta *et al.*, 2004; Abbasgholipour *et al.*, 2006; Jafari *et al.*, 2006). ماشین بینایی برای تعیین ابعاد میوه و اشیای نامنظم از نظر شکلی به دلیل غیر مخرب بودن مورد توجه است. فربز و تاترسفیلد (Forbes & Tattersfield, 1999) یک الگوریتم ماشین بینایی را با استفاده از شبکه عصبی برای تعیین حجم گلابی با استفاده از دو عدد تصویر دیجیتالی به کار بردند که RMS با استفاده از یک

تعیین حجم و جرم لیمو با استفاده از سیستم ...

مدیریتی مختلف، یا توسعه یک حسگر پایش مزرعه بسیار مهم است. روش پردازش تصویر ارائه شده کلی است و می‌تواند برای تخمین حجم و به تبع آن تخمین جرم دیگر محصولات کشاورزی مخصوصاً سایر مرکبات نیز استفاده شود.

مواد و روش‌ها

پنجاه لیموترش شیرازی (*Citrus Aurantifolia*) از بازار خریداری شد. جرم هر کدام از لیموها با ترازوی دیجیتال با دقت ± 0.01 گرم اندازه‌گیری شد. کمترین، بیشترین، و انحراف معیار جرم‌های به‌دست آمده به ترتیب ۹/۸، ۲۶/۸ و ۳/۹ گرم بود. حجم واقعی لیموها با استفاده از روش جابه‌جایی آب اندازه‌گیری شد (Akar & Aydin, 2005; Aydin & Musa Ozcan, 2007). با غوطه‌ور کردن لیموها در آب، کمترین، بیشترین، و انحراف معیار حجم‌های به‌دست آمده نیز به ترتیب ۹/۹، ۲۷/۶ و ۴/۰ سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. دمای آب در حین اندازه‌گیری در ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شد. جدول ۱ بیشترین، کمترین، و متوسط برخی از خواص فیزیکی لیمو را نشان می‌دهد.

روش تخمین بیضوی و پردازش تصویر به‌دست آورد و برای تعیین دقت سیستم آنها را با روش جابه‌جایی آب مقایسه کرد. و سرانجام امیری-پریان و همکاران (Amiri Parian et al., 2007) به کمک یک دوربین دیجیتال و یک آینه تخت حجم سیب‌زمینی را پس از تصویربرداری، با دو روش برآورد کردند: روش اول، تعیین رابطه تجربی مبتنی بر برآورد حجم بر اساس سه قطر اصلی و روش دوم، تقسیم تصویر به قطعات کوچک‌تر به شکل مخروط ناقص با مقطع بیضی و برآورد حجم از مجموع حجم قطعات. اندازه سه قطر اصلی و طول قطعات مخروط ناقص را با پردازش تصویر تعیین کردند. با اندازه‌گیری حجم واقعی سیب‌زمینی از طریق جابه‌جایی آب، میزان خطای هر دو روش محاسبه و مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش تقسیم تصویر به ۶۴ قسمت، حجم را با دقت بسیار بالاتری (خطای حدود ۸/۱۵ درصد) نسبت به روش رابطه تجربی (خطای ۲۰/۵ درصد) برآورد می‌کند.

هدف از این تحقیق ارائه یک الگوریتم مناسب برای تعیین حجم و جرم لیمو بر اساس یک سیستم ماشین بینایی است. تخمین حجم لیمو برای درجه‌بندی از نظر اندازه، پایش رشد تحت عملیات

جدول ۱- بیشترین، کمترین، و متوسط برخی از خواص فیزیکی لیمو

خواص فیزیکی	بیشترین	کمترین	متوسط
حجم واقعی (سانتی‌متر مکعب)	۲۷/۶	۹/۹	۲۰/۵
جرم (گرم)	۲۶/۸	۹/۸	۲۰/۶
قطر بزرگ (میلی‌متر)	۴۵	۲۹	۳۷/۲۸
قطر کوچک (میلی‌متر)	۳۵/۲	۲۴	۳۱/۶
قطر متوسط (میلی‌متر)	۳۶	۲۴/۴	۳۲
ضریب کرویت	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۹۰

