

اندازه‌گیری حجم خرماي پيارم به صورت سه‌بعدي و با تعداد نماي متغير با استفاده از روش - Wire Frame

امير وهبي باب سنگي^۱، محمود رضا گلزاريان^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد؛ amir.vahabi@mail.um.ac.ir

^۲دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد؛ m.golzarian@um.ac.ir

چکیده

کلمات کلیدی
بازسازی سه‌بعدي،
Wire-Frame، پردازش تصویر،
خرمای پيارم، حجم.

اندازه‌گیری حجم محصولات کشاورزی اطلاعات مهمی را برای برنامه‌های کاربردی در کشاورزی فراهم می‌کند. در این مقاله یک روش برای اندازه‌گیری حجم خرماي پيارم به صورت سه‌بعدي با استفاده از پردازش تصویر ارائه شده است. به‌طورکلی، از ۳۰ عدد خرما پيارم در جهات مختلف با زوایای چرخش ۳۰ و ۶۰ درجه تصویربرداری شد. سپس نقاط مرزی هر تصویر استخراج گردید. مدل سه‌بعدي از ادغام تصاویر با زوایای مختلف بازسازی و حجم سه‌بعدي با استفاده از مدل Wire-Frame اندازه‌گیری شد. سپس حجم ۳۰ عدد خرما به‌دست‌آمده از مدل Wire-Frame با استفاده از شاخص میانگین حاصل از تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS Version 26، با حجم‌های به‌دست‌آمده از روش مساحت n ضلعی منتظم محاط در دایره (V_M) مقایسه گردید. کمترین میزان خطا نسبت به مقدار واقعی میانگین حجم خرماها مربوط به روش ارائه‌شده در این مقاله با زاویه چرخش ۳۰ درجه و فاصله بین دو دیسک متوالی (ΔZ)، ۵ پیکسل بود.

۱- مقدمه

خرما مهم‌ترین نبات از خانواده پالماسه^۱ بانام علمی فونیکس داکتیلیفرا^۲ است [۱]. نخل خرما از لحاظ گیاه‌شناسی یک تک‌لپه از خانواده پالم^۳ است. از لحاظ گیاه‌شناسی این میوه یک هسته در یک پوست لیفی (فیبری) مانند بنام اندوکارپ و مزوکارپ گوشتی محصور شده است. میوه آن از لحاظ شکل، اندازه و وزن به واریته و شرایط رشد آن بستگی دارد. معمولاً میوه‌های خرما مستطیل شکل هستند، گرچه انواع خاصی ممکن است به شکل کروی نزدیک شوند [۲]. تعداد ارقام خرما بسیار زیاد و احتمالاً بیشتر از ۳۰۰۰ رقم است. تقریباً ۴۰۰ رقم خرما در ایران وجود دارد، ارقام رایج در ایران عبارت‌اند از: مضافتی، دیری، زاهدی، حلاوی، استعمران، پيارم، شاهانی، برحی، خاصویی، کبکاب، مرداسنگ، کسپ، برم و غیره [۳]. طبق آمار منتشره شده‌ی اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی استان تهران در سال ۱۳۹۵ بیشترین متوسط قیمت خرماي صادراتی مربوط به خرماي پيارم تازه یا خشک کرده با ۲۲۹۵ دلار به ازای هر تن بوده است [۴].

امروزه متأسفانه در ایران بسیاری صنایع فرآوری و بسته‌بندی خرما، از نیروی کار انسانی و به‌صورت دستی خرما را جداسازی، درجه‌بندی و بسته‌بندی می‌کنند. این روش از درجه‌بندی محصولات کشاورزی علاوه بر هزینه‌ی زیاد کارگر، باعث کمتر بودن میزان خروجی محصول درجه‌بندی‌شده، افزایش خطای انسانی به دلیل خستگی کارگران و درنهایت کاهش راندمان نسب به اتوماسیون می‌شود. امروزه با گسترش فناوری‌های نوین و علوم فنی، و ورود این علوم به صنایع کشاورزی و با بالا رفتن تقاضای بازار و همچنین با افزایش دستمزد کارگران در کشورهای توسعه‌یافته، حوزه‌ی پس از برداشت محصولات کشاورزی، به‌ویژه در بخش‌های درجه‌بندی و بسته‌بندی هم از این فناوری‌های نوین بی‌نصیب نمانده است. حجم، جرم، اندازه و شکل معمولاً هنگام توصیف محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. ابعاد، شکل‌ها و اندازه‌های فیزیکی در مرتب‌سازی و

