مدلی عملی برای برآورد حجم محصولات کشاورزی با کاربرد ماشین بینایی(۴۳۳)

جعفر امیری پریان [۱]، محمدهادی خوش‌تقاضا [۲]، احسان‌اله کبیر [۳]

چکیده

ماشین بینایی یکی از پرقدرت‌ترین ابزار غیر مخربی است که امروزه استفاده‌های گوناگونی را در اکثر زمینه‌های تحقیقاتی دارد. یکی از استفاده‌های این روش به عنوان ایده‌ای نو برای اندازه‌گیری حجم محصولات کشاورزی در پژوهش حاضر به کار رفته است. در این تحقیق، برای برآورد حجم سه محصول سیب درختی (گلدن دلیشز)، پیاز (سفید) و پسته (کله قوچی) از ترکیب روابط ریاضی و پردازش تصویر استفاده شده است. برای این کار ابتدا رابطه‌ای برای تعیین حجم مخروط ناقص با مقطع بیضی با استفاده از روابط ریاضی، استخراج شد. سپس با تقسیم تصویر هر محصول به قطعات مخروط ناقص با مقطع بیضی در ده سطح (۲^n قسمت، n =۱...۱۰)، حجم آن تعیین شد. در این روش، دو تصویر عمود بر هم از نمونه‌ها به طور جداگانه گرفته شد. تصاویر رنگی بدست آمده به کمک نرم‌افزار MATLAB®، پردازش شده و لبهٔ آن‌ها استخراج شد. سپس با اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز از تصاویر، حجم هر نمونه محاسبه شد. نمونه‌های مورد مطالعه به طور کاملاً تصادفی انتخاب شدند. برای تعیین میزان خطای حجم محاسبه شده، از مقایسه‌ی آن با حجم اندازه‌گیری شده به روش مقدار آب جابجا شده به عنوان مرجع، استفاده شد. نتایج نشان داد که حجم محاسبه شده به ترتیب دارای دقت ۹۸/۲ درصد در سیب درختی، ۹۲/۲ درصد در پیاز و ۹۲/۱ درصد در پسته می‌باشد.

کلیدواژه: روش غیر مخرب، پردازش تصویر، درجه‌بندی، پیاز، پسته

۱- استادیار، همدان، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکدهٔ کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پست الکترونیک: j.amiriparian@basu.ac.ir
۲- دانشیار، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ کشاورزی، گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی
۳- استاد، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ فنی، گروه مهندسی الکترونیک

۱- مقدمه

امروزه از ماشین بینایی در امر درجه‌بندی محصولات استفاده‌های فراوانی می‌شود. این درجه‌بندی ممکن است بر اساس رنگ، اندازه و یا بطور کلی در مورد خصوصیات بیرونی یک محصول انجام شود. در بسیاری از درجه‌بندی‌های محصولات بر اساس اندازه، از قطر محصول استفاده می‌شود. اگر چه در ابتدا ممکن است این امر عاری از خطا جلوه‌گر شود اما در بعضی موارد هنگامی که به اندازهٔ دقیق هر محصول نیاز است نمی‌توان تنها به قطر محصول استناد کرد. بطور مثال اگر قرار بر برآورد چگالی محصولات بر اساس حجم آن‌ها باشد (با فرض چگالی ثابت برای محصولات)، نمی‌توان تنها بر اساس قطر به نتیجه‌ای درست دسترسی پیدا کرد که این امر از نامنتظم بودن شکل هندسی محصولات ناشی می‌شود. لذا مقولهٔ اندازه‌گیری حجم محصولات دغدغه‌ای است که اخیراً پژوهشگران را بر آن داشته تا راه حل مناسبی را برای آن بیندیشند.