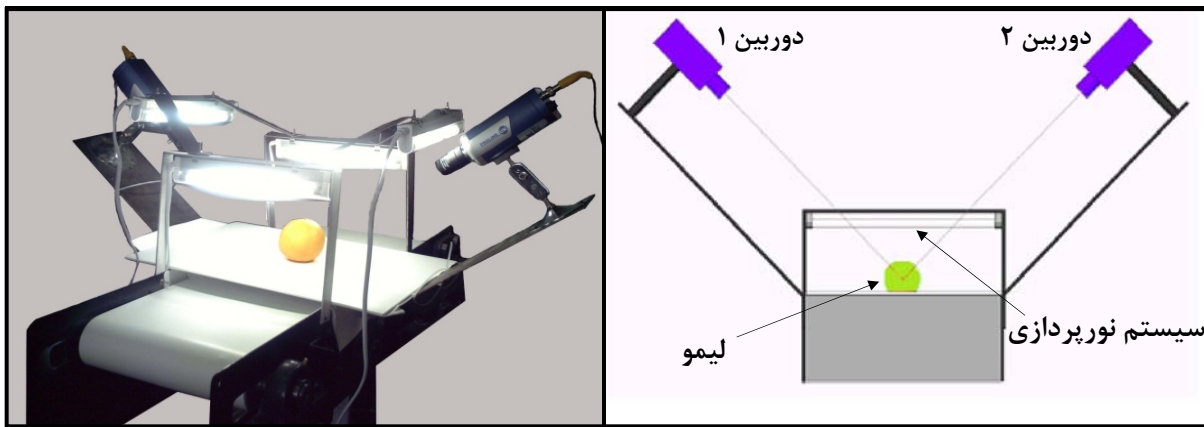
تلویزیون را فراهم می‌کنند. دوربین‌ها با نصب CS لنزها با منبع ۲۴ ولت تغذیه می‌شوند. برای نورپردازی یکنواخت، از چهار لامپ فلورسنت استفاده شد. محل نصب این لامپ‌ها به صورت تجربی تعیین شد تا تصویری مناسب و بدون سایه فراهم کنند. یک صفحه سفید روی میز آزمایش قرار داده شد تا زمینه سفید فراهم کند. دوربین‌ها همان‌طور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است نسبت به هم زاویه ۹۰ درجه تشکیل داده‌اند تا دو تصویر عمود بر هم از هر لیمو ضبط کنند. منبع نور و دوربین‌ها روی یک قاب وصل شده‌اند و روی میز اندازه‌گیری قرار گرفتند. الگوریتم در زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک ۶/۰ نوشته شد. برنامه نوشته شده، تصویر لیمو را می‌گیرد و دو تصویر عمود بر هم از لیمو ضبط می‌کند.

برای تعیین حجم لیموها به صورت غیر مخرب یک سیستم ماشین بینایی طراحی و ارزیابی قرار شد. طراحی این سیستم شامل سه مرحله زیر می‌شد:

- گرفتن تصویر
- پردازش تصویر
- محاسبه حجم لیمو

گرفتن تصویر

سیستم ماشین بینایی شامل دو عدد دوربین CCD با قدرت وضوح ۵۱۰×۴۹۲ پیکسل (ROLINE-565s)، دو عدد کارت تصویرگیر، یک سیستم نورپردازی مناسب و یک کامپیوتر شخصی بود (شکل ۱). دوربین‌ها در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری دارای فاصله کانونی ۳/۵-۸ میلی‌متر با وضوح ۵۱۰×۴۹۲ پیکسل هستند که وضوح ۴۸۰ خط



