

برآورد حجم گردو به کمک روش پردازش تصویر بر اساس خاصیت پرسپکتیو و جمع‌المان‌های متشابه

حمید رضا احمدی^۱ و جعفر امیری پریان^{۲*}

چکیده

محاسبه حجم محصولات کشاورزی به دلیل‌های مختلفی از جمله بررسی کیفیت و درجه‌بندی انجام می‌شود. در چند سال اخیر استفاده از روش غیرمخرب و سریع ماشین‌بینایی با کامپیوتر و دوربین‌های دیجیتال گسترش و محبوبیت یافته است. این پژوهش تلاشی برای توسعه و ارزیابی یک الگوریتم جدید پردازش تصویر برای تصحیح خطای خاصیت پرسپکتیو طبیعی تصویربرداری و برش‌المان‌های متشابه و جمع حجم آن‌ها برای برآورد حجم محصول است که در این پژوهش از محصول گردو استفاده شده است. در کنار آرایه این روش چند روش رایج دیگر شامل روش وزن آب جابجا شده به عنوان روش مرجع، استفاده از قطر میانگین هندسی و استفاده از مساحت سطح منطری نیز آورده شده است تا بتوان نتایج این روش را روی گردو بهتر ارزیابی کرد. خطاهای روش‌های استفاده از قطر میانگین هندسی، مساحت سطح منطری، جمع‌المان‌های متشابه به ترتیب ۹/۶٪، ۱۰/۲٪ و ۱۰/۷٪ به دست آمد. نتایج نشان داد که در ماشین‌بینایی به دلیل خاصیت پرسپکتیو طبیعی در تصویربرداری، اجسام کوچک (گردو) نسبت به اجسام بزرگ‌تر خطای بیشتری برای حجم سنجی ایجاد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: المان متشابه، پردازش تصویر، پرسپکتیو، حجم سنجی، گردو.

ارجاع: ح. ر. احمدی و ج. امیری پریان. ۱۳۹۲. برآورد حجم گردو به کمک روش پردازش تصویر بر اساس خاصیت پرسپکتیو و جمع‌المان‌های متشابه. مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲(۲): ۱۹-۲۷.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا.

* نویسنده مسئول: amiriparian@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۵

مقدمه

محاسبه‌های حجم محصولات کشاورزی به دلیل‌های مختلفی از جمله بررسی کیفیت و درجه‌بندی انجام می‌شود. درجه‌بندی محصولات کشاورزی به چند دلیل عمده از جمله بازار پسندی، بسته‌بندی و استفاده از ماشین‌آلات فرآوری در صنایع غذایی انجام می‌شود (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸۶). بررسی کیفیت نیز برای جداسازی محصولات سالم از ناسالم انجام می‌شود. محصولاتی شبیه گردو، بادام و پسته، گاهی به خاطر رشد بیماری‌ها و قارچ و آفت‌ها کیفیت‌شان پایین می‌آید و چروکیدگی مغز پیدا می‌کنند، در حالی که ظاهر پوسته آن‌ها تغییر نمی‌کند، با این حال چگالی محصول دچار تغییر می‌شود (حاجی‌زاده و کسرایی، ۱۳۸۷). در نتیجه می‌توان برای تعیین عیب‌های پنهان مانند سرمازدگی و پوکی، چگالی محصولات را ملاک قرار داده با محاسبه جرم و حجم محصول، کیفیت آن را تعیین و محصولات ناسالم را از سالم جدا کرد (ویلیام و همکاران، ۱۹۹۸).

تاکنون پژوهشگران زیادی بر روی سنجش حجم محصولات به روش‌های مختلف کار کرده‌اند. تلاشی برای سنجش حجم سیب‌زمینی با استفاده از حلقه‌ای از سنسورها توسط گال و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد که برای نمونه‌های کوچک‌تر از ۷۰ سانتی‌متر مکعب خطا بیش‌تر از ۶ درصد شد و برای نمونه‌های بزرگ‌تر خطا تا ۱ درصد کاهش یافت. لی و همکاران (۲۰۰۶) با عکس برداری‌های متوالی دور تا دور نمونه و تبدیل این تصویرها به یک شکل سه بعدی، توانستند در محاسبه حجم سیب، طالبی، توت فرنگی و گوجه فرنگی به ضریب تغییرات کمتر از ۷ درصد برسند. در این روش ۳۰ تصویر در ۱۸۰ درجه با فاصله‌های ۶ درجه‌ای گرفته شد. دوو و سان (۲۰۰۶) حجم کک‌تل در محدوده ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ سانتی‌متر مکعب را با استفاده از تصویر از روبرو به دو روش المان‌بندی با خطای ۵/۲٪ و مشتق‌گیری با خطای ۴/۵٪ محاسبه کردند. در این پژوهش برای هر روش ۸ نمونه استفاده شده بود. در پژوهشی با استفاده از المان‌بندی تصویر سیب‌زمینی و اندازه‌گیری دو قطر اصلی با فرض بیضی‌گون بودن المان‌ها، خطایی برابر با ۸/۱٪ برای محاسبه نمونه‌های سیب‌زمینی با میانگین حجمی ۱۳۴ سانتی‌متر مکعب گزارش شده است (امیری پریان و همکاران، ۱۳۸۶). در پژوهشی دیگر حاجی‌زاده و کسرایی (۱۳۸۷)