لی و همکاران[1] (۲۰۰۴) با تابش نور لیزر به گوشت صدف خوراکی بطور موازی و تعیین اختلاف مکان نور در صفحه‌ی مسطح و سطح جسم در هر تصویر دو بعدی، بعد سوم (ارتفاع) را اندازه‌گیری کرده‌اند. مدل سه بعدی جسم با داشتن عرض و ارتفاع هر نقطه، بازسازی شده و از این طریق حجم نمونه‌ها محاسبه شده است. همین پژوهشگران در سال ۲۰۰۶، برای برآورد حجم و سطح چهار محصول سیب، طالبی، توت و گوجه‌فرنگی از تصویر برداری شعاعی استفاده کرده‌اند. ایشان با گرفتن ۳۰ تصویر از گرداگرد سطح محصول در چرخش‌های ۱۲ درجه‌ای، اقدام به یافتن مرز در هر تصویر کرده‌اند. سپس با در کنار هم قرار دادن این مرزها به کمک نرم‌افزاری مخصوص، مدل سه بعدی جسم را بازسازی و حجم و سطح رویه‌ی آن‌ها را محاسبه کرده‌اند. این روش در عین برآورد دقیق حجم، بار محاسباتی زیادی دارد.

انگواجیو و همکاران[2] (۲۰۰۳)، مدل ساده‌ای را برای اندازه‌گیری حجم فلفل دلمه‌ای[3] ارائه دادند. آن‌ها با انتخاب رابطه‌ی تعیین حجم کره بعنوان پایه‌ی محاسبات، رابطه‌ی $V_F = KD^2L\pi/6$ را برای برآورد حجم این محصول پیشنهاد کردند. که V_F، حجم محصول، D، قطر، L، طول محصول و K، ضریب شکل است. دو و سان[4] (۲۰۰۵) سطح و حجم قطعات کوکتلی گوشت خوک را به کمک تصویر برداری، اندازه‌گیری کردند. در این تحقیق با آشکارسازی شکل و حذف برآمدگی دو طرف کوکتل، قطر آن مشخص شده که از آن با فرض منتظم بودن شکل کوکتل به صورت یک بیضی‌گون، برای تخمین سطح وحجم قطعات کوکتل استفاده شده است.

استفاده از یک دوربین و سطوح آینه‌کاری شده برای دریافت اطلاعات تصویری بیشتر و تعیین حجم میوه‌های ساکن در محفظه‌ی نورپردازی، روشی است که فاربز[5] (۲۰۰۰) از آن استفاده کرده است. در این روش آینه‌هایی با زاویه‌ی ۴۵ درجه در اطراف میوه قرار گرفته‌اند و دوربین نیز با زاویه‌ی دید ۴۵ درجه از میوه‌ها تصویربرداری می‌کند. از هر محصول در ۶ حالت مختلف قرارگیری، تصویربرداری شده و سپس اطلاعات حاصل از ۲۴ تصویر گرفته شده، بنا بر آموزش قبلی به شبکه‌ی عصبی داده شده و حجم محصول تعیین شده است.

گاهی اوقات با توجه به محدودیت‌های موجود، محاسبه‌ی یک ویژگی با اندازه‌گیری ویژگی دیگری انجام می‌شود. مرچنت[6] (۱۹۹۰)، با گرفتن تصاویری از سیب‌زمینی‌های غلتان بر روی نقاله‌ی حامل در یک سیستم پیوسته، رابطه‌ای را برای برآورد وزن آن‌ها براساس مجذور میانگین مساحت سطح تصویر و بیشینه‌ی قطر ۱۲ تصویر، ارائه کرده است.

با توجه به آنچه که در بالا ذکر شد، مشاهده می‌شود در تحقیقات محدود صورت گرفته دو نقص وجود دارد که یکی مربوط به فرض منتظم بودن شکل محصولات است و دیگری مربوط به غیرعملی بودن روش، در کاربردهای عملی است. بنابراین در این پژوهش بر آن شدیم روشی را برای برآورد حجم سه محصول سیب درختی، پیاز و پسته بیابیم که دارای دقت مناسب بوده و از

1 - Lee *et al.*
2 - Ngouajio *et al.,*
3- Bell Pepper
4 -Du and Sun
5 - Forbes
6 - Marchant