¹ Phalmaceae

² *Phoenix dactylifera*

³ palm

اندازه‌گیری میوه‌ها از جمله پارامترهای مهم به شمار می‌آیند [۵]. اگر حجم و وزن میوه مشخص باشد، می‌توان به راحتی تراکم میوه را محاسبه کرد، که این یک اقدام برای شناسایی وجود نقایص پنهان مانند آسیب یخ‌زدگی و آسیب داخلی ناشی از حشرات مفید است. اگر فرض کنیم که تراکم (چگالی)^۱ میوه ثابت باشد، سیستم می‌تواند وزن میوه را از طریق حجم تخمین زده و این روش جایگزین دستگاه توزین شود [۶]. اندازه‌گیری حجم می‌تواند به‌طور غیرمستقیم برای تخمین بلوغ میوه‌ها استفاده شود [۷]. محاسبه حجم میوه می‌تواند به تولیدکننده کمک کند که بسته‌بندی مناسبی برای محصول طراحی کند و باعث افزایش بهره‌وری در کیفیت میوه می‌شود [۵].

سامانه‌های بینایی ماشین با کمک روش‌های پردازش تصویر، به شناسایی سریع، آسان و ارزان پارامترهای کیفیت منجر می‌شود، این روش‌ها غیر مخرب هستند و کیفیت بالاتری در مقایسه با روش‌های دستی دارند [۸]. اخیراً با ورود فناوری بینایی ماشین و تصویربرداری به کشاورزی، محاسبه حجم و بازسازی هندسه‌ی سه‌بعدی محصولات کشاورزی با استفاده از این تکنولوژی و با تلفیق سایر روش‌های الکترونیکی به همراه تصویربرداری انجام می‌شود. برای برآورد حجم محصولات به کمک پردازش تصویر، روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود که فرآیند مشترک همه‌ی آن‌ها تبدیل تصویر رنگی به سطح خاکستری و سپس دوسطحی، تعیین لبه و درنهایت اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر است [۹]. پژوهشگرانی با المان بندی فرضی سیب‌زمینی به المان‌هایی به شکل مخروط ناقص با مقطع بیضی در این تکنیک تصویربرداری به کمک دوربین دیجیتال و یک آیینی تخت انجام گرفت و خطای میانگین ۸/۱۵٪ گزارش شد [۱۰].

در پژوهشی دیگر به‌منظور تخمین حجم لیموشیرین با استفاده از پردازش تصویر، از روش تحلیلی استفاده کردند. این روش فقط مبتنی بر پایه‌یک تصویر از میوه است و از مدل تحلیلی وابسته به شکل استفاده می‌کند. آن‌ها حجم میوه را با برآورد شعاع تصویر محاسبه کردند. آن‌ها فقط از میوه کروی شکل برای تجزیه و تحلیل در نظر گرفتند، به این صورت که میوه موردنظر به شکل کروی طبقه‌بندی شده و پس از استخراج مؤلفه‌هایی از شکل که در تخمین حجم نقش دارند، از فرمول‌های مناسب برای برآورد حجم استفاده کردند [۱۱].

پژوهشگر دیگری برای برآورد حجم هندوانه به کمک پردازش تصویر، روش المان بندی مستطیلی، و انتخاب بیضی را به‌عنوان مدلی برای هندوانه به کار گرفتند. او با المان بندی فرضی هندوانه به دیسک‌های یکنواخت به هم چسبیده، حجم آن را محاسبه کرد در پایان نتایج کار تخمین حجم با روش پردازش تصویر و روش جابه‌جایی آب باهم مقایسه شدند و خطای تخمین حجم در روش پردازش تصویر ۷/۷٪ گزارش شد [۱۲].

در تحقیقی، برای تعیین حجم سیب، با قرار دادن سیب در مرکز یک میز گردان و ثابت کردن یک دوربین درجایی مشخص نسبت به سیب اقدام به تصویربرداری از گرداگرد سطح محصول در چرخش‌های ۲۰ درجه‌ای کردند. و سپس الگوریتم موردنظر را در نرم‌افزار Matlab 2018a طراحی و پیاده‌سازی کردند. در روش آن‌ها پس از پیش‌پردازش تصاویر، مرز جسم را به دست آوردند و با کنار هم قرار دادن مرزها مدل سه‌بعدی جسم را بازسازی کردند. آن‌ها برای ساده‌تر کردن محاسبه‌ی حجم در هر ارتفاع مشخص نقاط لبه‌های به‌دست‌آمده را استخراج کردند و سپس مدل Wire-Frame را به صفحات دیسکی تبدیل کردند. آن‌ها برای محاسبه حجم نیز از رابطه ۱، مساحت n ضلعی منتظم محاط در دایره به شعاع r استفاده کردند و صفحات دیسکی مربوط به سطح هر قطاع از سیب را دایره فرض کردند.

$$S_M = \frac{n}{2} r^2 \sin \frac{360}{n} \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا r شعاع دایره محیطی و n به عبارتی n ضلعی محاط در داخل دایره به شعاع r است. بنابراین حجم کل V_M از جمع حاصل ضرب مساحت در فاصله دو wire متوالی به دست می‌آید [۱۳].