برای درجه‌بندی گردو و جداسازی گردوهای ناسالم، از حجم نمونه‌ها که به روش ماشین بینایی به دست آمده بود، استفاده کردند. ایشان در استفاده از روش المان‌بندی برای به دست آوردن حجم گردو به ضریب تبیین برابر ۷۷٪ رسیدند. امید و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از دو دوربین و اندازه‌گیری دو قطر متعام با فرض بیضوی بودن مقاطع، حجم چهار محصول لیمو، لیمو ترش، پرتقال و نارنگی را محاسبه کرده و ضریب تبیین آن‌ها با حجم واقعی اندازه‌گیری شده به روش جابجایی آب به ترتیب ۰/۹۶۲، ۰/۹۷۰، ۰/۹۸۵ و ۰/۹۵۹ به دست آمد. معرف‌زاده (۱۳۹۰) حجم سیب‌زمینی را در یک سیستم بلادرنگ بر اساس تعیین سطح مقطع دقیق به کمک نورپردازی ساختار یافته با لیزر و روش المان‌بندی با دقت ۹۳/۴ درصد محاسبه کرد.

محاسبه حجم به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. در چند سال اخیر استفاده از روش غیرمخرب و سریع ماشین بینایی با رایانه و دوربین‌های دیجیتال، گسترش و محبوبیت یافته است. این پژوهش تلاشی برای آرایه و بررسی یک الگوریتم پردازش تصویر برای حجم‌سنجی شامل برش المان‌های متشابه و جمع حجم آن‌ها است که در آن به بررسی کامل قانون‌های حاکم بر پرسپکتیو تصویرها در سه بعد پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۲۴۶ گردو با نام علمی Z66 از شهرستان توپسرکان تهیه و طی مراحل به چهار طریق زیر حجم آن‌ها محاسبه شد که به دو صورت اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف- روش اندازه‌گیری مستقیم

۱- وزن آب جابجا شده

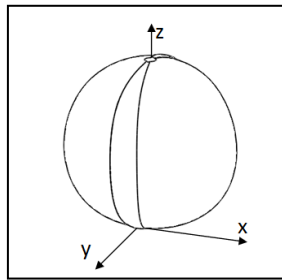
۲- قطر میانگین هندسی

ب- روش غیرمستقیم (پردازش تصویر)

۳- با استفاده از مساحت سطح منطری

۴- جمع حجم المان‌های متشابه

روش ۱ به عنوان روش مرجع در نظر گرفته شد و هدف اصلی از انجام این پژوهش، استفاده از الگوریتم روش چهارم به کمک پردازش تصویر است و استفاده از سه روش دیگر برای ارزیابی بهتر این روش انجام شده است که در زیر توضیح داده می‌شوند.



شکل ۱- نحوه قرارگیری گردو در محورهای مختصات

ب- روش غیرمستقیم (پردازش تصویر)

این روش به طور کلی شامل مراحل: تهیه تصویرها، بخش‌بندی، نرمال‌سازی و محاسبه‌ها است که در زیر توضیح داده می‌شوند. پیاده‌سازی کلیه الگوریتم‌های این بخش بر اساس نرم‌افزار MATLAB 2009a انجام شد.

تهیه تصاویر

از هر گردو در زمینه سفید، نورپردازی مناسب به کمک دو لامپ فلورسنت ۲۰ وات و فاصله یکسان (حدود پانزده سانتی‌متر از سطح استقرار گردو)، با توجه به نحوه قرارگیری در محورهای مختصات طبق شکل ۱، به کمک دوربین دیجیتال (Sony DSC-H20) سه تصویر در جهت‌های اصلی تهیه شده و به نام‌های P_x ، P_y و P_z (تصویر در راستای محور x ، y و z) ثبت شد. اندازه تصاویرها ۱۵۳۶×۲۰۴۸ ، با فرمت jpg بود.

