



اندازه گیری حجم سیب به صورت سه بعدی با استفاده از مدل Wire-Frame

ریحانه پاکدل^۱، محمودرضا گلزاریان^{۲*}، مهدی خجسته پور^۳

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

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

^۳دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، mkhpour@um.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری حجم اطلاعات مهمی را برای برنامه‌های کاربردی کشاورزی فراهم می‌کند. در این مقاله یک روش برای اندازه‌گیری حجم سیب به صورت سه‌بعدی با استفاده از پردازش تصویر ارائه شده است. در این سیستم ابتدا از سیب در جهات مختلف با زاویه چرخش ۲۰ درجه تصویربرداری شد. سپس نقاط مرزی هر تصویر استخراج گردید. مدل سه‌بعدی از ادغام تصاویر با زوایای مختلف بازسازی و حجم سه‌بعدی با استفاده از مدل Wire-Frame اندازه‌گیری شد. سپس حجم به دست آمده از مدل Wire-Frame با حجم به دست آمده از روش‌های ارائه شده در مقالات دیگر مقایسه گردید. کمترین میزان خطا نسبت به مقدار واقعی برابر با ۰٫۱۱ درصد و مربوط به روش ارائه شده در این مقاله بود.

کلمات کلیدی: بازسازی سه بعدی، پردازش تصویر، حجم، سیب.

3D Volume Measurement of Apple Using the Wire-Frame Model

Reyhaneh Pakdel¹, Mahmood Reza Golzarian^{2*}, Mehdi Khojastehpour³

¹MSc Student, Ferdowsi University of Mashhad, reyhaneh.pakdel@mail.um.ac.ir

²Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad, m.golzarian@um.ac.ir

³Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad, mkhpour@um.ac.ir

ABSTRACT

The volume measurements provide important information for the agriculture applications. In this paper, a method is presented for the 3D volume measurement of apple. Initially the images were taken from several directions at 20° angle of rotation. Afterward the boundary points of each image were extracted. The 3D model was reconstructed by integrating the images at different angles and the volume was measured using the wire-frame model. Finally, the volume obtained using the wire-frame model was compared with some methods presented in the literature. The minimum amount of error in comparison with the real value was 0.11% and belonged to the method presented in this study.

Keywords: 3D reconstruction, Image processing, Volume, Apple



خواص فیزیکی محصولات کشاورزی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی سیستم‌های بسته‌بندی و درجه‌بندی هستند و حجم محصولات کشاورزی، یکی از این خواص می‌باشد که بایستی به طور دقیق اندازه‌گیری شود. امروزه از ماشین بینایی در امر درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده‌های فراوانی می‌شود. این درجه بندی ممکن است براساس رنگ، اندازه و یا به طور کلی در مورد خصوصیات بیرونی یک محصول انجام شود. تعیین حجم محصولات کشاورزی نقش عمده ای در مسائل مربوط به بسته بندی 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 اندازه گیری حجم ممکن می باشد (Jafarloo & Teimourlou, 2014). از آنجایی که اندازه میوه به طور مستقیم مربوط به حجم آن است، حجم می‌تواند به عنوان یک توصیفگر مهم برای درجه‌بندی میوه‌ها به کار برده شود (Moreda et al., 2009). حجم یک عامل مهم برای تعیین کیفیت داخلی و خارجی میوه‌هاست. چگالی نیز که از اطلاعات وزن و حجم به دست آمده، به رسیدگی، ضخامت پوست و اختلالات فیزیولوژیکی در میوه‌ها و سبزیجات نزدیک است (Yamamoto et al., 2018).

سیستم‌های بینایی ماشین با کمک روش‌های پردازش تصویر، به شناسایی سریع، آسان و ارزان پارامترهای کیفیت منجر می‌شود، این روش‌ها غیرمخرب هستند و کیفیت بالاتری در مقایسه با روش‌های دستی دارند (Uluişik et al., 2018). برای برآورد حجم محصولات به کمک پردازش تصویر، روش‌های مختلفی به کار می‌رود که عموماً فرآیند مشترک همه آن‌ها تبدیل تصویر رنگی به سطح خاکستری و سپس باینری، تعیین لبه و در نهایت اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر است (Leemans and Destain., 2004).

محققینی برای برآورد حجم هندوانه به کمک پردازش تصویر، روش المان بندی مستطیلی و انتخاب بیضی را به عنوان مدلی برای هندوانه به کار گرفتند و با روش جابه جایی آب مقایسه کردند. نتایج کار آنها برای تخمین حجم از طریق پردازش تصویر، در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد، اختلاف معنی داری با روش جابه جایی آب نداشت (Koc, 2007).