پژوهشگری از دوازده ویژگی هندسی مختلف برای محاسبه حجم چهار محصول پرتقال، گلابی، لیمو و سیب‌زمینی به کمک شبکه عصبی استفاده کرد. او برای دریافت تصاویر دوبعدی بیشتر از جسم سه‌بعدی با استفاده از یک دوربین، از چند آیینه در اطراف آن استفاده کرد. او از هر محصول در ۶ حالت متفاوت قرارگیری تصویربرداری کرد، سپس اطلاعات به‌دست‌آمده ۲۴ تصویر را به شبکه عصبی داد و بنا بر آموزش قبلی حجم آن‌ها را تعیین کرد [۱۴].

هدف ما در این پژوهش، برآورد حجم خرمای پیارم به‌صورت سه‌بعدی و با حداقل تعداد نما با استفاده از مدل Wire-Frame و با کمک روش‌های پردازش تصویر است.

۲- مواد و روشها

۱.۲- واحد مرکب تصویربرداری

به طور کلی واحد مرکب تصویربرداری و بازسازی سه بعدی تصویر خرما می باشد. در این پژوهش از دوربین گوشی همراه سامسونگ^۱ مدل J710F 2016 با سیستم عامل اندروید^۲ نسخه ۸.۱.۰ و مشخصات دوربین ۵ مگا پیکسل و اندازه HD ۱۲۸۰×۷۲۰ استفاده شد. برای اتصال آنلاین گوشی تلفن همراه به رایانه شخصی از نرم افزار SydeSync در دو دستگاه استفاده شد. خرما به صورت افقی و بر روی یک پلکسی شفاف در مرکز دستگاه قرار گرفت. سپس ۱۳ و ۷ تصویر از گردگرد سطح محصول به ترتیب در زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه ای گرفته شد و بعد از آن تصاویر در نرم افزار Matlab 2018a فراخوانی شد تا بعد از پیش پردازش تصاویر، مرز جسم به دست آید و با کنار هم قرار دادن مرزها مدل سه بعدی خرما بازسازی گردد.

۲.۲- پردازش تصویر

پردازش تصویر فرآیندی است که طی آن ماهیت یک تصویر به نحوی تغییر داده می شود که اطلاعات تصویر برای استفاده انسان بهبود یابد و یا برای استفاده ماشین های خودکار مناسب تر گردد [۱۵].
به منظور استخراج اطلاعات لازم از خرما، باید تصویر رنگی به تصویر باینری تغییر یابد. یکی از چالش هایی که در تبدیل تصویر رنگی به تصویر باینری با آن مواجه بودیم، وجود سایه در تصاویر و انعکاس نور محیط بر روی خرما به دلیل وجود چروکیدگی زیاد و همچنین بازتاب نور محیط و تصویر خرما بر روی پلکسی شفاف بود.
حذف انعکاس از تصاویر به دو روش سخت افزاری و نرم افزاری امکان پذیر است. در روش سخت افزاری برای حذف سایه و بازتاب تصویر جسم بر روی صفحه شفاف پلکسی بر آن شدیم که زوایای بهینه ای که این بازتابها را کمتر و یا ندارد را پیدا کنیم. این زوایا عبارت بودند از زوایای ۰ (و یا عمود بر نمونه)، تا ۳۶۰ درجه (هر ۳۰ و سپس هر ۶۰ درجه یک تصویر). همچنین برای پیش پردازش بهتر تصاویر از روش نورپردازی از پشت استفاده شد که از لامپ های LED^۳ نواری که نور سفید تولید می کنند و ولتاژ مصرفی آنها ۱۲ ولت است در آن کار شده بود. در قسمت نرم افزاری پردازش تصویر با پیدا کردن فضای رنگی بهینه و آستانه گذاری^۴ مناسب و همچنین استفاده از عملگرهای مورفولوژی^۵ برای حذف نقاط بازتابی باقیمانده بر روی سطح جسم استفاده کردیم.
در این پژوهش از فضای رنگی RGB و کانال B و مقدار آستانه ای ۲۰۰ برای زمانی که از سیستم نورپردازی از پشت استفاده شد در نظر گرفته شد.