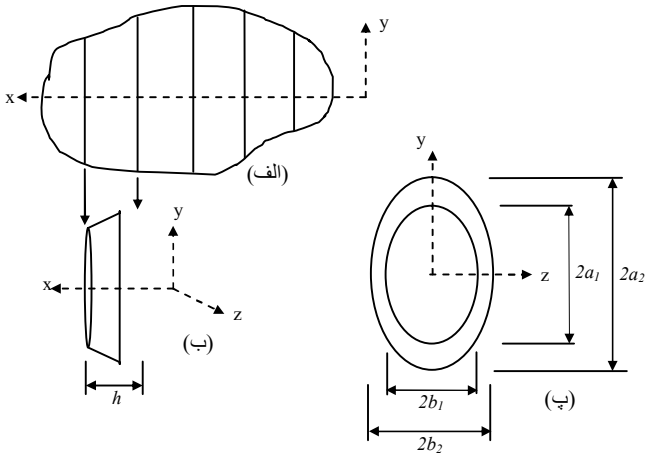
الگوریتم ساده‌ای پیروی نماید. علت انتخاب این سه محصول در نظر گرفتن تنوع محصول از لحاظ محصول آجیلی، سیفی و میوه و همچنین تنوع شکلی آن‌ها از لحاظ اندازه‌های متفاوت و تفاوت شکل بوده است.

۲- مواد و روش‌ها

الگوریتم تعیین حجم در این پژوهش، بر تقسیم حجم هندسی محصول به حجم‌های کوچکتری با هندسه‌ی منظم‌تر به شکل مخروط ناقص استوار است. یعنی فرض بر این است که محصولات کشاورزی از تعدادی مخروط ناقص تشکیل شده‌اند. برای جامع‌تر شدن و استفاده‌ی گسترده‌تر از این مدل برای تعیین حجم محصولات کشاورزی مختلف، قطعات مخروط ناقص با مقطع بیضی در نظر گرفته شدند (شکل ۱). این کار مستلزم این بود که لزوماً از دو نمای عمود بر هم هر محصول اطلاعاتی در دست باشد. در این پژوهش، هر نمونه در ۱۰ سطح به 2^n قسمت (n =۱...۱۰) تقسیم شد. هر مقطع دارای پنج پارامتر است که عبارتند از ارتفاع مخروط ناقص (h)، قطر کوچک ($2a_1$) و قطر بزرگ ($2b_1$) بیضی قاعده‌ی بزرگ و قطر کوچک ($2a_2$) و قطر بزرگ ($2b_2$) بیضی قاعده‌ی کوچک. برای محاسبه‌ی حجم هر مقطع، با پارامترهای مشخص شده در شکل(۱)، یک رابطه‌ی ریاضی نیاز بود. بنابراین هندسه‌ی این شکل ترسیم و با انتگرال‌گیری، حجم آن به صورت رابطه‌ی (۱) حاصل شد. حجم قطعات مخروطی شکل به کمک این رابطه محاسبه و حجم کل محصول از حاصل جمع حجم تمام این مقاطع بدست می‌آید (رابطه‌ی ۲).

$$v_i = \frac{\pi h_i}{6}(2a_{1i}b_{1i} + a_{1i}b_{2i} + a_{2i}b_{1i} + 2a_{2i}b_{2i}) \qquad (۱)$$

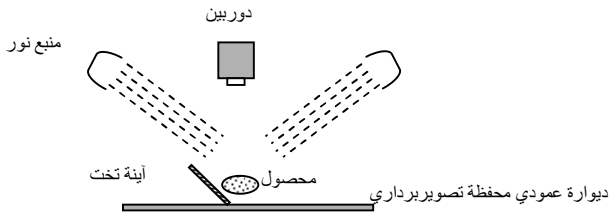
$$V_{total} = \sum_{i=1}^{n} v_i \qquad (۲)$$



شکل ۱: نمایش الف) تصویر نامتظم یك محصول، ب) تقسیم آن به قطعاتي به شکل مخروط ناقص با مقطع بیضي و پ) پارامترهاي مربوطه (امیري پریان و همکاران، ۱۳۸۶)

پس از استخراج روابط مورد نیاز برای محاسبهٔ حجم، تصویربرداری از نمونه‌ها انجام شد. ابتدا سامانهٔ ماشین‌بینایی شکل (۲) شامل سه قسمت محفظه با رنگ سیاه، سامانهٔ نورپردازی و دوربین، طراحی و ساخته شد. به این ترتیب که به کمک یک آینهٔ تخت با زاویهٔ قرارگیری ۴۵ درجه نسبت به دوربین، از هر نمونه یک تصویر رنگی (RGB) عمود برهم از دو نمای آن تهیه شد. دوربین مورد استفاده برای تصویر برداری، دوربین رقمی BenQ[1] مدل DC-1300 و ابعاد تصاویر گرفته شده در این تحقیق ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل است. زمینهٔ سیاه تصاویر، به کمک یک نوع کاغذ سیاه رنگ (باستلی اشتنباخ) ایجاد شد. در این سامانه از نورپردازی جلویی[2] با تابش پخش شده[1]، به کمک لامپ‌های فلورسنت استفاده شد.

