

## برآورد حجم سیب و تورفتگی‌های آن، به کمک پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی

مرتضی جعفرلو<sup>1</sup> - رحمان فرخی تیمورلو<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 91/2/25

تاریخ پذیرش: 92/3/9

### چکیده

خواص فیزیکی محصولات کشاورزی از مهمترین پارامترهای طراحی سیستم‌های بسته‌بندی و درجه‌بندی هستند و حجم محصولات کشاورزی، یکی از این خواص می‌باشد که بایستی به‌طور دقیق اندازه‌گیری شود. پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی از ابزارهای پرکاربرد و غیر مخربی هستند که اخیراً به این منظور استفاده می‌شوند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از دوربین به فاصله‌ی ثابت از نمونه‌ها عکس برداری گردیده و تصاویر رنگی با نرم افزار Matlab پردازش شده و لبه‌ی سیب‌ها استخراج گردید. سپس سطح به‌دست آمده در راستای عمود بر محور طولی سیب، به المان‌های نازک دوزنقه‌ای تقسیم بندی گردیده و حجم حاصل از دوران این المان‌ها بر حسب پیکسل محاسبه شد. سپس سیب‌ها از وسط برش داده شده و عکس برداری شدند تا حجم تورفتگی‌های سیب به‌دست آمده و از حجم کل سیب کاسته شود. حجم واقعی سیب نیز با استفاده از روش جابه‌جایی آب، بر حسب سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شد و رابطه‌ای بین حجم واقعی و حجم پیکسلی سیب ارائه گردید که می‌تواند در تخمین حجم سیب استفاده شود. آزمون t و بلاند-آلتمن نشان داد که بین حجم واقعی سیب و حجم پردازش تصویر در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری نیست و اختلاف میانگین بین آن‌ها 1/52 سانتی‌متر مکعب بوده و دارای دقت 0/92 می‌باشد. استفاده از شبکه عصبی با پارامترهای ورودی ابعاد و جرم سیب دقت اندازه‌گیری حجم سیب را تا 0/97 بالا برده و اختلاف میانگین بین حجم‌ها را تا 0/7 کاهش داد. این تحقیق نشان می‌دهد که پردازش تصویر و شبکه‌ی عصبی می‌توانند به‌عنوان روش‌های ساده و کارآمد در تخمین حجم محصولات کشاورزی استفاده گردند.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، حجم، سیب، شبکه‌ی عصبی

### مقدمه

روش‌های مختلفی به‌کار می‌رود که فرآیند مشترک همه آن‌ها تبدیل تصویر رنگی به سطح خاکستری و سپس دو سطحی، تعیین لبه و در نهایت اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر است (Leemans and Destain, 2004). در اکثر موارد اساس کار این روش‌ها، تخمینی از تابع حجم بر اساس یکی از مشخصه‌های تصویر مانند طول، عرض و غیره می‌باشد.

برای برآورد حجم با استفاده از اشکال هندسی منتظم، مدل ساده‌ای برای تعیین حجم فلفل دلمه‌ای با انتخاب حجم کره به‌عنوان پایه‌ی محاسبات، معرفی شد (Ngouajio et al., 2003). این محققین با توجه به حجم کره، ابتدا قطر و طول محصول را به‌دست آوردند سپس ضریب ثابت 1/1 را به‌عنوان ضریب شکل محصول به فرمول محاسباتی خود افزوده و حجم فلفل را برآورد نمودند. در طی تحقیقی دیگر، برای برآورد حجم هندوانه به کمک پردازش تصویر، روش المان بندی مستطیلی و انتخاب بیضی به‌عنوان مدلی برای هندوانه به‌کار گرفته شد و با روش جابه‌جایی آب مقایسه گردید (Bulent koc, 2007). نتایج نشان داد که حجم تخمینی از طریق

امروزه از ماشین بینایی در امر درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده‌های فراوانی می‌شود. این درجه‌بندی ممکن است بر اساس رنگ، اندازه و یا به‌طور کلی در مورد خصوصیات بیرونی یک محصول انجام شود. تعیین حجم محصولات کشاورزی نقش عمده‌ای در مسائل مربوط به بسته‌بندی و پارامترهای مربوط به آن از قبیل ابعاد جعبه، نحوه قرارگیری میوه و ضریب بسته بندی (تعداد محصول در یک حجم مشخص) دارد. محاسبات مربوط به برآورد حجم سیلوها و انبارها، فرآیندهای انتقال، درجه بندی و جداسازی نیز از طریق اندازه‌گیری حجم ممکن می‌باشد (Tavakkoli hashjin, 2003). برای برآورد حجم محصولات به کمک پردازش تصویر،

1 و 2 - به ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه  
(Email: r.farrokhi@urmia.ac.ir)  
\* - نویسنده مسئول:

نرم افزار مخصوص مدل سه بعدی جسم را بازسازی کردند (Lee et al., 2006). برای ساده نمودن مکانیسم عکس برداری و دریافت اطلاعات تصویری بیشتر، سطوح آینه کاری شده در داخل محفظه‌ی نورپردازی به کار گرفته شده است (Forbes, 2000). در این روش آینه‌هایی با زاویه‌ی 45 درجه در اطراف میوه قرار داده شده و زاویه دید دوربین از میوه‌ها نیز 45 درجه انتخاب می‌شود. سپس از هر محصول چندین تصویر در 6 حالت مختلف قرارگیری و در مجموع 24 تصویر گرفته می‌شود. برای کاهش بار محاسباتی، اطلاعات 24 تصویر به جای استفاده برای بازسازی مدل سه بعدی میوه به شبکه‌ی عصبی داده شده و حجم محصول تعیین می‌شود.