۳.۲- بازسازی سه بعدی مدل Wire-Frame

پس از به دست آوردن تصاویر باینری با کیفیت و تمام شدن فرآیند پیش پردازش تصاویر اخذ شده تحت زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه، نوبت به مرحله ای استخراج مختصات X و Y از لبه های تصاویر باینری رسید. در شکل ۱ الگوریتم مراحل انجام کار توسط نرم افزار مطلب تا رسیدن به مدل Wire-frame نشان داده شده است.

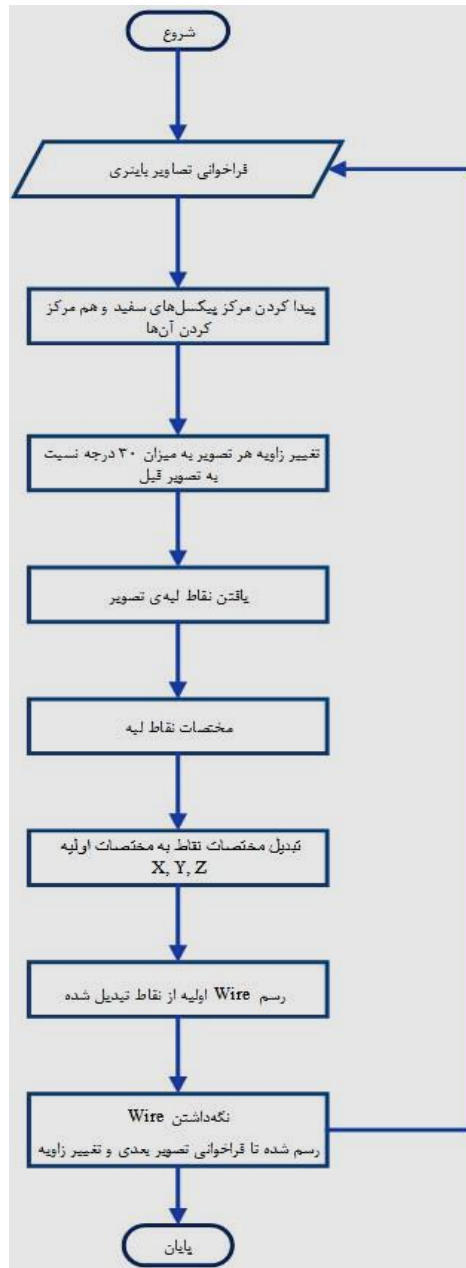
¹ SAMSUNG

² Andriod

³ Light Emitting Diode

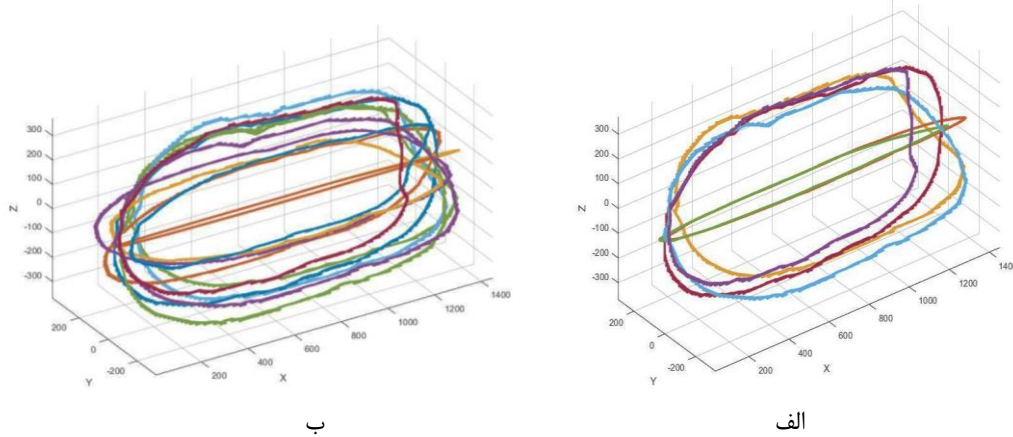
⁴ Threshold

⁵ Morphology



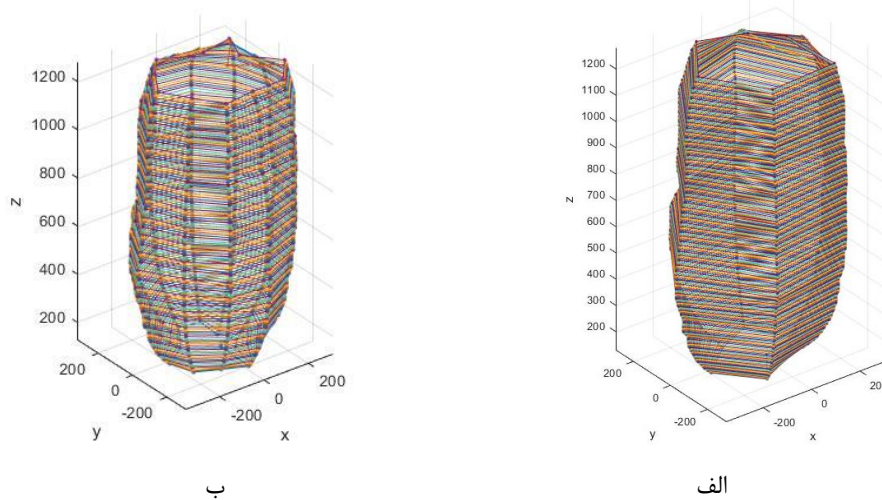
شکل ۱: الگوریتم استخراج مختصات لبه تصاویر و بازسازی سه‌بعدی مدل wire-frame

شکل ۲ اجرای الگوریتم فوق، مدل Wire-Frame خرما از مجموعه تصاویر تهیه‌شده بازسازی گردیده است را نشان می‌دهد. از همین الگوریتم فوق برای بازسازی مدل Wire-Frame خرما تحت زوایای ۶۰ درجه نیز استفاده‌شده و بجای تغییر زاویه هر تصویر به میزان ۳۰ درجه نسبت به تصویر قبل از زاویه‌ی ۶۰ درجه استفاده شد.



شکل ۲: الف- مدل Wire-Frame در زوایای ۶۰ درجه و ب- مدل Wire-Frame در زوایای ۳۰ درجه

با توجه به اینکه لبه‌های استخراج‌شده از تصاویر، نقاط زیادی را شامل می‌شود، برای تبدیل Wire-Frame قطعات عمودی به برش‌های افقی و محاسبه حجم، ابتدا لازم است که در هر ارتفاع مشخص، تنها یک داده وجود داشته باشد. به این منظور در