در پژوهشی دیگر به منظور تخمین حجم سیب با استفاده از پردازش تصویر، از روش‌های تحلیلی استفاده کردند. این روش تنها بر پایه یک تصویر از میوه استوار است و از مدل تحلیلی وابسته به شکل استفاده می‌کند. میوه مورد نظر به شکل کروی یا بیضی طبقه‌بندی شده و پس از استخراج مولفه‌هایی از شکل که در تخمین حجم نقش دارند، از فرمول‌های مناسب به منظور برآورد حجم استفاده می‌شود (Iqbal et al., 2011). محققین دیگری از روش‌های پردازش تصویر به منظور تخمین حجم و جرم مرکبات استفاده کردند. آنها از ۲ دوربین که دید عمودی از میوه بدست می‌داد استفاده کردند و الگوریتم مورد نظر را در زبان ویژوال بیسیک طراحی و پیاده سازی کردند. در روش آن‌ها حجم محصول از تقسیم تصویر به تعدادی المان بیضوی کوچک محاسبه می‌گردد. اگر d_{i1} و d_{i2} دو قطر عمود برهم باشند، ارتفاع قطعه مخروط ناقص می‌باشد. سطح جانبی هر بخش A_i با رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$A_i = \pi \times \frac{d_{i1}}{2} \times \frac{d_{i2}}{2} \quad (1)$$

هنگامی که مساحت سطح جانبی بدست آید، حجم هر ناحیه را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$V_i = \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times h \quad (2)$$

که در آن A_i ، A_{i+1} به ترتیب سطوح بالا و پایین هر مخروط ناقص می‌باشد و مقدار h برای تمامی مخروط‌های ناقص یکسان است. دقت در برآورد سطوح جانبی A_i برای هر مخروط ناقص، به کمترین و بیشترین شعاع سطح میوه و تعداد کل تقسیم‌بندی (n) بستگی دارد. حجم کل محصول را می‌توان با جمع کردن حجم هر بخش V_i محاسبه کرد (Omid et al., 2010).

در پژوهشی دیگر، به منظور تعیین حجم و سطح پرتقال از تکنیک‌های پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور از دو دوربین و سیستم روشنایی استفاده کردند. دوربین‌ها به گونه‌ای قرار گرفته بودند که دو دید عمودی از پرتقال بدست دهند. در این روش مساحت کل سطح از جمع مساحت‌های هر بخش بدست می‌آید (Khojastenazhand et al., 2009).

محققین دیگری، به منظور درجه‌بندی میوه‌ها از حجم و رنگ میوه با استفاده از الگوریتم فازی (FRBC) استفاده کردند. آن‌ها سیستم برآورد حجم میوه را با استفاده از روش بازسازی سه بعدی و با استفاده از چند دوربین در پیرامون میوه، ایجاد کردند. سیستم مورد استفاده آنها متشکل از ۴ دوربین Nikon-S3600 در ارتفاع‌های مختلف و یک میز چرخان برای به دست آوردن تصاویر میوه می‌باشد. دقت سیستم درجه بندی به توانایی روش بازسازی سه بعدی در بازسازی میوه‌ها با اشکال مختلف وابسته است. آنها از ۵ نوع میوه شامل: سیب، انبه، پرتقال، انار و توت فرنگی استفاده کردند. به منظور استخراج ویژگی‌های رنگی در نواحی مورد نظر نیز، از فضای رنگی HSV استفاده شده است. دقت تخمین حجم و درجه‌بندی میوه در این روش ۹۸٫۵ به دست آمد (Jadhav et al., 2018).



هدف ما در این تحقیق، برآورد حجم میوه (در اینجا سیب) به صورت سه بعدی با استفاده از مدل Wire-Frame و با کمک تکنیک های پردازش تصویر می باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تصویربرداری

به منظور تعیین حجم و سطح سیب به صورت سه بعدی، در مرحله اول از یک سیب تصاویری گرفته شد. از یک میز چرخان و دوربین Nikon COOLPIX P510 (Nikon Inc, Japan) بدین منظور استفاده شد. سیب در مرکز میز قرار داده شد و دوربین در مکانی مشخص و ثابت نسبت به سیب قرار گرفت. ۱۹ تصویر از گرداگرد سطح محصول در چرخش های ۲۰ درجه ای گرفته شد و سپس تصاویر در نرم افزار Matlab 2018a فراخوانی شد تا بعداز پیش پردازش تصاویر، مرز جسم بدست آید و با کنار هم قرار دادن مرزها مدل سه بعدی جسم 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 (Golzarian et al., 2015)

به منظور استخراج اطلاعات لازم از سیب، باید تصویر رنگی به تصویر باینری تغییر یابد. یکی از چالش هایی که در تبدیل تصویر رنگی به تصویر باینری با آن مواجه هستیم، وجود سایه در تصویر و انعکاس نور محیط بر روی بخشی از پوست سیب بود.