با توجه به روش‌های ذکر شده در تخمین حجم محصولات کشاورزی، روش قطعه‌بندی یا المان‌بندی به علت بار محاسباتی کمتر و سادگی روش در تعیین حجم سیب درختی (رد دلشیز) انتخاب گردید. فرضیه مورد استفاده در این تحقیق بر این اصل استوار است که المان‌بندی ذوزنقه‌ای دقت تخمین حجم میوه را نسبت به المان‌بندی مستطیلی بیشتر می‌کند. همچنین روش مذکور برای میوه‌های متقارن و بدون تورفتگی همچون هندوانه و کیوی بسیار کارآمد بوده ولی شامل خطای فاحش در سایر میوه‌ها همچون سیب می‌باشد. به این منظور، تغییراتی در این روش داده شده و دقت آن در تعیین حجم سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین شبکه‌ی عصبی با پارامترهای در دسترس، در تعیین حجم محصولات کشاورزی، روشی است که به جای روش المان‌بندی مورد استفاده قرار گرفته و با آن مورد مقایسه قرار گرفت. در واقع هدف از این تحقیق ارائه روشی کاربردی، سریع و مطمئن در برآورد حجم سیب درختی با درصد خطای کمتر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌های مربوطه، مقادیری سیب درختی با اندازه‌های متفاوت خریداری و 100 عدد از آن‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس ابعاد، جرم و حجم سیب اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری سه قطر عمود بر هم سیب‌ها از کولیس دیجیتال و برای اندازه‌گیری وزن هر کدام از آن‌ها از ترازوی دیجیتال دارای دقت 0/01 گرم استفاده گردید. حجم هر یک از سیب‌ها هم به کمک روش جابه‌جایی آب، با غوطه‌ور کردن سیب‌ها در بشر یک لیتری حاوی آب مقطر به دست آمد. وزن سیب‌های مورد آزمایش بین 81/02 و 165/76 گرم متغییر بود.

سیستم پردازش تصویر شامل یک دوربین sony-DSC-w200-cybershot، چهار عدد لامپ هالوژن، یک جعبه مخصوص عکس برداری و یک لپ تاپ مجهز به نرم افزار Matlab بود. جعبه عکس برداری با کاغذ مقوایی سیاه رنگ پوشش یافته و دوربین در

پردازش تصویر در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد اختلاف معنی داری با روش جابه‌جایی آب ندارد. همچنین این روش برای تعیین حجم کیوی مورد استفاده قرار گرفته است (Rashidi et al., 2007). این محققین همچنین حجم طالبی را در سال 2009 بدین سان برآورد کرده و نتیجه را با روش جابه‌جایی آب مقایسه نمودند. حجم تخمینی آن‌ها در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری با روش جابه‌جایی آب نداشته و اختلاف میانگین بین داده‌ها برای طالبی 1/81 و برای کیوی 2/23 سانتی متر مکعب بود.

اخیراً برای طراحی دستگاه سورتینگ نارنگی، حجم نارنگی با روش قطعه‌بندی و پردازش تصویر تخمین زده شد (Khojaste et al., 2010). در این تحقیق عکس حاصل از نارنگی به تعداد مشخصی قطعه‌بندی شده سپس حجم هر یک از قطعه‌ها با مدل استوانه‌ای تخمین و در نهایت حجم کل محصول به دست آمد. دقت کار این محققان به دلیل شکل هندسی منظم و کروی بودن نارنگی، 0/95 بود.

برای درجه‌بندی سیب گلدن دلشیز، یک سیستم درجه‌بندی بر اساس منطق فازی ارائه شده است (Lorestani et al., 2006). در این پژوهش، خصوصیات مثل رنگ و اندازه از طریق یک سیستم تحصیل داده شامل سورت‌ر سیب، محفظه نورپردازی، دوربین و یک کامپیوتر محاسبه شده‌اند. نتایج درجه‌بندی به دست آمده توافق 91/2% و 95/2% را به ترتیب در حالت‌های off-line و on-line نسبت به کارشناس خبره نشان دادند.