هنگام فراخوانی مختصات لبه هر تصویر در نرم‌افزار متلب، از داده‌ها در هر ارتفاع ثابت میانگین گرفته شده است تا تنها یک نقطه از بین نقاط لبه در یک فاصله معین استخراج گردد. و با در نظر گرفتن مدل Wire-Frame به صورت صفحات دیسکی شکل (شکل ۳) می‌تواند روابط حاکم به منظور محاسبه حجم را آسان‌تر کند، علاوه بر این، به منظور مقایسه روش مورد نظر با روش‌های مورد استفاده در مقالات دیگر با توجه به اینکه بیشتر مقالات از اشکال مشخص همچون دایره و بیضی استفاده کرده‌اند، بهتر است مدل Wire-Frame به صورت نشان داده شده در شکل ۳ تغییر یابد.



شکل ۳: مدل wire-frame به صورت دیسکی شکل الف- تحت زوایای ۶۰ درجه و فاصله بین دو دیسک متوالی ۵ پیکسل، ب- تحت زوایای ۳۰ درجه و فاصله بین دو دیسک متوالی ۱۰ پیکسل

۴.۲- تعیین حجم واقعی خرما

حجم واقعی میوه‌ها را می‌توان توسط روش جابجایی مایع^۱ (LDM) اندازه‌گیری کرد که یکی از روش‌های رایج و ساده به منظور اندازه‌گیری حجم واقعی اجسام بزرگ از قبیل میوه‌ها و سبزیجات است. نخست میوه را باید با ترازو وزن کرد و سپس در مایع تولوئن به طور کامل غوطه‌ور کرد. وزن

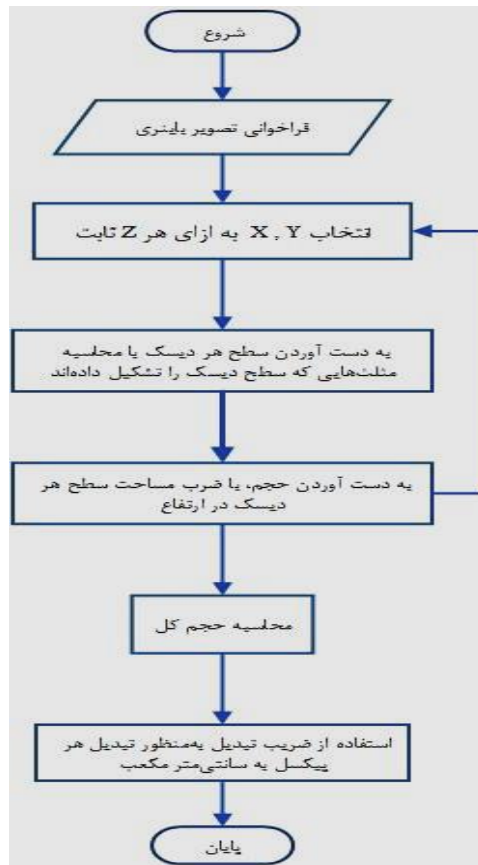
مایع جابه‌جاشده، از تفریق وزن ظرف پر از مایع تولوئن از وزن ظرف وقتی که میوه در آن قرار دارد به دست می‌آید [۱۶]. سپس حجم جسم از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$V = W_{Ld} / \rho_T \quad (2)$$