1- Digital Camera
2 - Front Lighting



شكل ۲: طرحوارة سامانة ماشين بينايي و محل قرارگيري اجزاي آن (نماي بالايي)

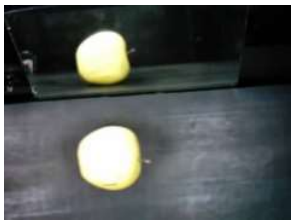
برای کالیبراسیون و تعیین میزان بزرگنمایی تصویر، از یک گوی کروی با قطر ۴۰ میلی‌متر استفاده شد. سه تصویر از این گوی، در شرایط مشابه تهیه شد. مساحت سطح تصویری گوی در تصویر دوسطحی، با شمارش پیکسل‌های تشکیل دهندهٔ آن محاسبه شد. مساحت واقعی سطح تصویر گوی با استفاده از رابطهٔ مساحت دایره‌ای با قطر ۴۰ میلی‌متر تعیین شد. سپس برای یافتن ضریب کالیبراسیون، از رابطهٔ (۳) استفاده گردید.

$$cc = \sqrt{\frac{A_{real}}{A_{view}}} \qquad (۳)$$

در این رابطه، cc، ضریب کالیبراسیون، A_{real}، مساحت واقعی سطح تصویری گوی و A_{view}، مساحت سطح تصویر گوی در هر نمای تصویر دوسطحی هستند.

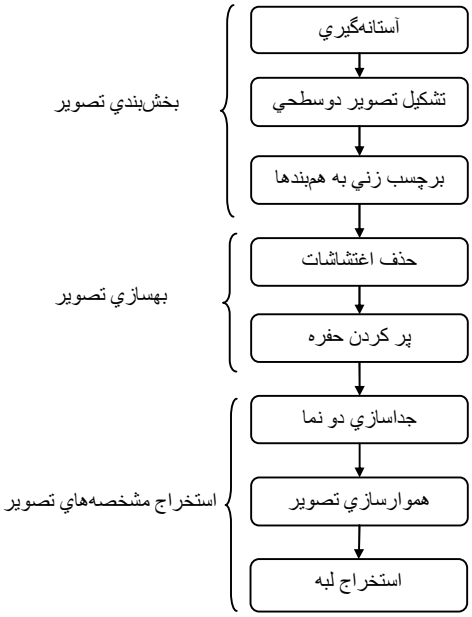
برای نمونه‌گیری از محصولات، پس از تهیهٔ آن‌ها از بازار، تعداد ۹۰ سیب درختی، ۱۰۰ عدد پسته و ۸۸ عدد پیاز بطور کاملاً تصادفی انتخاب شدند. پس از زدودن نمونه‌ها از ناپاکی‌ها، از هر نمونه، تصاویری طبق آنچه که در بالا گذشت، تهیه شد (شکل ۳) و سپس حجم واقعی هر نمونه به کمک روش جابجایی آب اندازه‌گیری شد. تصاویر تهیه شده از هر نمونه به کمک الگوریتم‌هایی که در نرم‌افزار MATLAB® نسخهٔ ۷ کد نویسی شدند، پردازش شدند. الگوریتم کلی پردازش تصاویر در شکل (۴) خلاصه شده است.

پس از پردازش تصاویر و آماده‌سازی آن‌ها برای استخراج پارامترهای لازم رابطهٔ (۱)، کلیهٔ این مشخصات از روی لبهٔ تصاویر اندازه‌گیری شده و حجم هر مقطع برآورد شد که با تأثیر ضریب کالیبراسیون به اندازه‌ی واقعی تبدیل شدند و حجم کل هر نمونه به کمک رابطهٔ (۲) برآورد شد. سپس به منظور تجزیه و تحلیل آماری و یافتن بهترین تعداد مقطع در هر محصول، قدر مطلق خطای برآورد حجم با این روش و روش جابجایی آب محاسبه و از آن استفاده شد.