شکل ۱- الف) شماتیک سیستم ماشین بینایی و ب) سیستم ماشین بینایی مورد مطالعه

با تعیین R، G، و B تمامی پیکسل‌های زمینه، انحراف معیار (σ) تصویر محاسبه شد. در ادامه با گرفتن تصویر محصول قرار گرفته در مقابل دوربین‌ها، مقادیر RGB هر پیکسل از تصویر دوباره استخراج و با مقادیر به‌دست آمده از تصویر زمینه مقایسه شد. اگر اختلاف بین دو مقدار به‌دست آمده برای هر پیکسل در دو تصویر کمتر از ۳۵ بود آن پیکسل به عنوان زمینه و در غیر این صورت به

پردازش تصویر

ابتدا برای حذف زمینه از تصاویر محصول یک تصویر از زمینه ضبط شد و با استفاده از رابطه ۱، مقادیر RGB هر پیکسل از تصویر زمینه استخراج و در یک بانک اطلاعاتی ذخیره شد.

$$P(X, Y) = B \times 2^{16} + G \times 2^8 + R \quad (1)$$

تعیین حجم و جرم لیمو با استفاده از سیستم ...

مخروط و ارتفاع مخروط ابعاد مورد نیاز برای محاسبه حجم مخروط هستند (شکل ۲). سطح مقطع هر یک از قطاع‌ها را می‌توان با استفاده از دو قطر عمود برهم به دست آمده از دو تصویر عمود بر هم محاسبه کردند (شکل ۲-ج). سطح مقطع هر قطاع با فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$A_i = \pi * \frac{d_{i_i}}{2} * \frac{d_{i_r}}{2} \quad (3)$$

که در آن، d_{i_r} و d_{i_i} = دو قطر عمود بر هم سطح هستند. حجم هر قطاع با در دست داشتن دو سطح قطاع از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} * \delta \quad (4)$$

که در آن، A_i و A_{i+1} = مساحت سطوح قطاعی i و $i+1$ ام و δ = ضخامت هر یک از قطاع‌هاست که از تقسیم قطر محصول بر تعداد قطاع به دست می‌آید. در این تحقیق، تعداد قطاع برای تمام لیموها ۸ در نظر گرفته شد. انتخاب عدد ۸ به این دلیل بود که با اجرای آزمایش برای تعداد قطاع‌های با مضرب ۲، اختلاف معنی‌داری بین تعداد قطاع‌های ۸، ۱۶، و ۳۲ حاصل نشد. چون با افزایش تعداد قطاع‌ها مدت زمان محاسبات افزایش پیدا می‌کند تعداد قطاع ۸ انتخاب شد. دقت محاسبه سطوح قطاع‌ها بستگی به قرارگیری بزرگترین قطر هر قطاع دارد. و سرانجام، حجم کل لیمو با جمع کردن حجم هر یک از قطاع‌ها به دست آمد:

$$V_{IP} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (5)$$

که در آن n = تعداد قطاع و برابر ۸ است.

عنوان بخشی از محصول بود (رابطه ۲):

$$\text{If } |P_B - P_F| \leq 3\sigma, \text{ then Pixel} = \text{Background} \quad (2)$$