حذف انعکاس از تصاویر به دو روش سخت افزاری و نرم افزاری امکان پذیر است. در روش سخت افزاری از فیلتر پولاریزه استفاده می شود. فیلتر پولاریزه یک نوع فیلتر عکاسی است که جهت تغییر در نور ورودی به دوربین عکاسی و تاثیر بر رنگ مورد استفاده قرار می گیرد. نور خاصیتی به نام پولاریته (قطبیت) دارد که زاویه ی محور موج الکتریکی نور را با محور مبنا مشخص می کند. نور در همه جهات و زوایا حرکت و به سطح اشیا برخورد می کند و سپس در همه ی جهات ممکن، منعکس می شود. اما در سطوح غیر فلزی و مخصوصا آب و شیشه، امواج نوری پس از برخورد با سطح آنها فقط در یک جهت انعکاس پیدا می کنند که اصطلاحا می گویند، امواج پلاریزه یا قطبی شده اند. فیلتر پولاریزر که از دو صفحه ی شیشه ای متحرک تشکیل شده است، مانع و سدی بر سر راه این امواج ایجاد و از ورود آنها به دوربین جلوگیری می کند. در نتیجه می شود با استفاده از فیلتر پولاریزه انعکاس ها را حذف کرد (KhorramiRad., 2009).

در روش نرم افزاری نیز با فرض اینکه بخش های دارای انعکاس تنها نقاط اشباع در تصویر هستند می توان با آستانه گذاری مناسب انعکاس را رفع کرد (Signal Processing, 2018). استفاده از فضای رنگی^۴ HSL و^۵ HSV که سه مولفه ی اشباع،^۶ فام^۷ و روشنایی را در بر می گیرد نیز می تواند برای رفع انعکاس از تصاویر موثر باشد. در این مقاله، به منظور رفع انعکاس از فضای رنگی HSV استفاده شد.

۲-۳- بازسازی سه بعدی مدل Wire-Frame

پس از اجرای عملیات پیش پردازش و حذف انعکاس از سطح در تصاویر سیب، تصاویر باینری سیب تهیه شد. این تصاویر به منظور استخراج مرزها استفاده شد. الگوریتم شکل ۱ به منظور بازسازی مدل Wire-Frame سیب در نرم افزار متلب اجرا گردید.

^۱- Polarizing filter

^۲- Saturation

^۳- Thresholding

^۴- Hue, Saturation, Lightness

^۵- Hue, Saturation, Value

^۶- Saturation

^۷- Hue



یازدهمین کنگره

بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

Fig 1: The reconstruction algorithm of apple wire-frame model.
شکل ۱- الگوریتم بازسازی مدل Wire-Frame سیب.

شکل ۲ مدل Wire-Frame سیب را بعد از اجرای الگوریتم فوق نشان می‌دهد.