در تحقیقی دیگر، مساحت سطح میوه گواوا به کمک شبکه عصبی به دست آمد (Chokananporn et al., 2008). شبکه عصبی طراحی شده، دارای چهار ورودی شامل قطر بزرگ، قطر کوچک، قطر متوسط و ضریب کرویت میوه گواوا بوده و دارای یک لایه مخفی با تعداد 20 نرون و خروجی شبکه با مساحت گواوا تعیین شد. این محققین ابتدا قطرهای گواوا را به کمک پردازش تصویر به دست آوردند. سپس برای تعیین مساحت سطح گواوا، به کمک چاقو پوست میوه را به تکه‌های با ابعاد 2-4 سانتی متر پوست گیری و توسط پلانی متر مساحت تمام این تکه‌ها را برآورد کردند تا مساحت کل سطح گواوا تعیین شود و در ادامه مساحت حاصل از شبکه عصبی را با مساحت واقعی مقایسه کردند. نتیجه کار آن‌ها با کمترین خطا و درصد خطا به دست آمد (0/39 سانتی متر مربع و 0/15%).

در بین روش‌هایی که از پردازش تصویر استفاده می‌کنند روش بازسازی مدل سه بعدی گرچه از دقت بالایی برخوردار است ولی بار محاسباتی زیادی به همراه داشته و به همین دلیل اندازه‌گیری حجم به کمک این روش در بیشتر موارد غیر عملی به نظر می‌رسد. در بازسازی مدل سه بعدی به کمک پردازش تصویر، 30 تصویر از گرداگرد سطح محصول در چرخش‌های 12 درجه‌ای اقدام به یافتن مرز در هر تصویر کرده سپس با کنار هم قرار دادن مرزها به کمک

بر حسب پیکسل محاسبه شد.

حجم حاصل از دوران ذوزنقه با رابطه (1) مشخص می‌شود.

$$V_i = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2) \quad (1)$$

که در آن  $r_1$  شعاع دایره کوچک (قاعده کوچک ذوزنقه)،  $r_2$  شعاع دایره بزرگ (قاعده بزرگ ذوزنقه)،  $h$  ارتفاع ذوزنقه و  $V_i$  حجم حاصل از دوران یک المان می‌باشد.  $r_1$ ،  $r_2$  و  $h$  بر حسب پیکسل می‌باشند. اگر  $r_1$  و  $r_2$  برابر باشند ذوزنقه تبدیل به مستطیل شده و حجم دورانی استوانه خواهد بود. در این تحقیق ارتفاع ذوزنقه  $h$  ثابت و برابر با یک پیکسل در نظر گرفته شده است.

حاصل جمع حجم‌های حاصل شده از این المان‌ها، حجم میوه سیب همراه با تورفتگی‌ها را به دست می‌دهد.

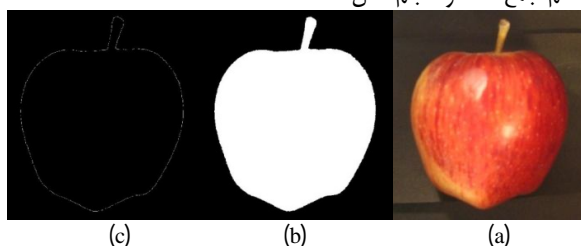
$$V_1 = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

$V_1$  حجم کل سیب است که علاوه بر حجم واقعی سیب شامل حجم تورفتگی‌های بالا و پایین آن نیز می‌باشد. بنابراین برای تخمین حجم واقعی سیب نیاز به تعیین حجم تورفتگی‌های سیب می‌باشد.

برای به دست آمدن حجم تورفتگی‌های سیب، نمونه‌ها از وسط برش داده شدند تا تورفتگی‌های سیب نمایان گردند (شکل 3 a). سپس یک عکس در راستای طولی سیب، از نمونه‌ها گرفته شد. تصاویر به دست آمده به صورت تصاویر rgb بودند. این تصاویر به مدل hsi تبدیل و با تکنیک threshold و تعریف سطح آستانه، تصاویر حاصله به باینری تبدیل شده و با دستور canny لبه‌ی تصاویر حاصل گشت (شکل 3 b). در ادامه با به کار بردن تکنیک roipoly تورفتگی‌های سیب جدا شد.