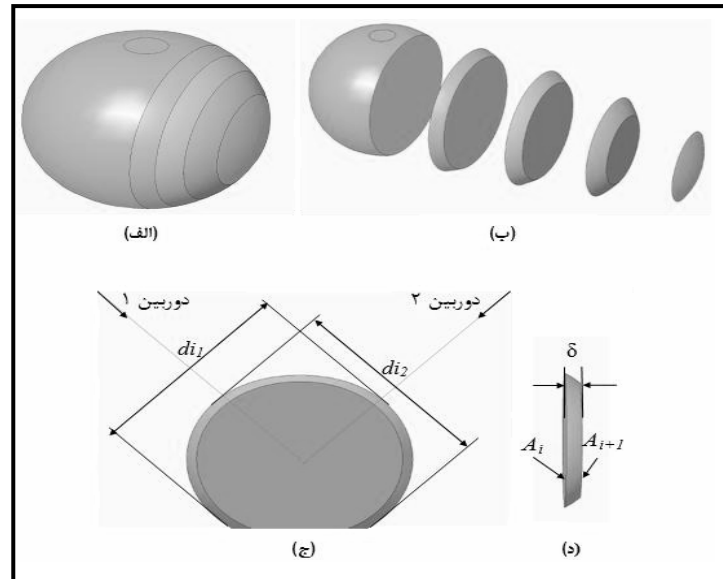
که در این رابطه، P_B مقادیر RGB پیکسل تصویر زمینه و P_F مقادیر RGB پیکسل تصویر میوه است. مقدار 3σ با روش تجربی به دست آمد، بدین صورت که با روش سعی و خطا ابتدا مقدار کل 3σ تعیین شد (مقداری که در آن بهترین کیفیت جداسازی زمینه به دست می‌آید) و سرانجام با مقایسه آن با انحراف معیار محاسبه شده، این نتیجه به دست آمد که مقدار حاصل از روش تجربی سه برابر انحراف معیار محاسبه شده برای رنگ‌های R، G، و B تصویر بود.

پس از حذف زمینه به روش بالا، مقداری سایه در زیر محصول باقی می‌ماند. برای حذف سایه تشکیل شده از حدود آستانه بالا و پایین هیستوگرام سایه استفاده شد. این روش ساده، زمینه و سایه را برای لیمو و دیگر مرکبات که آزمایش شدند به خوبی حذف می‌کند.

در آخر، برای تبدیل واحد تصویر به واحد اندازه‌گیری مشخص، مانند سانتی‌متر مکعب برای محاسبه حجم، از ضریب ثابت $C_{vol} = 0.295 \times 10^{-3}$ استفاده شد که مقدار محاسبه شده برای حجم بر حسب پیکسل مکعب را به سانتی‌متر مکعب تبدیل می‌کند.

محاسبه حجم لیمو

برای محاسبه حجم لیموها با روش ماشین بینایی، از روش قطعه‌بندی استفاده شد. در این روش، با تقسیم کردن محصول به قطعات مخروطی شکل حجم هر قطعه محاسبه می‌شود و در نتیجه حجم محصول به دست می‌آید. نحوه محاسبه حجم مخروط، در کتاب‌های ریاضی موجود است (Szirtes, 2006). قطرهای بالایی و پایینی



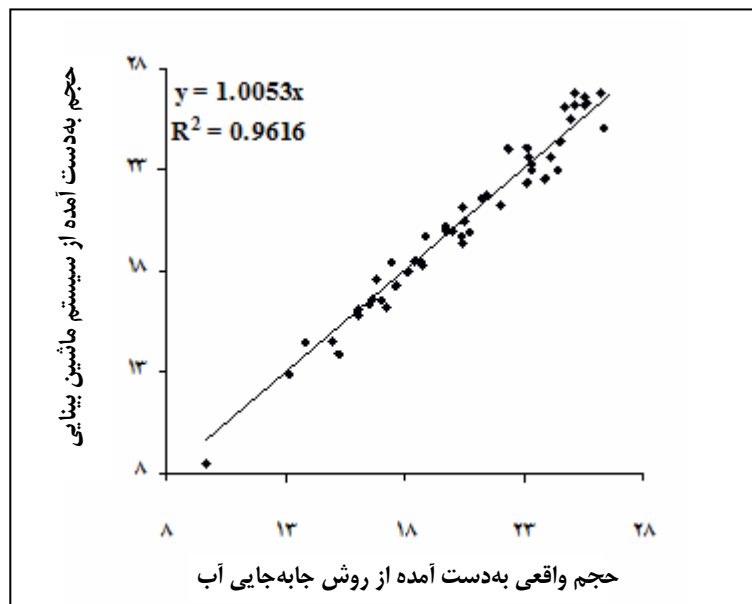
شکل ۲- الف) میوه لیمو، ب) قطعه‌بندی لیمو، ج) استخراج دو تا از قطرهای هر سطح از هر قطاع و د) ضخامت هر یک از قطاع‌ها و سطح آنها

برنامه‌های جانبی اکسل است.