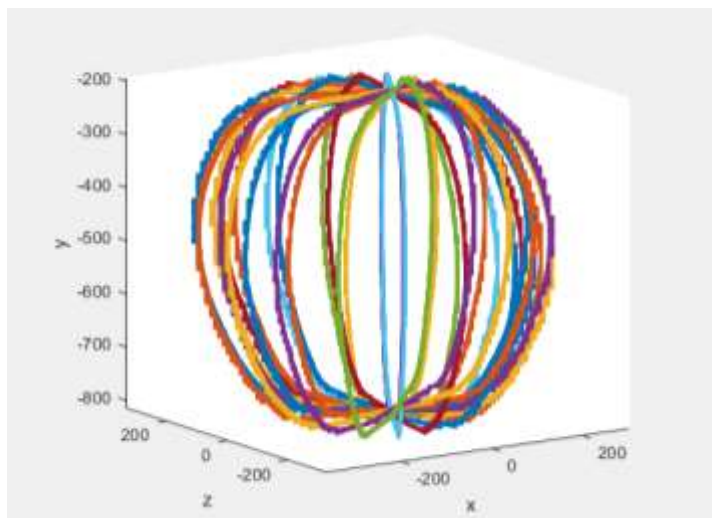


Fig 2. The wire-frame model.
شکل ۲- مدل wire-frame

با توجه به اینکه لبه‌های استخراج شده از تصاویر، نقاط زیادی در برمی‌گیرد برای راحت شدن محاسبات لازم است که در هر ارتفاع مشخص شده، تنها یک داده وجود داشته باشد. همچنین در نظر گرفتن مدل Wire-Frame به صورت صفحات دیسکی شکل (شکل ۳) می‌تواند روابط حاکم به‌منظور برآورد حجم را ساده‌تر کند، علاوه بر این، به‌منظور مقایسه روش موردنظر با روش‌های مورد استفاده در مقالات دیگر با توجه به اینکه اکثر 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.

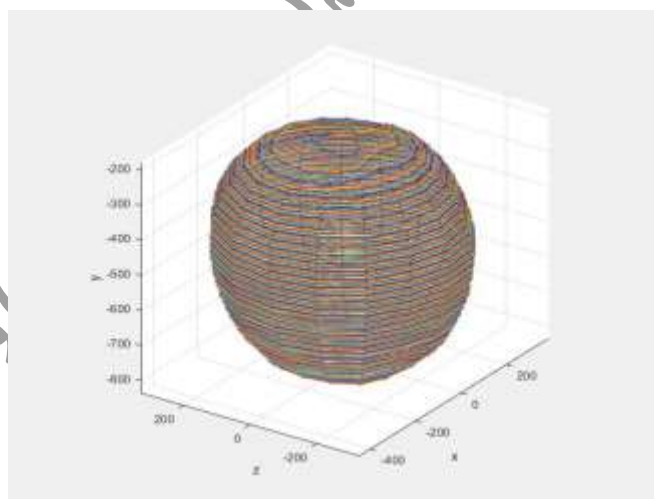


Fig 3: The disk-shaped wire-frame model.
شکل ۳- مدل wire-frame به صورت دیسکی شکل



۲-۴- برآورد حجم واقعی سیب

حجم واقعی میوه‌ها را می‌توان توسط روش جابجایی آب (WDM) اندازه‌گیری کرد که یکی از روش‌های رایج و ساده به‌منظور اندازه‌گیری حجم اشیاء بزرگ از قبیل میوه‌ها و سبزیجات است. نخست میوه را باید با ترازو وزن کرد و سپس در آب به‌طور کامل غوطه‌ور کرد. وزن آب جا به جا شده از تفریق وزن ظرف پر از آب از وزن ظرف وقتی که میوه در آن قرار دارد بدست می‌آید (Omid *et al.*, 2010) و سپس حجم جسم از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Weight of displaced water (kg)}}{\text{Water density (}\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\text{)}} \quad (3)$$

سیب با ترازوی دیجیتال AND مدل GF-6100 ساخت ژاپن با دقت ۰,۰۱ گرم، واقع در آزمایشگاه بیوگاز گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد، وزن گردید. جرم سیب ۱۱۲,۳۶ گرم بدست آمد. در ظرف مدرجی ۵۰۰ سی سی آب مقطر ریخته شد و روی ترازو قرار گرفت و جرم آن به عنوان m_1 ثبت شد. سیب به کمک تکه سیمی درون آب به‌طور کامل غوطه‌ور شد و جرم مشاهده شده در این حالت به صورت m_2 ثبت گردید. وزن آب جابه‌جا شده از تفریق وزن آب هنگامی که سیب به‌طور کامل در آن غوطه‌ور شده و وزن ظرف حاوی آب مقطر بدست می‌آید.