خرماها با ترازوی دیجیتال TP-500 ساخت چین با دقت ۰/۰۱ گرم، وزن گردیدند. در ظرف مدرج ۶۰۰ سی‌سی مایع تولوئن ریخته شد و روی ترازو شرکت آکسیس^۱ با دقت ۰/۰۱ گرم و مدل BTA2100D، ساخت کشور هلند قرار گرفت و جرم آن به‌عنوان m_1 ثبت شد. خرماها به کمک تکه سیم مفتولی علامت‌گذاری شده درون مایع تولوئن به‌طور کامل غوطه‌ور شدند و جرم مشاهده‌شده در این حالت به‌صورت m_2 ثبت گردید. سپس حجم خرماها از رابطه ۳ تعیین گردید. چگالی مایع تولوئن در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۰/۸۶۶۹ گرم بر میلی‌لیتر می‌باشد. با استفاده از یک عدد دماسنج دیجیتال ساخت شرکت پویا فر آزما مدل TC-1A ابتدا دمای محیط نزدیک به مایع که ثابت‌شده بود (۲۰/۵ °C) اندازه‌گیری شد و چگالی آن ۰/۸۶۶۱ گرم بر میلی‌لیتر محاسبه شد.

$$V_R = (m_2 - m_1) / 0.8661 \quad (3)$$

الگوریتم محاسبه حجم خرما به‌صورت سه‌بعدی نیز در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



شکل ۴: الگوریتم محاسبه حجم خرما

۵.۲- تهیه نمونه‌های خرما

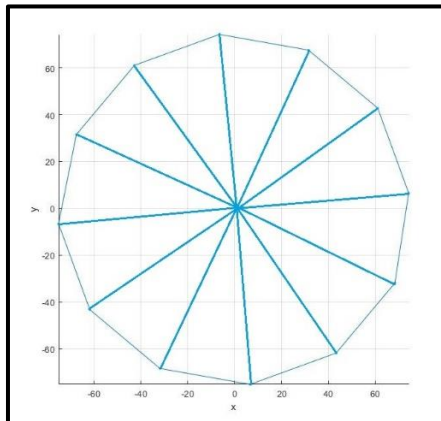
خرماهای پیارم از نخلستانی واقع در روستا عباس‌آباد سردار، شهرستان ریگان، استان کرمان تهیه شدند. مطابق با بازه‌ی زمانی برداشت این محصول که از اواسط شهریور شروع و تا اوایل آبان ماه ادامه پیدا می‌کند (بسته به آب‌وهوای مناطق مختلف) این رقم خرمای مورد استفاده در این

پژوهش برداشت دهه‌ی اول مهرماه می‌باشد.

۲.۶- محاسبه حجم خرما به صورت سه‌بعدی

مطابق شکل ۵ مساحت سطح مقطع هر دیسک از روش مجموع مساحت‌های مثلث‌های ایجادشده از یک مرکز در درون سطح و نقاط واقع‌شده روی لبه‌ها به دست می‌آید. سپس ضرب آن در ΔZ که نشان‌دهنده فاصله دو Wire متوالی است. در نهایت حجم کل V_{VT} شکل به دست خواهد آمد.

$$V_i = S_i \times \Delta Z \longrightarrow V_{VT} = \sum_{i=1}^n V_i$$



شکل ۵: نمایش مثلث‌های تشکیل‌دهنده سطح برای فاصله زوایای ۳۰ درجه

۳- نتیجه و جمع‌بندی

حجم به‌دست‌آمده (V_{VT}) از روابط موردنظر در این پژوهش نیز، با رابطه ۱، که برای تعیین حجم در پژوهش‌های گذشته استفاده شده است، مورد مقایسه قرار گرفت. این رابطه با در نظر گرفتن شکل میوه به صورت دایره و برقراری روابط حاکم بر این اشکال استوار می‌باشد.