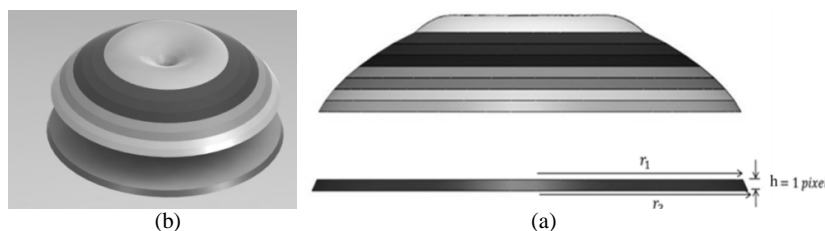
بالای جعبه و به فاصله 25 سانتی‌متر و در وسط لامپ‌ها تعبیه شده بود. از هر سیب یک عکس در راستای طولی سیب به صورت تصویر رنگی قرمز، سبز و آبی (rgb) گرفته شد (شکل a1). سپس تصاویر rgb تبدیل به مدل روشنی، پرده رنگ و اشباع (hsi) گردید. مدل رنگی rgb و فیروزه‌ای، بنفش و زرد (cmy) و سایر مدل‌های رنگی مشابه برای توصیف رنگ‌ها بر اساس تفسیر انسان، مناسب نیستند. مدل hsi خیلی نزدیک به تفسیر و توصیف انسان از رنگ‌ها بوده و اطلاعات رنگ و سطح خاکستری موجود در تصویر را تفکیک می‌کند، و آن را برای بسیاری از تکنیک‌های سطح خاکستری که بررسی می‌شوند، مناسب می‌کند. تصاویر حاصله که به صورت 8 unit (هشت بیتی) بودند، تبدیل به تصاویر double (دو بیتی) شدند تا روابط ریاضی بین تصاویر برقرار باشد. سپس با استفاده از تکنیک آستانه‌گیری، حد آستانه (مرز بین تصویر جسم و پس زمینه‌اش) تعیین شده و تصاویر باینری حاصل گشت (شکل b1). بدین صورت که پیکسل‌های پایینتر از 0/6 به صفر (سیاه) و بالاتر از 0/6 به یک (سفید) تبدیل شدند. در ادامه با تکنیک لبه یابی و با استفاده از دستور canny لبه‌ی تصاویر استخراج گردیده (شکل c1)، و با نوشتن برنامه در قسمت editor متلب، ماتریس مربوط به تصویر canny تشکیل داده شد.

با داشتن ماتریس مربوط به لبه‌ی سیب و با توجه به فرمول حجم حاصل از دوران ذوزنقه‌ی قائم الزاویه، برنامه محاسبه حجم سیب در قسمت editor متلب نوشته شد. بدین صورت که سطح به دست آمده در راستای عمود بر محور طولی سیب به المان‌های نازک ذوزنقه‌ای تقسیم‌بندی شده (شکل 2) و حول محور عمودی دوران داده شدند. حجم حاصل از دوران این المان‌ها ( $V_i$ ) با هم جمع شده و حجم کل



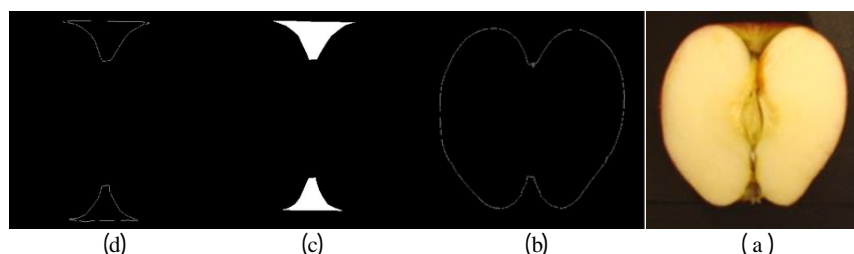
شکل 1- مراحل پیدا نمودن لبه‌های سیب. a: تصویر رنگی سیب. b: تصویر باینری سیب. c: تصویر لبه‌ی سیب

Fig.1. The process of finding apple edge. a: Rgb image b: Binary image c: apple- edge Picture



شکل 2- شبیه‌سازی سیب با دوران تمامی المان‌ها a: المان‌بندی سطح تصویر b: دوران المان‌ها

Fig.2. Representation of apple with rotation of all elements a: Meshing image surface b: Rotation of elements



**شکل 3-** مراحل پیدا نمودن لبه تورفتگی‌های سیب a: تصویر رنگی b: لبه سیب برش خورده c: تصویر باینری d: لبه تورفتگی‌ها

**Fig.3.** The process of finding the apples dent edge a: Color image b: Apples cut edge c: Binary image d: Dent edge

سیگموئیدی بوده و تعداد آپدیت وزن‌های شبکه (epochs) برابر با 5000 در نظر گرفته شده بودند. همچنین مقدار خطا برای داده‌های train برابر 0/0005 منظور شده بود. به این منظور شبکه عصبی تک لایه، دو لایه و سه لایه با نرون‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. به‌عنوان مثال، برای ورودی‌های جرم و سه قطر عمود بر هم سیب با خروجی حجم آن، بهترین نتیجه با تعداد دو لایه و 4 نرون به‌دست آمد (شکل 4). شبکه‌ی عصبی به‌طور پیش فرض 70 درصد داده‌ها را برای آموزش، 15 درصد از داده‌ها را برای ارزیابی و 15 درصد از داده‌ها را برای تست در نظر می‌گیرد. این درصدها قابل تغییر بوده و می‌توانند کم یا زیاد شوند.

همچنین به‌منظور برآورد حجم تورفتگی‌های سیب به کمک شبکه‌ی عصبی، سه قطر عمود بر هم به‌عنوان ورودی‌های شبکه و حجم تورفتگی‌های سیب به‌عنوان خروجی شبکه لحاظ گردید و تعداد نرون‌های موجود در هر لایه سه عدد انتخاب شد. در هر دو قسمت، تعداد لایه‌ها و نرون‌ها با روش سعی و خطا برای به‌دست آوردن کوچک‌ترین خطا در برآورد حجم سیب همراه با در نظر گرفتن ساده‌ترین سیستم شبکه عصبی به‌دست آمده است.