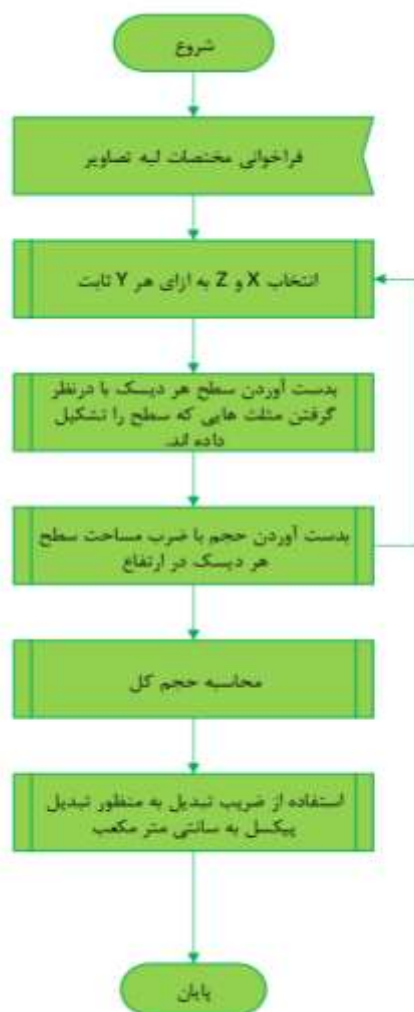
$$m_1 = 606.10 \text{ (g)}$$

$$m_2 = 740.22 \text{ (g)}$$

$$\text{Water density} = 0.998 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \frac{740.22 - 606.10}{0.998} = 134.389 \text{ (cm}^3\text{)}$$

الگوریتم محاسبه حجم سیب به صورت سه‌بعدی نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی

Fig 4: The 3D volume calculation algorithm of apple
شکل ۴- الگوریتم محاسبه حجم سیب به صورت سه بعدی

۲-۵- محاسبه حجم به صورت سه بعدی

با توجه به شکل ۵ و به دست آوردن مساحت کل شکل از جمع مثلث های تشکیل دهنده و سپس ضرب آن در ΔZ که نشان دهنده فاصله دو wire متوالی است، حجم کل V_{WF} شکل به دست خواهد آمد.

$$V_i = S_i \times \Delta Z \quad \rightarrow \quad V_{WF} = \sum_{i=1}^n V_i$$

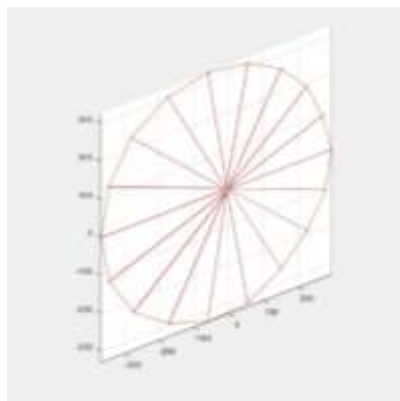


Fig 5: Representation of the triangles constituting the surface of each wire
شکل ۵- نمایش مثلث‌های تشکیل دهنده سطح هر wire

۳- نتایج و بحث

بعد از به دست آمدن حجم و سطح سیب به صورت سه بعدی با استفاده از روابطی که پیش تر توضیح داده شد، از روش ذکر شده در یک مقاله نیز استفاده شد. این روش با در نظر گرفتن شکل میوه به صورت دایره و برقراری روابط حاکم بر شکل استوار است. با توجه به اینکه در اکثر تحقیقات برای محاسبه حجم و سطح محصولات کروی از یک شکل مشخص مانند بیضی یا دایره استفاده می‌شود، ما نیز در این تحقیق به منظور محاسبه حجم از رابطه (۴) مساحت n ضلعی منتظم محاط در دایره به شعاع r استفاده کردیم:

$$S_R = \frac{n}{2} r^2 \sin \frac{360}{n} \quad (۴)$$

در این رابطه r شعاع دایره محیطی و n عبارت است از: n ضلعی محاط در داخل دایره به شعاع r . بنابراین حجم کل V_R از جمع حاصل ضرب مساحت در فاصله دو wire متوالی بدست می‌آید.

در جدول ۱ حجم سیب آورده شده است. در این جدول عنوان V_{WDM} مربوط به حجم واقعی که از روش جایجایی آب به دست آمده است، V_{WF} مربوط به رابطه‌ی استفاده شده در این تحقیق، V_R مربوط به رابطه ۴، n ضلعی منتظم محاط در یک دایره و V_{IP} مربوط به رابطه (۱ و ۲) از مقاله‌ی (Omid et al., 2010) می‌باشند.