شكل ۳: نمونه‌ای از تصویربرداری از دو نمای هر نمونه به کمک آینهٔ تخت

1 - Diffused Radiation



شکل ۴: نمایش الگوریتم پردازش برای آماده‌سازی تصاویر

۳- نتایج و بحث

قدر مطلق خطای محاسبه شده در آزمون مقایسهٔ میانگین (سطح احتمال ۱٪) بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که بهترین تعداد مقطع برای حصول کمترین خطا در محصولات مورد مطالعه، به صورت جدول (۱) است. همانطور که از این جدول نمایان است، هر نمونهٔ سیب با تعداد 2^5 مقطع، پسته با 2^3 مقطع و پیاز با 2^4 مقطع با بالاترین دقت برآورد شده‌اند. این تعداد مقاطع کمترین تعداد مقطع با بالاترین دقت و کمترین بار محاسباتی می‌باشند.

جدول ۱: مشخصات میانگین قدر مطلق خطا و درصد دقت برآورد حجم محصولات در تعداد مقاطع بهینه

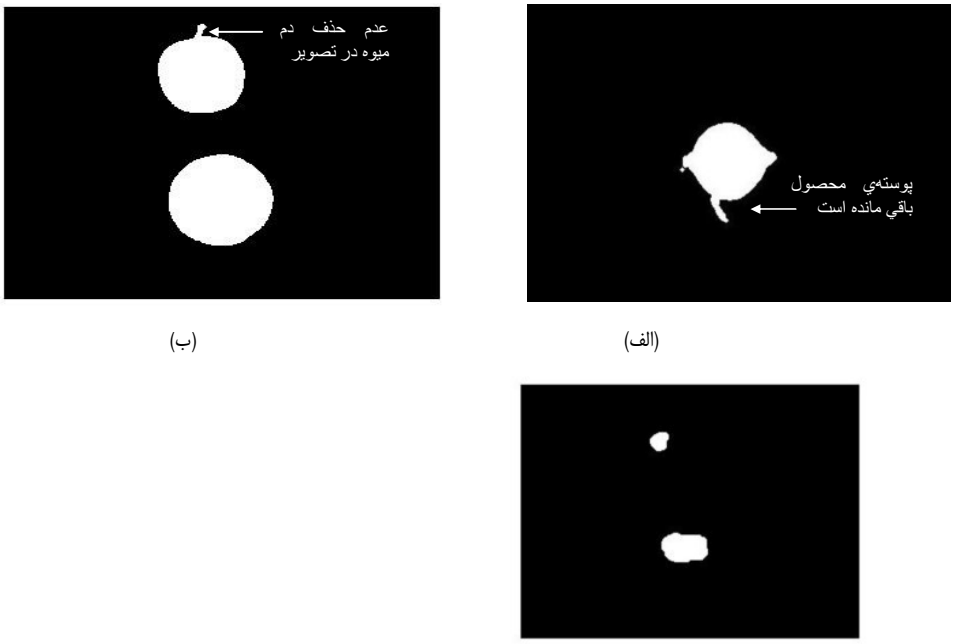
محصول	تعداد مقطع	درصد میانگین قدر مطلق خطا	دقت میانگین برآورد حجم (درصد)
سیب	۳۲	۱/۸۲۶	۹۸/۲
پسته	۸	۷/۸۵۹	۹۲/۱
پیاز	۱۶	۷/۸۳	۹۲/۲

بالا بودن دقت برآورد حجم محصولات 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. از جمله می‌توان بار محاسباتی کم، سادگی الگوریتم و کاربردی بودن روش را نیز به آن افزود.

در تحقیق لی و همکاران (۲۰۰۴)، اولاً استفاده از لیزر دارای پیچیدگی تولید بوده و در ثانی، دوربین باید قابلیت تصویربرداری در محدودهٔ نور مادون قرمز را دارا باشد که در مقایسه با دوربین به کار رفته در تحقیق حاضر مطمئناً دارای قیمت بالایی است. همچنین در مقایسه با تحقیق همین محققین در سال ۲۰۰۴، عملی بودن روش حاضر نسبت به روش ایشان کاملاً واضح است. زیرا در کاربردهای عملی علی‌الخصوص در زمینهٔ استفاده برای ماشین‌های جداساز، تهیهٔ ۳۰ تصویر از گرداگرد محصول و شبیه‌سازی نمای سه بعدی کاری پیچیده، زمان‌بر و غیر عملی است.