بخش‌بندی تصویر

در این مرحله بخش‌بندی تصویر به روش آستانه‌گیری انجام شد (شکل ۲). با توجه به استفاده از زمینه سفید و نورپردازی مناسب، آستانه مناسب برای این کار طبق بافت‌نگار نشان داده شده در شکل ۲ وجود داشت.

الف- روش اندازه‌گیری مستقیم

۱- وزن آب جابجا شده

در این روش یک بشر ۵۰۰ سی‌سی که تا ۴۰۰ سی‌سی آب درون آن ریخته شده، روی ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم گرم قرار داده شد و جرم آن به عنوان m_1 ثبت شد. سپس نمونه‌های گردو به کمک تکه سیمی درون آب به طور کامل غوطه‌ور شدند که جرم مشاهده شده در این حالت با نام m_2 ثبت شد. در نهایت با داشتن چگالی آب (ρ_w) و معادله ۱، حجم واقعی گردو (V_a) بر حسب سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (محسنین، ۱۹۷۰).

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_w} \quad (۱)$$

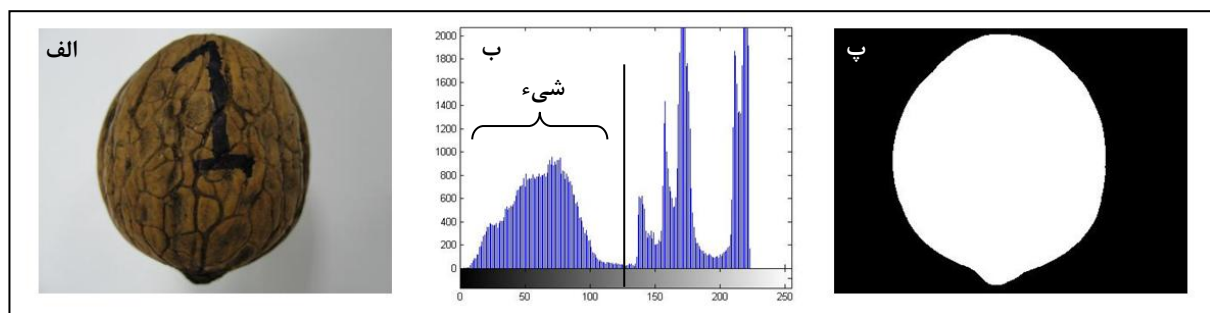
۲- قطر میانگین هندسی

در این روش، سه قطر اصلی هر گردو (D_x ، D_y ، D_z) با توجه به نحوه قرارگیری در محورهای مختصات طبق شکل ۱، با کولیس دیجیتال با دقت یک صدم میلی‌متر ($۰/۰۱$) اندازه‌گیری شده، سپس با فرض کروی بودن گردو و محاسبه قطر معادل (D_e) (معادله ۳)، از طریق معادله ۲ حجم گردو محاسبه شد.

$$V_{D_e} = \frac{4}{3} \pi (D_e / 2)^3 \quad (۲)$$

$$D_e = \sqrt[3]{D_x \times D_y \times D_z} \quad (۳)$$

در این معادله V_{D_e} ، حجم محاسبه شده از طریق قطر میانگین هندسی است.



شکل ۲- الف- نمای گردو از بالا ب- بافت‌نگار سطح خاکستری ج- بخش‌بندی

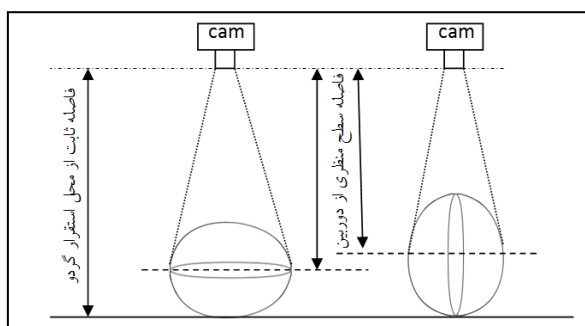
نرمال‌سازی تصاویر

در استفاده از روش جمع المان‌های متشابه، به دلیل‌های که در ادامه توضیح داده می‌شود، باید تصویرها نسبت به هم نرمال باشند. یعنی به عنوان مثال D_y (قطر در راستای