نتایج و بحث

حجم تعیین شده با ماشین بینایی با حجم تعیین شده به روش جابه‌جایی آب مقایسه و نمودار حجم‌های تعیین شده با این دو روش در شکل ۳ نشان داده شده است. اختلاف میانگین حجم‌ها بین روش ماشین بینایی و روش جابه‌جایی آب $d = 0/06$ سانتی‌متر مکعب بود (در فاصله اطمینان ۹۵ درصد: $0/18$ و $0/31$ سانتی‌متر مکعب). انحراف معیار $sd = 0/86$ سانتی‌متر مکعب بود.

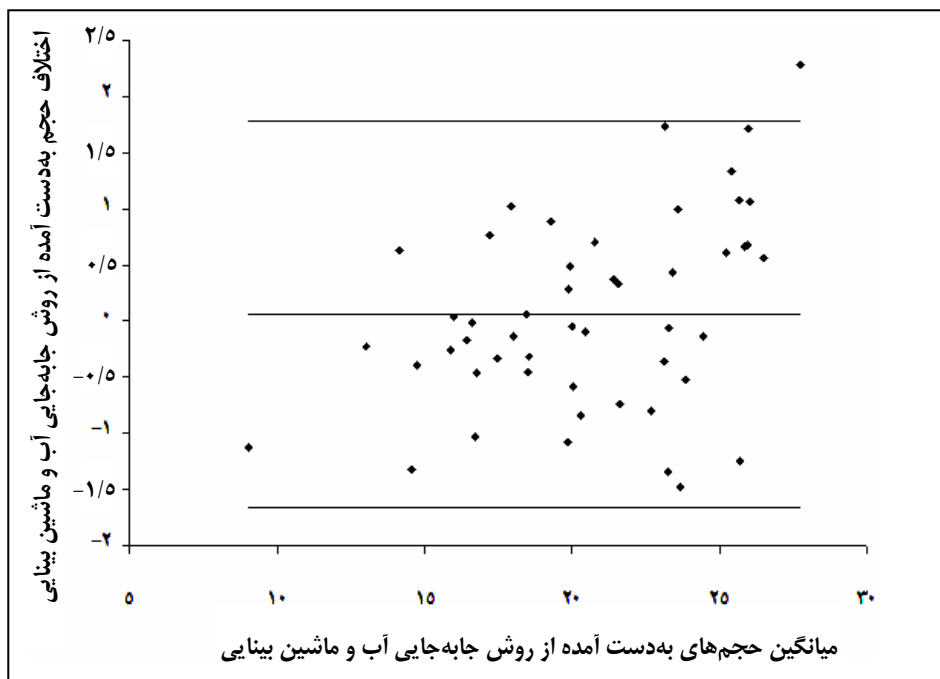
برای تحلیل آماری روش ماشین بینایی ذکر شده، آزمون t و فاصله اطمینان اختلاف میانگین برای مقایسه حجم تعیین شده از روش قطعه‌بندی و جابه‌جایی آب استفاده شد. برای تعیین اینکه آیا در دو روش اندازه‌گیری، حجم‌های اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری با هم دارند یا نه از آزمون t استفاده شد. ضمناً از روش بلاند-آلتمن (Bland & Altman, 1999) نیز برای رسم نمودار تطابق بین حجم واقعی اندازه‌گیری شده (روش جابه‌جایی آب) با حجم محاسبه شده به روش سیستم ماشین بینایی استفاده شد. تحلیل‌های آماری با Analysis-it انجام شد که یکی از