در این پژوهش جهت سازمان‌دهی، خلاصه کردن و توصیف اطلاعات مربوط به حجم واقعی و حجم‌های محاسبه‌شده و همچنین پارامترهای دخیل در آن مانند نوع روش محاسبه حجم، زوایای موردبررسی و فاصله بین دو دیسک متوالی از آمار توصیفی استفاده شد و داده‌های حجمی جهت بررسی بهتر وارد نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS version 26 شدند. سپس با استفاده از آمار توصیفی داده‌ها را تنظیم و طبقه‌بندی شدند تا مقادیری از قبیل میانه، میانگین، واریانس، دامنه تغییرات (حجم‌ها)، انحراف از معیار و ... محاسبه شوند.

در جداول ۱ و ۲ شاخص‌های آمار توصیفی حجم خرماهای پیارم برای تعداد تصاویر مختلف (هفت و سیزده تصویر) در زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه (هر ۳۰ درجه و هر ۶۰ درجه) و همچنین دو فاصله مختلف بین دو دیسک متوالی (۵ و ۱۰ برحسب پیکسل) آورده شده است. در این جداول حجم واقعی با عنوان V_R می‌باشد که با روش جابه‌جایی مایع تولوئن به‌دست‌آمده است، V_{VT} مربوط به روش پیشنهادی در این پژوهش است و V_M مربوط به رابطه ۱، π ضلعی منتظم محاط در یک دایره می‌باشد.

جدول ۱: آمار توصیفی روش پیشنهادی V_{VT}

حجم (سانتی متر مکعب)					
V _{VT-60-10}	V _{VT-60-5}	V _{VT-30-10}	V _{VT-30-5}	V _R	آمار و ارقام
۵/۸۱۵	۵/۸۲۰	۶/۵۰۰	۶/۵۸۰	۷/۰۱۵	میانگین
۰/۲۳۹	۰/۲۳۷	۰/۲۶۵	۰/۲۵۱	۰/۲۵۴	استانداردسازی خطاهای میانگین
۵/۵۹۲	۵/۵۵۲	۶/۲۷۴	۶/۳۹۹	۶/۸۸۱	میانه
۱/۳۱۰	۱/۳۰۱	۱/۴۵۴	۱/۳۸۰	۱/۳۹۳	انحراف از معیار
۱/۷۱۹	۱/۶۹۳	۲/۱۱۴	۱/۹۰۵	۱/۹۴۳	واریانس
۱/۵۶۵	۱/۶۹۱	۱/۲۱۲	۰/۷۳۰	۱/۱۴۹	چولگی
۵/۶۰۰	۵/۶۰۰	۵/۹۸۰	۵/۵۷۰	۵/۷۰۳	دامنه حجم‌ها
۴/۱۸۰	۴/۱۸۰	۴/۷۱۰	۴/۷۲۰	۵/۰۲۲	کوچک‌ترین حجم
۹/۷۸۰	۹/۷۸۰	۱۰/۶۸۰	۱۰/۲۹۰	۱۰/۷۳۰	بزرگ‌ترین حجم

جدول ۲: آمار توصیفی روش V_M

حجم (سانتی متر مکعب)					
V _{M-60-10}	V _{M-60-5}	V _{M-30-10}	V _{M-30-5}	V _R	آمار و ارقام
۵/۵۸۵	۵/۵۸۶	۶/۴۲۰	۶/۴۰۶	۷/۰۱۵	میانگین
۰/۲۵۸	۰/۲۵۹	۰/۳۰۱	۰/۲۹۹	۰/۲۵۴	استانداردسازی خطاهای میانگین
۵/۵۸۵	۵/۵۸۶	۶/۴۲۰	۶/۴۰۶	۶/۸۸۱	میانه
۱/۴۱۶	۱/۴۲۰	۱/۶۵۳	۱/۶۴۱	۱/۳۹۳	انحراف از معیار
۲/۰۰۷	۲/۰۱۷	۲/۷۳۵	۲/۶۹۵	۱/۹۴۳	واریانس
۰/۴۵۰	۰/۴۴۱	۰/۷۷۸	۰/۵۰۷	۱/۱۴۹	چولگی
۶/۰۵۰	۶/۰۶۰	۷/۲۴۰	۷/۰۴۰	۵/۷۰۳	دامنه حجم‌ها
۳/۳۸۰	۳/۳۸۰	۳/۸۶۰	۳/۸۵۰	۵/۰۲۲	کوچک‌ترین حجم
۹/۴۳۰	۹/۴۴۰	۱۱/۰۹۰	۱۰/۹۰۰	۱۰/۷۳۰	بزرگ‌ترین حجم

در داده‌های این پژوهش که مقیاس اندازه‌گیری حداقل فاصله با حجم واقعی خرما می‌باشد میانگین بهترین شاخص است. همان‌طور که در جداول

فوق مشخص است روش پیشنهادی V_{VT} بافاصله‌ی زاویه‌ای 30° درجه و همچنین بافاصله بین دو دیسک متوالی $\Delta Z=5$ دارای کمترین فاصله (خطا) با میانگین V_R می‌باشد. میزان خطا در روش V_M بافاصله‌ی زاویه‌ای 60° درجه و $\Delta Z=5$ به مراتب از سایر متغیرهای ذکر شده بیشتر است. علت زیاد بودن خطا هم می‌تواند زیاد بودن فاصله‌ی زوایا (تعداد نمای کم) و دایره‌ای فرض شدن هر wire باشد.