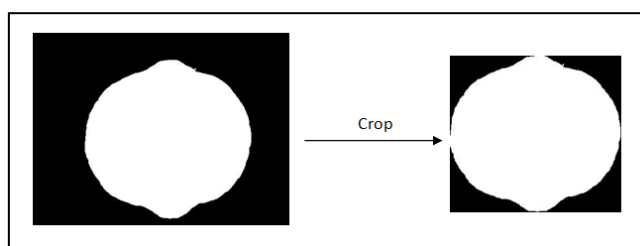
محور y) در تصویرهای P_x و P_z یکسان باشد. با توجه به خطای طبیعی عکس‌برداری به دلیل حالت پرسپکتیو و تفاوت فاصله سطح منظری گردو از دوربین در سه جهت اصلی، به دلیل قطرهای متفاوت گردو، تصویرها نسبت به

محاسباتی، تصویر اصلی به تصویر کوچک‌تر به ابعاد مستطیل دربرگیرنده گردو تبدیل شد (شکل ۴).

هم نرمال نبوده (شکل ۳) و نیاز به نرمال‌سازی دارند. قبل از نرمال‌سازی برای پایین آوردن حجم تصویرها، همچنین برابر شدن قطرهای با ابعاد تصویرها و در نهایت کاهش بار



شکل ۳- اثر فاصله در ایجاد خطای تصویر برداری

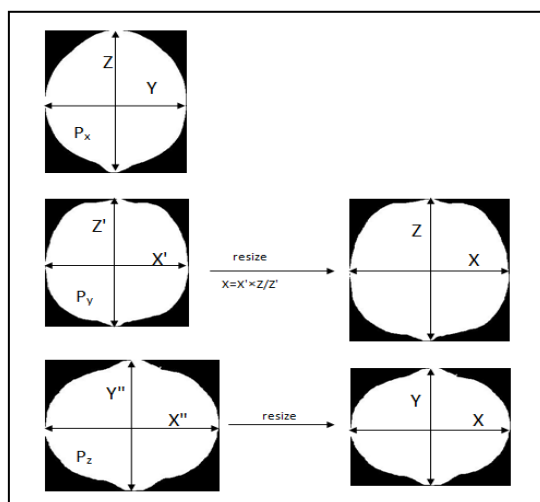


شکل ۴- تبدیل تصویر اصلی به تصویر کوچک‌تر دربرگیرنده گردو

طوری تغییر می‌دهیم که نسبت طول به عرض تصویر P_y ثابت مانده، مقدار جدید را به نام X نام‌گذاری می‌کنیم. در نهایت تصویر P_z را به مقدار X از P_y و P_x از P_x تغییر اندازه می‌دهیم. انتخاب تصویر P_x به عنوان معیار، بر مبنای انحراف معیار کمتر D_x ($2/2$) نسبت به دو قطر دیگر بوده و تصویر P_y به دلیل انحراف معیار کمتر D_y ($2/4$) نسبت به انحراف معیار D_z ($4/7$) در اولویت بعدی قرار گرفت و تغییر اندازه P_z به‌طور کامل وابسته به دو تصویر دیگر شد.

ابعاد اولیه تصویرها شکل ۵، نشان داده شده‌اند. به طور مثال Y قطر معادل D_y در تصویر P_x می‌باشد و Y'' قطر معادل D_y در تصویر P_z است. همین‌طور Z قطر معادل D_z در تصویر P_x ، Z' قطر معادل D_z در تصویر P_y ، X' قطر معادل D_x در تصویر P_y و X'' قطر معادل D_x هستند که X' با X'' ، Y با Y'' و Z با Z' به دلیل نرمال نبودن تصویرها نسبت به هم می‌تواند نابرابر باشند.