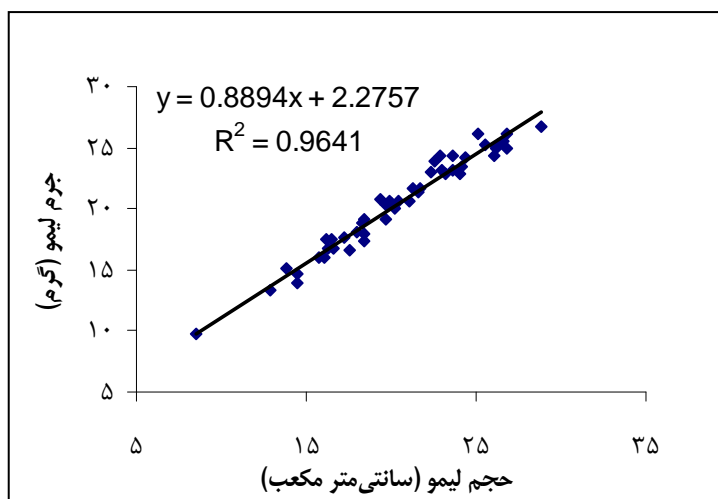
شکل ۳- خط برازش محاسبه حجم لیموترش به روش جابه‌جایی آب و سیستم ماشین بینایی

دلیل آن کوچک بودن اندازه محصول است. کک (Koc; 2007) از یک سیستم ماشین بینایی برای تعیین حجم هندوانه استفاده کرده و به این نتیجه رسیده است که با افزایش اندازه هندوانه خطای آزمایش‌ها نیز زیاد می‌شود. دلیل این موضوع بزرگ بودن اندازه محصول و تأثیر آن بر فاصله محصول تا دوربین و میزان بزرگنمایی تصویر است. با رسم نمودار، حجم لیموها در مقابل جرم آنها مشخص شد که با دقت بالایی جرم لیموها را می‌توان از روی حجم آنها محاسبه کرد (شکل ۵). رابطه جرم با حجم لیموها به صورت $M = 0.1894V + 2.2757$ با ضریب تبیین $R^2 = 0.9641$ محاسبه شد.

نتایج آزمون t اجرا شده نشان داد که حجم اندازه‌گیری شده لیمو با روش ماشین بینایی اختلاف معنی‌داری با حجم اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب نداشت ($p = 0.61$). اختلاف حجم بین این دو روش به‌طور نرمال توزیع شده و ۹۵ درصد اختلاف حجم بین $d + 1/96sd$ و $d - 1/96sd$ با ۹۵ درصد محدوده تطابق، قرار داشت (Bland & Altman, 1999). ۹۵ درصد محدوده تطابق برای حالت مقایسه بین حجم اندازه‌گیری با جابه‌جایی آب و ماشین بینایی ۱/۷۷ و ۱/۶۵- سانتی‌متر مکعب بود (شکل ۴). نمودار بلاند-آلتمان نشان داد که اندازه لیموها تأثیری در میزان خطای سیستم ندارد که



شکل ۴- نمودار بلاند-آلتمن برای مقایسه حجم لیموترش‌های اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب و ماشین بینایی. خط‌های بیرونی نشان‌دهنده ۹۵ درصد محدوده تطابق (۱/۶۵- و ۱/۷۷ سانتی‌متر مکعب) و خط مرکزی نشان‌دهنده اختلاف میانگین است (۰/۰۶۲ سانتی‌متر مکعب)



شکل ۵- نمودار حجم لیموها (سانتی‌متر مکعب) در مقابل جرم آنها

تعیین حجم و جرم لیمو با استفاده از سیستم ...