در تحقیق دو و سان، فرض بیضی‌گون بودن کوکتل باعث سادگی حل مسئله شده که مطمئناً در مقام عمل و برای برآورد حجم محصولات کشاورزی دارای اشکال نامنتظم هندسی، با خطای زیادی مواجه می‌شود. که این مورد در مدل پیشنهادی تحقیق حاضر با تقسیم حجم محصول به قطعات مخروط ناقص و مقطع بیضی به منظور بالا بردن دقت تحلیل، جبران شده است. استفاده از تعدد آینه در چیدمان سامانهٔ ماشین‌بینایی، غیرعملی بودن روش فاربز را در کاربردهای عملی غیرممکن می‌سازد.

دلیل وجود خطای اندک در برآورد حجم محصولات به نحوهٔ تصویربرداری و پردازش مربوط می‌شود. چرا که برخی محصولات یا اندازهٔ بسیار کوچکی داشته‌اند و دارای لکه‌های تیره‌رنگ علی‌الخصوص در لبه‌های تصویر که با الگوریتم مربوط به پر کردن حفره از بین نرفته‌اند، بوده ند (پسته)، یا دارای پوسته‌های جداشده از سطح محصول بوده (پیاز) و یا وجود دم میوهٔ ضخیم (سیب) و عدم حذف آن به کمک الگوریتم حذف دم، باعث ایجاد پردازش نادرست و بر همین اساس اندازه‌گیری اشتباه در پارامترهای لازم برای برآورد حجم شده است. شکل (۵)، نمونه‌ای از این خطاها را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

(ج)

شکل ۵: علل وجود خطا در اندازه‌گیری، الف) وجود پوسته بر گرداگرد محصول، ب) وجود دم میوهٔ ضخیم و ج) وجودلکهٔ سیاه رنگ و اندازهٔ کوچک محصول که منجر به از دست دادن مقداری از سطح تصویر شده است

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، به منظور برآورد حجم دقیق سه نوع محصول کشاورزی سیب درختی، پسته و پیاز با کاربرد ماشین‌بینایی، مدلی جدید بر اساس تقسیم تصویر دو نمای هر محصول به قطعاتی به شکل مخروط ناقص و قاعده‌های بیضی به منظور کلیت بخشیدن به نامنتظم بودن شکل هندسی محصولات، پیشنهاد شد. نتایج پردازش تصویر بار محاسباتی بسیار اندک را برای پردازش تصاویر در اجرای مدل نشان دادند و بعلاوه دقت بالای برآورد حجم به کمک مدل پیشنهادی در مقایسه با سایر تحقیقات نشان دهندهٔ توانایی آن در برآود حجم می‌باشد. همچنین کاربردی بودن این مدل در استفادهٔ آن در ماشین‌های پیوستهٔ جداساز کاملاً واضح می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود برای محاسبهٔ حجم سیب از تعداد ۳۲مقطع، پیاز ۱۶ و پسته ۸ مقطع به کمک مدل تشریح شده در کاربردهای عملی استفاده شود.

۵- منابع

امیری پریان، ج.، خوش‌تقاضا، م. ه.، کبیر، الف. و **مینایی، س.** (۱۳۸۶). برآورد حجم سیب‌زمینی با استفاده از پردازش تصویر. **مجلهٔ تحقیقات مهندسی کشاو زی.** جلد: ۸، شمارهٔ: ۴.صفحهٔ ۱۲۶–۱۱۳.

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(3): 260-268.

Forbes, K. (2000). **Volume estimation of fruit from digital profile image**. M.Sc. thesis of Electronic Engineering, Cape town.

Lee, D. J., Lane, R. M. and Chang, G. H. (2004). Three-dimensional Reconstruction for High-speed Volume Measurement. Available at : ***www.ee.byu.edu***.

Lee, D. J., Elfert, J. and Zhan, P. (2006). Area and volume measurements of objects with irregular shapes using multiple silhouettes. **Optical Engineering**, 45(2): 1–11.

Marchant, J. A., Onyango, C. M. and **Street, M. J.** (1990). Computer vision for potato inspection without singulation. **Computers and Electronics in Agriculture**: 4(3): 235-244.

Ngouajio, M., Kirk, W. and Goldy, R. (2003). A simple model for rapid and nondestructive estimation of Bell Pepper Fruit volume. **HortScience**, 38(4): 509–511.