برای نرمال‌سازی طبق شکل ۵، تصویر P_x را معیار قرار می‌دهیم و Z' را در تصویر P_y به Z تبدیل کرده و X' را



شکل ۵- فرایند نرمال‌سازی تصاویر

۳- مساحت سطح منظری

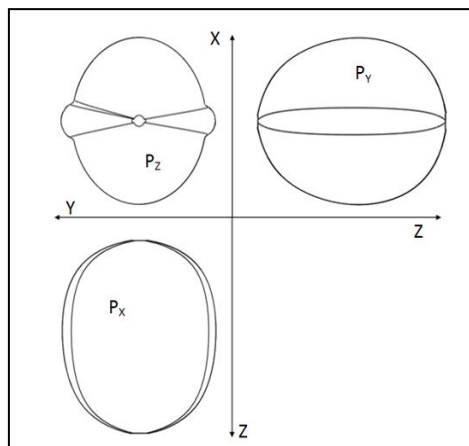
در این روش ابتدا مساحت سطح منظری سه تصویر P_y , P_x و P_z با استفاده از شمارش پیکسل‌های سفید شی به دست آمده سپس با استفاده از معادله ۴ حجم جسم محاسبه شد. ارتباط بین حجم‌های محاسبه شده و حجم واقعی از طریق رگرسیون تعیین می‌شود.

$$V_{A_i} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{A_i}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

در اینجا، A_i مساحت سطح منظری در تصویر P_i ، V_{A_i} حجم محاسبه شده از طریق مساحت سطح منظری i .

۴- جمع حجم المان‌های متشابه

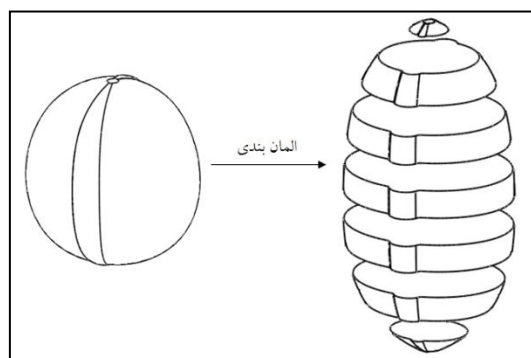
این روش برگرفته از اصول سه نمای هندسی و قوانین حاکم بر آن است. می‌دانیم هر نقطه در یک نما، در نماهای دیگر باید در همان مختصات دیده شود، یعنی باید x ، y و z در سه نما برای یک نقطه، یکسان باشد. در این روش طبق شکل ۶، تصویر P_x نمای بالا، تصویر P_y نمای جانبی و تصویر P_z نمای مقابل در نظر گرفته شدند.



شکل ۶- تصویر سه نما- نمای بالا (P_x)، نمای جانبی (P_y)، نمای مقابل (P_z)

یکی است، با این تفاوت که نسبت به هم دارای چروکیدگی و یا تغییر اندازه هستند (شکل ۷).

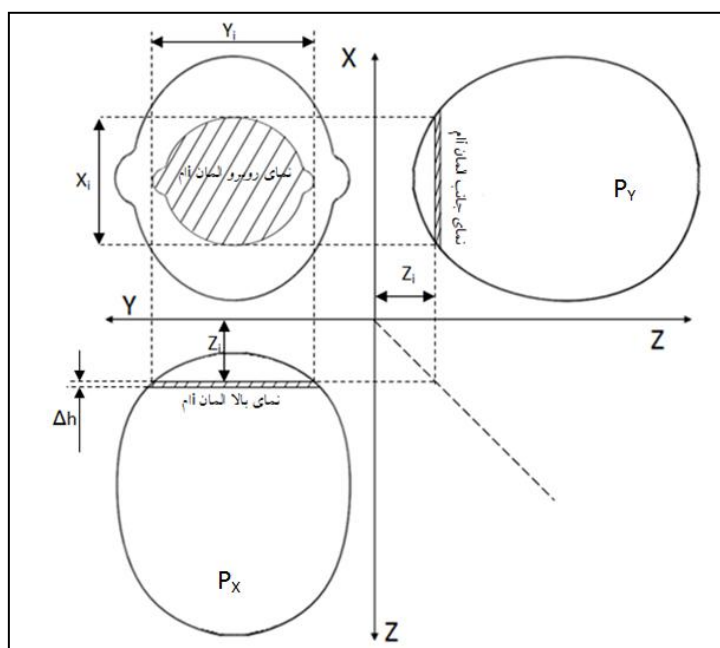
در این روش فرض بر این است که المان‌های در نظر گرفته شده، متشابه هستند. یعنی حالت کلی تصویرها



شکل ۷- المان‌های متشابه در تصویر برش داده شده

المان در دو تصویر P_x و P_y است، ابعاد سطح المان را در تصویر P_z مشخص می‌کند. ضخامت المان‌ها برابر یک پیکسل بوده، در نتیجه تعداد المان‌ها در نمونه‌های مختلف، متفاوت و برابر Z در آن نمونه است. در نهایت طبق معادله ۷ که در ادامه اثبات می‌شود، حجم هر گردو محاسبه شد.