جابه‌جایی آب) با حجم به‌دست آمده با روش قطعه‌بندی اختلاف معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$). آزمون بلاند-آلتمن نشان داد که اندازه لیموها در دقت محاسبه حجم سیستم تأثیری ندارد. در کل، پردازش تصویر با روش قطعه‌بندی روشی است دقیق، ساده، سریع، و غیر مخرب برای تعیین حجم لیمو که می‌تواند در پایش سرعت رشد مرکبات در باغ و عملکرد آن در برداشت مکانیکی، تعیین وزن تک‌تک محصول، و درجه‌بندی آنها در فرایند پس از برداشت در ماشین‌های درجه‌بند و بسته‌بند خودکار استفاده شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید محاسبه حجم لیمو بر اساس سیستم ماشین‌بینایی ارائه شد. این روش را به آسانی می‌توان برای تعیین حجم برخی از محصولات کشاورزی از جمله پیاز، خربزه، کیوی، هلو، پرتقال و ... نیز به‌کار برد که روش قطعه‌بندی است و در آن حجم محصول از مجموع حجم قطاع‌های مشخص با تعیین مساحت سطح قطاع‌ها از طریق دو عدد دوربین رنگی CCD محاسبه می‌شود.

حجم محاسبه‌شده با این تکنیک با حجم محاسبه‌شده از روش جابه‌جایی آب مقایسه شد. حجم واقعی (روش

قدردانی

نویسندگان مقاله لازم می‌دانند که به دلیل تأمین مالی این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران، مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام کنند.

مراجع

- Abbasgholipour, M., Omid, M. and Borghei, A. M. 2006. Development of an efficient algorithm for grading raisins based on color features. Proceedings of International conference on Innovations in Food and Bioprocess Technologies. Dec. 12-14. AIT. Thailand. 448-457.
- Akar, R. and Aydin, C. 2005. Some physical properties of Gumbo fruit varieties. J. Food Eng. 66, 387-393.
- Amiri Parian, J., Khoshtaghaza, M. H., Kabir, E. and Minaei, S. 2007. Volume estimation of potatoes using image processing. JAER. 8(4): 113-126. (in Farsi)
- Aydine, C. and Musa Ozcan, M. 2007. Determination of nutritional and physical properties of myrtle (Myrtus Communis L.) fruit growing wild in Turkey. J. Food Eng. 79, 453-458.
- Bailey, D. G., Mercer, K. A., Plaw, C., Ball, R. and Barraclough, H. 2004. High speed weight estimation by image analysis. In: Mukhopadhyay, S. C., Browne, R. F. and Gupta, G. S. (Eds.) Proceedings of the 2004 New Zealand National Conference on Non Destructive Testing. July 27-29. Palmerston North. New Zealand. 89-96.
- Bland, J. M. and Altman, D. G. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. Stat. Methods Med. Res. 8, 135-160.

- Forbes, K. A. and Tattersfield, G. M. 1999. Estimating fruit volume from digital images. AFRICON. Cape Town: South Africa. IEEE(1): 107-112.
- Hahn, F. and Sanchez, S. 2000. Carrot volume evaluation using imaging algorithms. J. Agric. Eng. Res. 75, 243-249.
- Hall, A. J., McPherson, H. G., Crawford, R. A. and Seager, N. G. 1996. Using early season measurements to estimate fruit volume at harvest in kiwifruit. N. Z. J. Crop Hortic. Sci. 24, 379-391.
- Jafari, A. A., Mohtasebi, S., Eghbali Jahromi, H. and Omid, M. 2006. Weed detection in sugar beet fields using machine vision. Int. J. Agri. Biol. 8(5): 602-605.
- Koc, A. B. 2007. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. Postharvest Biol. Technol. 45, 366-371.
- Lee, W. S., Slaughter, D. C. and Giles, D. K. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. Precision Agric. 1, 95-113.
- Lorestani, A. N., Omid, M., Bagheri Shooraki, S., Borghei, A. M. and Tabatabaefar, A. 2006. Design and evaluation of a fuzzy logic based decision support system for grading of Golden Delicious apples. Int. J. Agric. Biol. 8(4): 440-444.
- Majumdar, S. and Jayas, D. S. 2000. Classification of cereal grains using machine vision: II- Color models. ASAE. 43(6): 1677-1680.
- Ngouajio, M., Kirk, W. and Goldy, R. 2003. A simple model for rapid and nondestructive estimation of bell pepper fruit volume. Hort. Sci. 38, 509-511.
- Paliwal, J., Borhan, M. S. and Jayas, D. S. 2003. Classification of cereal grains using a flatbed scanner. ASAE. Paper No. 036103. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.
- Sabliov, C. M., Boldor, D., Keener, K. M. and Farkas, B. E. 2002. Image processing method to determine surface area and volume of axi-symmetric agricultural products. Int. J. Food Prop. 5, 641-653.
- Safwat, M. and Moustafa, A. 1971. Theoretical prediction of volume, surface area, and center of gravity for agricultural products. Trans. ASAE. 14(2): 549-553.
- Shahin, M. A. and Symons, S. J. 2001. A machine vision system for grading lentils. Canadian Biosys. Eng. 7, 7-14.
- Shahin, M. A., Symons, S. J. and Meng, A. X. 2004. Seed Sizing with Image Analysis. ASAE. Paper No. 043121. St. Joseph. MI 49085-9659. USA.