### نتایج

به‌منظور تحلیل آماری داده‌ها، از نرم افزار Analysis-it که یکی از برنامه‌های جانبی اکسل می‌باشد، کمک گرفته شد. بدین منظور به کمک این نرم افزار، نمودار حجم سیب بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر در شکل 5 آورده شده است. شکل 5 نشان می‌دهد که ضریب تبیین بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر 0/92 بوده و دارای خط رگرسیونی  $y = -8.901 + 1.074x$  می‌باشد.

طبق مدل‌های آماری و رگرسیون‌های خطی، برای تخمین خط رگرسیونی و بررسی ارتباط بین دو متغیر، ممکن است خطایی در اندازه‌گیری وجود داشته باشد. بنابراین در خط رگرسیونی تخمین زده شده متغیری در مدل وارد می‌شود که آن را پسماند یا جزء اخلال می‌نامند.

تکنیک roipoly، در واقع نقطه‌گذاری پشت سرهم تصویر حاصله از دستور canny می‌باشد که می‌توان تورفتگی‌های سیب را از خود سیب کم کرد (شکل 3 c) و با اجرای دوباره دستور canny تصویر نهایی به‌دست خواهد آمد (شکل 3 d).

مشابه روش توضیح داده شده، حجم تورفتگی‌های سیب محاسبه می‌گردد. بدین صورت که ابتدا سطح تصویر شده به المان‌های نازک دوزنقه‌ای تقسیم بندی شده و حول محور عمودی دوران داده شدند تا حجم هر کدام از نوارها به‌دست آید. با جمع کردن حجم‌ها، حجم کل تورفتگی‌های سیب ( $V_2$ ) به‌دست می‌آید.

برای داشتن حجم کلی سیب ( $V_p$ )، بایستی حجم تورفتگی‌های سیب را از حجم برآورد شده اولیه کم کرد.

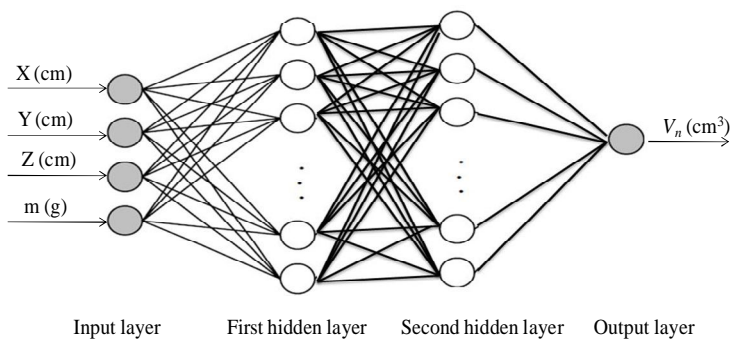
$$V_p = V_1 - V_2 \quad (3)$$

همان طوری که قبلاً اشاره شد حجم حاصل از پردازش تصویر به‌صورت پیکسل محاسبه شد. حجم واقعی سیب نیز با روش جابه‌جایی آب بر حسب سانتی متر مکعب به‌دست آمد. سپس یک مدل رگرسیونی بین حجم واقعی و حجم حاصل از پردازش تصویر در نرم افزار اکسل طبق رابطه (4) با ضریب تبیین 0/92 به‌دست آمد.

$$v = 60.82v_p + 15.33 \quad (4)$$

که در آن  $v$  حجم حاصل از روش جابه‌جایی آب و  $v_p$  حجم حاصل از پردازش تصویر می‌باشد. مدل رگرسیونی حاصل در واقع کالیبراسیون حجم‌های حاصل از پردازش تصویر خواهد بود.

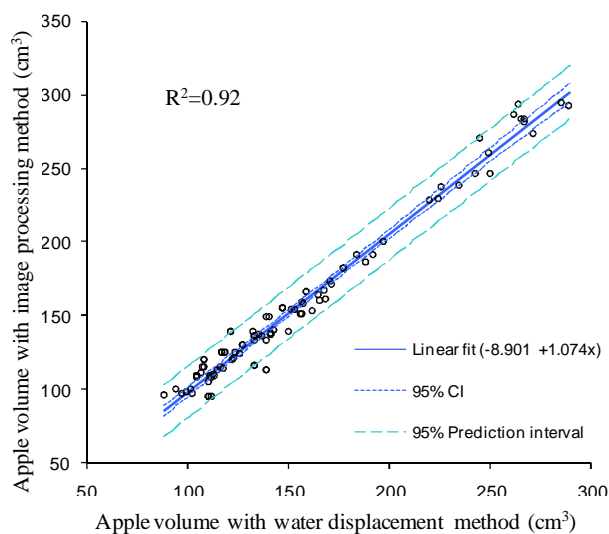
همچنین به‌منظور برآورد حجم سیب، از شبکه‌ی عصبی کمک گرفته شد. اجزای شبکه عصبی از ورودی‌ها، وزن‌ها، تابع جمع، تابع تبدیل و خروجی تشکیل شده است. ورودی‌ها می‌توانند خروجی سایر لایه‌ها بوده و یا آنکه به حالت خام در اولین لایه و به‌صورت داده‌های عددی، متون ادبی و تصویر باشند. میزان تأثیر ورودی  $x$  بر خروجی  $y$  توسط مشخصه وزن اندازه‌گیری می‌شود. در این پژوهش از شبکه عصبی با لایه‌های مختلف، ورودی‌ها، وزن‌ها و خروجی‌های متفاوت استفاده شده است. شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش، از نوع شبکه پرسپترون چند لایه (mlp) با روش آموزش لونیبرگ-مارکواردت (Levenberg-marquardt) می‌باشد. تابع انتقال