پس در این روش باید المان‌ها را طبق شکل ۷، در جهتی انتخاب کرد که دارای بیشترین تشابه باشند. با توجه به این که گردو در راستای بزرگ‌ترین قطر (D_z) دارای بیشترین تشابه است، بنابراین طبق شکل ۸، سطح المان‌ها متشابه P_z و برش‌ها در تصاویر P_x و P_y مشاهده می‌شوند. المان i ام که در P_x در نظر گرفته شد در همان مختصات z_i در P_y ایجاد می‌شود و هر X_i و Y_i که طول و عرض



شکل ۸- المان ایجاد شده در سه نما

$$A = A_z, A_i = A \times \frac{X_i \times Y_i}{X \times Y} \quad (5)$$

$$V_i = A_i \times \Delta h, \Delta h = 1 \text{ pixel} \Rightarrow V_i = A_i \times 1 = \frac{A \times X_i \times Y_i}{X \times Y} \quad (6)$$

$$V_e = \sum_{i=1}^z V_i = \sum_{i=1}^z \frac{A \times X_i \times Y_i}{X \times Y} = \frac{A}{X \times Y} \sum_{i=1}^z (X_i \times Y_i) \quad (7)$$

$$ER = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{V_a - V_{det}}{V_a} \right)^2}{N}} \times 100 \quad (8)$$

به دست آوردن درصد خطای برآورد حجم در هر روش از معادله ۸ استفاده شد (فاربز، ۲۰۰۰).

در این معادله V_a حجم واقعی، V_{det} حجم تعیین شده از روش‌های دیگر، N تعداد نمونه‌ها و ER خطای روش است.

نتایج و بحث

الف) نتایج

در این قسمت به ارایه نتیجه‌های حاصل از سه نوع برآورد حجم و مقایسه آن‌ها با روش معیار پرداخته می‌شود. در تمامی مقایسه‌ها ابتدا معادله رگرسیونی بین حجم برآورد شده و حجم واقعی مشخص شده و سپس بر اساس این معادله مقادیر جدید به دست آمده است. این کار برای یکسان‌سازی نتیجه‌ها و سهولت در تصمیم‌گیری بر اساس رسم منحنی $y=x$ برای نشان دادن معادله خطی بین مقادیر واقعی و برآورد شده انجام شده است.

در اینجا؛ Z قطر معادل D_z ، A_i سطح المان Δ_m ، X_i طول المان Δ_m ، Y_i عرض المان Δ_m ، A سطح شیء در P_z ، A_i ، P_z ، P_x ، P_y سطح المان Δ_m ، V_i حجم المان Δ_m ، Δh ضخامت المان Δ_m ، V_e حجم محاسبه شده از طریق جمع المان‌ها.

نحوه محاسبات و استخراج معادلات رگرسیونی

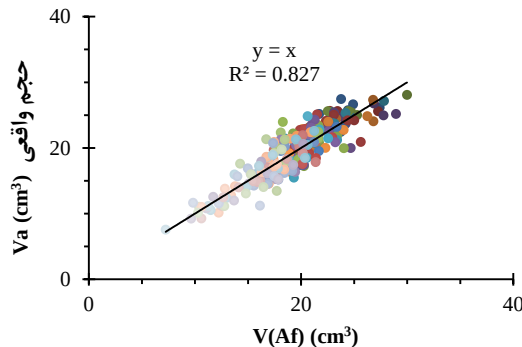
پس از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، از نرم‌افزار Datafit9.0 برای به دست آوردن معادله رگرسیونی بین $(V_a - V_e)$ ، $(V_a - V_{De})$ و $(V_a - V_A)$ بر اساس بیش‌ترین R^2 انتخاب شده و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

ارزیابی روش‌های اندازه‌گیری حجم

برای ارزیابی رفتار روش‌ها و کارایی روش پیشنهادی، از آنالیز واریانس در قالب طرح به طور کامل تصادفی بر اساس چهار تیمار روش برآورد حجم با ۲۴۶ تکرار برای هر روش از نرم‌افزار SPSS V.18 استفاده شد. همچنین برای

مقایسه حجم واقعی و حجم به دست آمده از پردازش تصویر با استفاده از مساحت سطح منظری

با استفاده از یک معادله رگرسیونی بین V_a و V_A ، معادله ۱۰ که در بین معادلات دیگر بیش‌ترین R^2 را دارد و مربوط به تصویر P_x است، به عنوان معادله اصلی انتخاب شده و با استفاده از نتایج این روش و معادله ۱۰ و خط $y=x$ منحنی نشان داده شده در شکل ۱۰ بین V_a و V_A رسم شد.