تعیین حجم و جرم لیمو با استفاده از سیستم ...

- Shigeta, K., Motonaga, Y., Kida, T. and Matsuo, M. 2004. Distinguishing damaged and undamaged chaff in rice whole crop silage by image processing. ASAE Annual Meeting. Paper No. 043125.**
- Szirtes, T. 2006. Applied Dimensional Analysis and Modeling. 2nd Ed. Elsevier Science & Technology Books. Butterworth Heinemann.**
- Tabatabaeefar, A. and Rajabipour, A. 2005. Modeling the mass of apples by its geometrical attributes. Scientia Hortic. 105, 373-382.**
- Wang, T. Y. and Nguang, S. K. 2007. Low cost sensor for volume and surface area computation of axi-symmetric agricultural products. J. Food Eng. 79, 870-877.**
- Wilhelm, L. R., Suter, D. A. and Brusewitz, G. H. 2005. Physical properties of food materials. Food Proc. Eng. Technol. ASAE. St. Joseph. MI 49085-9659. USA. 23-52.**
- Wright, M. E., Tappan, J. H., and Sistler, F. E. 1986. The size and shape of typical sweet potatoes. Trans. ASAE. 29(3): 678-682.**



Determination of Volume and Mass of Lemons by Mechine Vision System

M. Khojastehnazhad, M. Omid* and A. Tabatabaeefar

* Corresponding Author: Associate Professor. University of Tehran, P. O. Box: 4111, Tehran, Iran. E-mail: omid@ut.ac.ir

Physical characteristics of agricultural products are the most important parameters in the design of grading, conveying, processing and packaging systems. Among these physical characteristics, volume, mass, projected area and center of gravity are the most important for sizing systems. In this study, the segmentation method was used to estimate lemon volume. A total of 50 randomly selected lemons were examined. The mechanized scanning system consisted of two CCD cameras, two capture cards, an appropriate lighting system and a personal computer. The cameras were arranged at right angles to each other to capture perpendicular images of the lemons. The estimated volume using this technique was compared to the actual volume of the lemons, measured by water displacement, using a paired *t*-test and the Bland-Altman approach. The estimated volume using the mechanized scanning method was not significantly different from that determined by water displacement ($p > 0.05$). The mean difference between water displacement and mechanized scanning was -0.06 cm^3 . The characterization results of the lemons showed that the computed volume and measured mass parameters were highly correlated, $M = 0.8894V + 2.2757$, with a coefficient of determination of 0.96. In conclusion, the mechanized scanning technique provides a simple and efficient methodology for estimating lemon volume and mass.

Key Words: Lemon, Mass, Mechanized Scanning, Segmentation Method, Sizing, Volume