Input layer      First hidden layer      Second hidden layer      Output layer

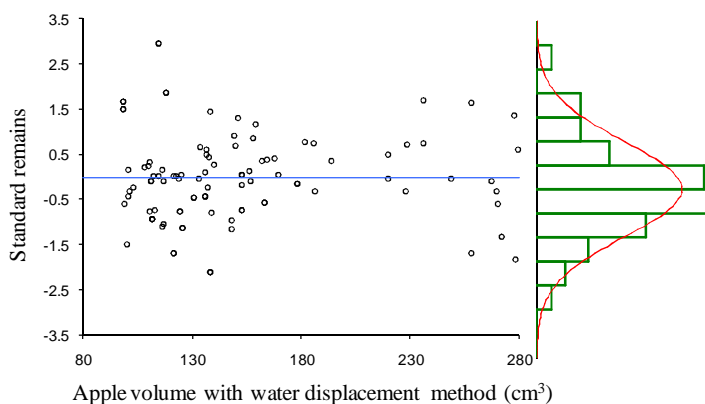
شکل 4- شبکه عصبی دو لایه با چهار ورودی و یک خروجی

Fig.4. Two-layer neural network with four inputs and one output



شکل 5- مقایسه حجم سیب اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر

Fig.5. Comparison of apple volumes measured using water displacement and image processing method



شکل 6- استاندارد اجزای اخلاص و توزیع نرمال باقیمانده بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر

Fig.6. Standard remains and residuals normal distribution between water displacement and image processing method

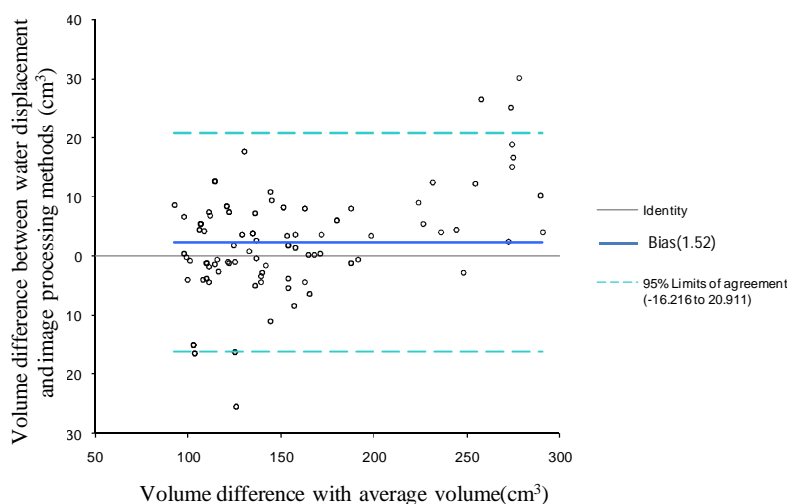
روش پردازش تصویر، در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی داری وجود ندارد ( $p=0/28$ ). به عبارت دیگر روش پردازش تصویر می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش وقت گیر و ناکارآمد جابه‌جایی آب بوده و قابلیت استفاده در سیستم‌های بسته بندی را دارا می‌باشد.

نمودار بلاند-آلتمن (شکل 7) به خوبی نشان داد که اختلاف حجم مابین این دو روش به‌طور نرمال توزیع شده و می‌توان حجم اندازه‌گیری از روش جابه‌جایی آب و روش پردازش تصویر را در محدوده تطابق (95%) با هم مقایسه نمود. در این شکل، دو خط بیرونی نشان دهنده 95% محدوده تطابق (20/91 و 16/21- سانتی متر مکعب) و خط مرکزی نشان دهنده اختلاف میانگین بین دو روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر می‌باشد (1/52 سانتی متر مکعب).