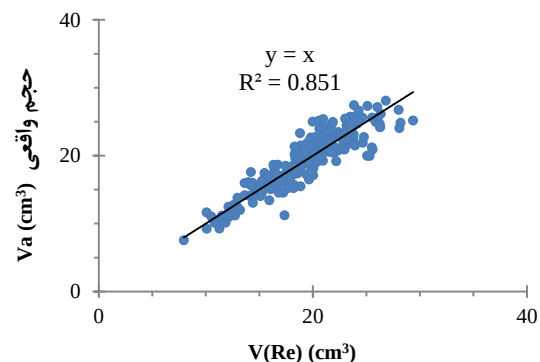


شکل ۱۰- حجم به دست آمده از روش سطح منظری در مقابل حجم واقعی

مقایسه حجم واقعی و حجم به دست آمده از قطر میانگین هندسی

پس از برازش داده‌ها، بهترین معادله رگرسیونی بر اساس بیشینه مقدار ضریب تبیین (R^2) بین حجم واقعی (V_a) و حجم به دست آمده از قطر میانگین هندسی (V_{De}) به صورت معادله ۹ به دست آمد. شکل ۹، نمودار $y=x$ مربوط به این داده‌ها را نشان می‌دهد.

$$V_{De} (cm^3) = (0.00195\pi(D_e/2)^3)^{0.8884} \quad (9)$$



شکل ۹- نمودار حجم به دست آمده از روش قطر میانگین هندسی در مقابل حجم واقعی

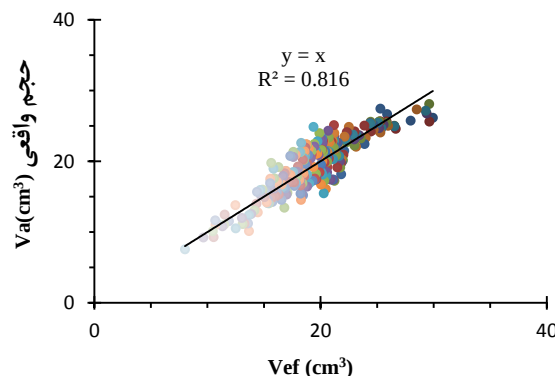
$$V_{Af} (cm^3) = V_A^{0.8758} \times 0.000021252 = \left(\frac{4}{3} \pi \left(\frac{A}{\pi} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^{0.8758} \times 0.000021252 \quad (10)$$

این روش و خط $y=x$ منحنی نشان داده شده در شکل ۱۱ بین V_a و V_e رسم شد.

مقایسه حجم واقعی و حجم به دست آمده از روش پردازش تصویر با استفاده از جمع المان‌های متشابه

با برازش منحنی بین V_a و V_e ، بهترین معادله ($R^2=0.816$) به صورت معادله ۱۱ به دست آمده که با استفاده از نتایج

$$V_{ef} (cm^3) = V_e^{0.8503} \times 0.0000308129184 = \left(\frac{A}{X \times Y} \sum_{i=1}^z (X_i \times Y_i) \right)^{0.8503} \times 0.0000308129184 \quad (11)$$



شکل ۱۱- حجم به دست آمده از روش جمع المان‌های متشابه در مقابل حجم واقعی

ارزیابی

استفاده از معادله ۸ خطای هر روش محاسبه شده و در جدول ۲ آمده است که نتایج بالا را تأیید می‌کند.

بر اساس جدول تجزیه واریانس مشخص شد که روش‌های برآورد حجم تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس روش‌های برآورد حجم

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
بین گروه‌ها	۰/۸۵۳	۳	۰/۲۸۴	۰/۰۱۸ ^{n.s}
درون گروه‌ها	۱۵۳۴۸/۶۷۴	۹۷۵	۱۵/۷۴۲	
مجموع	۱۵۳۴۹/۵۲۶	۹۷۸		

n.s عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲- مقادیر خطا و ضریب تبیین (R^2) روش‌های برآورد حجم