برای اندازه‌گیری حجم با روش جابجایی مایع با استفاده از مایع تولوئن عدم ثبات دما یکی از خطاهای موجود در حین اندازه‌گیری حجم واقعی خرماها است. بهتر است برای اعتبارسنجی بهتر این روش محاسبه‌ی حجم، این روش برای سایر میوه‌ها با تعداد زیادتر آزمایش شود. و با سایر روش‌های موجود محاسبه حجم در پردازش تصویر مقایسه گردد.

۴- مراجع

- [۱] کرامت جهرمی، مهدی؛ رفیعی، شاهین؛ جعفری، علی؛ و میراشه، رضا؛ اندازه‌گیری برخی از خواص فیزیکی خرما (رقم گیوونی)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس دانشجویی مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۶.
- [۲] رثوفت، محمد حسین؛ نصیری، سید مهدی؛ و اشراقی، علی؛ طراحی، ساخت و ارزیابی مکانیزم هسته گیر خرما، مجموعه مقالات هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.
- [۳] حزباوی، عیسی؛ مینایی، سعید؛ قبادیان، برات؛ و مستعان، احمد؛ برخی ویژگی‌های فیزیکی ۶ رقم هسته خرمای ایرانی، مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۷.
- [۴] اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران. ۱۳۹۵. <http://www.tccim.ir>.
- [5] Azadbakht, M., Torshizi, M.V., and Mahmoodi, M.J., "The relation of pear volume and it's bruised volume by CT scan imaging", Journal of Food Measurement and Characterization, No. 13(2), pp. 1089-1099, 2019.
- [6] Forbes, K. A. and Tattersfield, G. M. 1999. "Estimating fruit volume from digital images". In 1999 IEEE Africon. 5th Africon Conference in Africa, South Africa, (Cat. No. 99CH36342), Vol. 1, 107-112, Oct 1999.
- [7] Iqbal, S. M., Gopal, A. and Sarma, A. S. V., "Volume estimation of apple fruits using image processing", In 2011 International Conference on Image Information Processing, Shimla, 1-6, 2011.
- [8] Uluişik, S., Yıldız, F., and Özdemir, A. T., "Image processing based machine vision system for tomato volume estimation", In 2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting, Istanbul, (EBBT), (pp. 1-4), April 2018.
- [9] Leemans, V., and Destain, M. F., "A real-time grading method of apples based on features extracted from defects", Journal of Food Engineering, 61, No. 1, pp. 83-89, 2004.
- [۱۰] امیری پریان، جعفر؛ خوش تقاضا، محمد هادی؛ کبیر، احسان الله؛ و مینایی، سعید؛ برآورد حجم سیب زمینی با استفاده از پردازش تصویر، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۸ (۴): ۱۱۳ تا ۱۲۶، ۱۳۸۶.
- [11] Gokul, P. R., Raj, S. and Suriyamoorthi, P., "Estimation of volume and maturity of sweet lime fruit using image processing algorithm", In 2015 International Conference on Communications and Signal Processing, Melmaruvathur, (ICCS), 1227-1229, April 2015.
- [12] Koc, A.B., "Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing", Postharvest Biology and Technology, 45(3): 366-371, 2007.
- [۱۳] پاکدل، ریحانه؛ گلزاریان، محمودرضا؛ و خجسته پور، مهدی؛ اندازه‌گیری حجم سیب به صورت سه‌بعدی با استفاده از مدل Wire-Frame، مجموعه مقالات یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۳۹۷.
- [14] Forbes, K., "Volume estimation of fruit from digital profile images", Phd Thesis, University of Cape Town, 2000.
- [۱۵] گلزاریان، محمودرضا؛ کاظمی، فاطمه؛ و حاجی ابوالحسنی، ز؛ پردازش تصویر از اصول تا اجرا با کمک نرم‌افزار متلب، ویراستار علمی: حمیدرضا پوررضا، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۹۳.
- [۱۶] پاکدل، ریحانه؛ مدل‌سازی سه‌بعدی چروکیدگی براساس تصاویر ویژوال هال برای محصولات هسته‌دار در طی خشک کردن (مطالعه موردی: آلو)، پایان‌نامه دوره ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۹۷.