با استفاده از شبکه عصبی دو لایه و با آموزش نیمی از داده‌های به‌دست آمده از پردازش تصویر در شبکه عصبی، خروجی‌های حاصل با روش جابه‌جایی آب مقایسه شدند. آزمون t نشان داد که بین حجم سیب اندازه‌گیری شده به کمک روش جابه‌جایی آب و شبکه عصبی در سطح احتمال 5% اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ( $p=0/3$ ) و اختلاف میانگین بین این دو روش 0/7 (در فاصله اطمینان 95٪، 0/64- و 2/03 سانتی متر مکعب) و انحراف استاندارد آن‌ها 0/665 بود. نمودار بلاند-آلتمن (شکل 8) به خوبی نشان داد که اختلاف حجم مابین این دو روش به‌طور نرمال توزیع شده و 95% محدوده تطابق برای حالت مقایسه مابین حجم اندازه‌گیری از روش جابه‌جایی آب و روش پردازش تصویر 8/7- و 10/09 سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

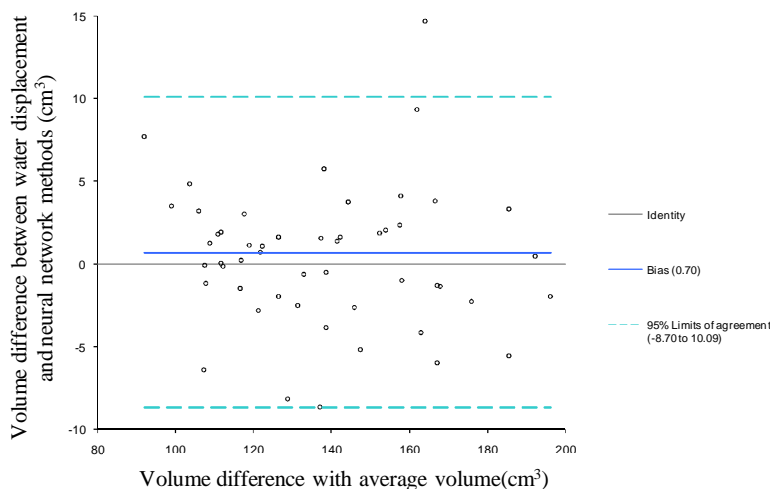
این جزء اختلاف بنا بر فرض‌های کلاسیک موجود برای رگرسیون‌های خطی باید دارای توزیع نرمال باشد تا آزمون‌های آماری مدل تخمین زده شده دارای اعتبار باشد (Greene, 2012). شکل 6 نشان می‌دهد که اجزای اختلاف دارای توزیع نرمال بوده و بنابراین استفاده از آزمون t-test و بلاند-آلتمن در تحلیل آماری داده‌ها بلامانع است.

برای مقایسه بین حجم‌های اندازه‌گیری شده، از آزمون t-test و بلاند-آلتمن استفاده شد. آزمون t-test وجود اختلاف معنی دار بین روش‌های مختلف استفاده شده در تخمین حجم سیب (پردازش تصویر، شبکه‌ی عصبی و جابه‌جایی آب) را معلوم می‌کند. و آزمون بلاند آلتمن دارای یک نمودار تطابق می‌باشد که برای سنجش توافق بین دو اندازه، در مقابل میانگین دو اندازه رسم می‌شود. در صورت وجود توافق، انتظار می‌رود اختلاف اندازه‌ها به صفر نزدیک باشد در این حالت اگر نقاط حول خطی که روی محور  $y=0$  متمرکز باشند توافق برقرار است. محدوده تطابق با فاصله  $\pm 1.96 \sigma$  رسم می‌شود که  $\mu$ ، میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده با دو متد مختلف و  $\sigma$ ، واریانس می‌باشد. در واقع از روش بلاند-آلتمن برای رسم نمودار تطابق مابین حجم اندازه‌گیری شده به روش جابه‌جایی آب با حجم‌های حاصل از شبکه‌ی عصبی و پردازش تصویر به‌کار برده شده است. آزمون t-test نشان داد که اختلاف میانگین بین روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر برابر با 1/52 (در فاصله اطمینان 95٪، 1/45- و 4/85 سانتی‌متر مکعب) و انحراف معیار استاندارد بین حجم‌ها برابر با 1/061 سانتی‌متر می‌باشد. همچنین بر اساس این آزمون، بین حجم سیب اندازه‌گیری شده با روش جابه‌جایی آب و



شکل 7- نمودار بلاند- آلتمن برای مقایسه بین حجم سیب به کمک پردازش تصویر و روش جابه‌جایی آب

Fig.7. Bland-Altman plot for the comparison of measured apple volume with water displacement and image processing method



شکل 8- نمودار بلاند-آلتمن برای مقایسه بین حجم سیب به کمک شبکه‌ی عصبی و روش جابه‌جایی آب

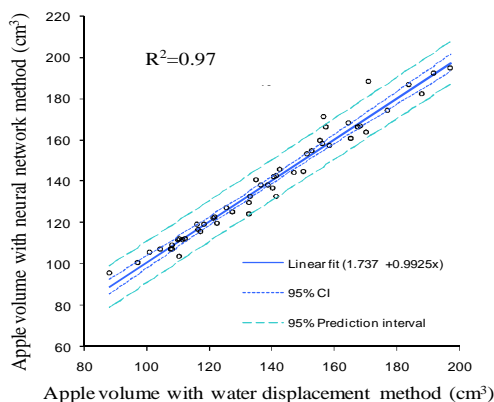
Fig.8. Bland-Altman plot for the comparison of measured apple volume with water displacement and neural network method

خللی به‌سادگی سیستم وارد نماید.