قطر معادل هندسی	المان‌های متشابه	مساحت سطح منظری
۸۵/۱	۸۱/۶	۸۲/۷
۹/۶	۱۰/۷	۱۰/۲

(ب) بحث

روش گال و همکاران (۱۹۹۸) و استفاده از حلقه‌ای از سنسور برای محصولات بزرگ‌تر از ۷۰ سانتی‌متر مکعب مؤثر بوده و برای اشیای کوچک‌تر، خطا به شدت افزایش می‌یابد، پس برای گردو مناسب نیست. روش لی و همکاران (۲۰۰۶) و استفاده از تصویربرداری دورتا دور شی، یک روش آزمایشگاهی بوده و پیاده‌سازی آن مشکل و بار محاسباتی بالایی دارد. استفاده از المان‌بندی توسط دوو و سان (۲۰۰۶) برای محاسبه حجم نمونه‌هایی از ۹۰۰ سانتی‌متر مکعب به بالا و همچنین محاسبه حجم سیب‌زمینی به روش المان‌بندی توسط امیری پریان و همکاران (۱۳۸۶) با میانگین حجمی ۱۳۴ سانتی‌متر مکعب و محاسبه حجم گردو با استفاده از المان‌بندی توسط حاجی‌زاده و کسرائی (۱۳۸۷) برای محاسبه حجم گردو و پژوهش حاضر تأیید این امر است که استفاده از روش پردازش تصویر برای گردو که حجمی در حدود ۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متر مکعب دارد، خطای بیش‌تری را نسبت به جسم‌های بزرگ‌تر ایجاد می‌کند که این امر نشان می‌دهد که محاسبه حجم اجسام کوچک به روش ماشین بینایی مسأله‌ساز است که یکی از دلایل‌های عمده آن خطای

ایجاد شده به دلیل خاصیت پرسپکتیو در مرحله تصویربرداری است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش روشی جدید بر اساس تصحیح خطای خاصیت پرسپکتیو طبیعی تصویربرداری و المان‌بندی متشابه توسعه داده شد. بر این اساس نتیجه‌ای قابل قبول برای برآورد حجم محصول گردو با حجم حدود ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مکعب به دست آمد و کارایی روش پیشنهادی مشخص شد. مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های قبلی نشان داد که در ماشین بینایی اجسام کوچک (گردو) نسبت به اجسام بزرگ‌تر خطای بیش‌تری برای حجم‌سنجی ایجاد می‌کنند. استفاده از روش جمع حجم المان‌های متشابه برای محاسبه حجم محصولاتی مانند گردو به دلیل ضریب کرویت بالای گردو از لحاظ نتیجه برتری نسبت به روش سطح منظری نداشته و بار محاسباتی بالاتری دارد اما شاید این روش برای محصولات کشیده و خارج از حالت کروی نتیجه‌های بهتری را نسبت به روش‌های رایج دیگر دارد.

منابع

۱. امیری پریان ج. خوش تقاضا م. ه. کبیر الف. و مینایی س. ۱۳۸۶. برآورد حجم سیب‌زمینی با استفاده از پردازش تصویر. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۸(۴): ۱۱۳-۱۲۶.

۲. حاجی‌زاده م. و کسرائی م. ۱۳۸۷. درجه‌بندی گردو با استفاده از ماشین بینایی بر اساس جرم ویژه. پنجمین کنگره مهندسی ماشین‌های کشاورزی مشهد.
۳. معرف‌زاده ع. ۱۳۹۰. درجه‌بندی حجمی محصولات کشاورزی به روش المان‌بندی با کاربرد ماشین بینایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشگاه بوعلی سینا همدان. ۱۱۲ ص.
4. Du C. J. and Sun D. W. 2006. Estimating the surface area and volume of ellipsoidal ham using computer vision. *Journal of Food Engineering*, 73:260-268.
5. Forbes K. 2000. Volume estimation of fruit from digital profile images. M. Sc. Thesis of Electronic Engineering, Cape Town University, Cape Town, South Africa. 140 p.
6. Gall H. Muir A. Fleming J. Pohlmann R. Gocke L. and Hossack W. 1998. A ring sensor system for the determination of volume and axis measurements of irregular objects. *Meas. Sci. Technol.* 9:1809-1820.
7. Lee D. J. Elfert J. and Zhan P. 2006 a. Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical Engineering*, 45(2):1-11.
8. Mohsenin N. N. 1970. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach New York.
9. Omid M. Khojastehnazhand M. Tabatabaeefar A. 2010. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of Food Engineering*, 100:315-321.
10. William M. Miller P. and Briggs P. 1998. Automatic density separation for freeze damaged citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 4(4):344-348.