### جمع‌بندی

در این پژوهش، به‌منظور برآورد حجم دقیق سیب درختی (رد دلپزش)، با کمک پردازش تصویر و شبکه عصبی، مدلی جدید بر اساس المان‌بندی‌های دوزنقه‌ای به‌منظور برآورد حجم دقیق سیب پیشنهاد شد. بالا بودن دقت برآورد حجم سیب نشان از مناسب بودن مدل طراحی شده برای برآورد حجم محصولات می‌باشد که در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده ویژگی‌های منحصر به فردی را داراست.

با توجه به شکل 8 دو خط بیرونی نشان دهنده 95% محدوده‌ی تطابق (10/09 و -8/7 سانتی متر مکعب) و خط مرکزی نشان دهنده اختلاف میانگین بین دو روش جابه‌جایی آب و پردازش تصویر می‌باشد (0/7 سانتی‌متر مکعب). همچنین شکل 9 نشان می‌دهد که ضریب تبیین بین حجم روش جابه‌جایی آب و شبکه عصبی 0/97 بوده و دارای خط رگرسیونی  $y = 1.737 + 0.9925x$  می‌باشد. این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم پردازش تصویر توانایی بالایی در اندازه‌گیری حجم میوه‌ها با دقت قابل قبول را دارا می‌باشد و سادگی آن در مقابل روش‌هایی که بار محاسباتی بالایی دارند (Lee *et al.*, 2006) کاملاً مشخص است. همچنین ترکیب آن با شبکه عصبی توانست دقت اندازه‌گیری را فوق العاده بالا ببرد بدون آن‌که



شکل 9- مقایسه بین حجم سیب حاصل از شبکه عصبی و روش جابه‌جایی آب

Fig.9. Comparison of measured apple volume using water displacement method and neural network

کمتری داشته و دارای تورفتگی می‌باشند از دیگر ویژگی‌های این پژوهش می‌باشد. همچنین ترکیب روش پردازش تصویر با شبکه‌ی عصبی، یک روش ساده و کارآمد دیگر در برآورد حجم محصولات کشاورزی می‌باشد که با استفاده از پارامترهای ورودی نظیر ابعاد و جرم محصول، توانست حجم محصول را با دقت بالا و اختلاف میانگین کوچکتر برآورد نماید.

ساده و سریع بودن روش ارائه شده در این پژوهش در مقایسه با دیگر پژوهش‌ها که بار محاسباتی سنگین پردازش تصاویر فراوان و یا سیستم پیچیده استفاده از دو دوربین را دارا می‌باشند، کاملاً مشخص است. همچنین می‌توان به تشابه مدل ارائه شده با المان‌بندی ذوزنقه‌ای به سطح میوه به جای المان بندی مستطیلی و در نتیجه افزایش دقت مدل پیشنهادی تعیین حجم اشاره نمود. بسط روش المان بندی برای تعیین دقیق حجم محصولات کشاورزی که کروییت

## منابع

1. Bulent Koc, A. 2007. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology* 45: 366-371.
2. Chokananporn, W., and Tansakul, A. 2008. Artificial neural network model for estimating the surface area of fresh guava. *As. J. Food Ag-Ind.* 1 (03).
3. Forbes, K. 2000. Volume estimation of fruit from digital profile image. M.Sc. thesis electronic engineering, Cape town.
4. Greene, W. H. 2011. *Economic analysis*. Prentice Hall.
5. Khojasteh nazhand, M., M. Omid, and A. Tabatabaeefar. 2010. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. *Int. Agrophys.* 23: 237-242. (In Farsi).
6. Lee, D. J., J. Elfert, and P. Zhan. 2006. Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. *Optical Emgeenering* 45(2):1-11.
7. Leemans, V. and M. F. Destain. 2004. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Food Engineering* 61:83-89.
8. Lorestani, A. N., M. Omid, S. Bagheri-Shooraki, A. M. Borghei, and A. Tabatabaeefar. 2006. Design and evaluation of a Fuzzy Logic based decision support system for grading of golden delicious apples, *Int. Agricultural and Biological Science* 8: 440-444.
9. Ngouajio, M., W. Kirk, and R. Goldy, 2003. A simple model for rapid and nondestructive estimation of bell pepper fruit volume. *Hort Science* 38 (4): 509-511.
10. Rashidi, M., K. Seyfi, and M. Gholami. 2007. Determination of kiwifruit volume using image processing. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 2 (6): 17-22.
11. Rashidi, M., and M. Gholami. 2009. Cantaloupe volume determination through image processing. *J. Agr. Sci. Tech* 11: 623-631.
12. Tavakkoli hashjin, T. 2003. *Agricultural mechanics* 5-22. (In Farsi).