Table 1: Apple volume comparison

جدول ۱: مقایسه حجم سیب

AZ (cm)	Volume (cm ³)						
	V _{WDM}	V _{WF}	Error % (1)	V _{IP}	Error % (2)	V _R	Error % (3)
0.01	134.389	133.901	0.36	134.991	0.45	137.194	2.09
0.02	134.389	134.023	0.27	135.007	0.46	137.205	2.10
0.03	134.389	134.076	0.23	134.961	0.43	137.156	2.06
0.04	134.389	134.242	0.11	134.997	0.45	137.224	2.11
0.05	134.389	134.923	0.40	135.529	0.85	137.860	2.58
0.06	134.389	134.540	0.11	135.109	0.54	137.405	2.24
0.07	134.389	135.189	0.60	135.621	0.92	137.852	2.58
0.08	134.389	135.288	0.67	135.603	0.90	137.918	2.63
0.09	134.389	134.613	0.17	134.825	0.32	137.323	2.18
0.10	134.389	135.465	0.80	135.506	0.83	137.858	2.58
0.15	134.389	135.462	0.80	134.974	0.44	137.440	2.27
0.20	134.389	136.523	1.59	135.348	0.71	137.889	2.60
0.25	134.389	135.956	1.17	134.134	0.19	136.416	1.51
0.30	134.389	135.494	0.82	132.986	1.04	135.053	0.49



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



با توجه به جدول ۱ میزان خطا در روش پیشنهادی V_{WF} کمتر از دو روش دیگر می باشد، به طوری که کمترین خطا نسبت به مقدار واقعی در $\Delta Z=0.04$ و $\Delta Z=0.06$ سانتی متر به میزان ۰.۱۱ درصد، دیده می شود. مقدار خطا در روش V_R که از مساحت n ضلعی منتظم محاط در دایره بدست آمده است به مراتب از دو روش دیگر بیشتر است. این افزایش خطا می تواند به علت دایره ای فرض شدن هر $wire$ باشد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج جدول ۱ می توان نتیجه گرفت که بهترین دقت و کمترین خطا در $\Delta Z < 10$ اتفاق می افتد و با افزایش ΔZ خطا نیز افزایش می یابد اما مقدار خطا برای روش پیشنهادی در این مقاله، از مقدار خطا در سایر روش های ذکر شده کمتر است. همچنین به دلیل اینکه روش ذکر شده در این مقاله، برخلاف سایر روش ها، شکل مشخصی مانند دایره، بیضی و ... را برای میوه در نظر نگرفته است، بنابراین برای میوه هایی با شکل نامنظم نیز می تواند دقت بالایی بدست دهد.

شیوه تصویربرداری در این تحقیق، و بازسازی میوه مورد نظر به صورت سه بعدی از روی تصاویر تهیه شده در چندین زاویه مختلف دور جسم یکی از علل کمتر بودن خطا نسبت به روش های ذکر شده که تنها از دو جهت تصویربرداری داشته اند، می باشد.

۵- مراجع

- Golzarian, M. R., Kazemi, F., Hajiabohasani, Z., (2015). Digital Image processing from principles to Implementation using MATLAB. Ferdowsi University of Mashhad (Persian).
- Iqbal, S. M., Gopal, A., & Sarma, A. S. V. (2011, November). Volume estimation of apple fruits using image processing. In *Image Information Processing (ICIIP), 2011 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Jadhav, T., Singh, K. & Abhyankar. (2018). Volumetric estimation using 3D reconstruction method for grading of fruits. *Multimedia Tools and Applications*. 10.1007/s11042-018-6271-3.
- Jafarloo, M., Teimourlou, R. F. (2014). Estimation of apple volume and indentations, using image processing and neural network. *Journal of Agriculture Mechinery*. 4(1), 57-64 (Persian).
- Khojastehnazhand, M., Omid, M., & Tabatabaeefar, A. (2009). Determination of orange volume and surface area using image processing technique. *International Agrophysics*, 23(3), 237-242.
- Koc, A. B. (2007). Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 366-371.
- Khorrami Rad, N. (2009). Guide to digital photography. Kanoon Nashr Oloom . Tehran (Persian).
- Leemans, V., & Destain, M. F. (2004). A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 83-89.
- Moreda, G. P., Ortiz-Cañavate, J., García-Ramos, F. J., & Ruiz-Altisent, M. (2009). Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination—a review. *Journal of Food Engineering*, 92(2), 119-136.
- Omid, M., Khojastehnazhand, M., & Tabatabaeefar, A. (2010). Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of food Engineering*, 100(2), 315-321.
- Signal Processing (2018), Available at < <https://dsp.stackexchange.com/questions/1215/how-to-remove-the-glare-and-brightness-in-an-image-image-preprocessing> >, Accessed on 2018/5/22.
- Uluşik, S., Yıldız, F., & Özdemir, A. T. (2018). Image processing based machine vision system for tomato volume estimation. In *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)* (pp. 1-4). IEEE.
- Wikipedia (2018), Available at < https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation_matrix >, Accessed on 2018/5/20.
- Yamamoto, S., Karkee, M., Kobayashi, Y., Nakayama, N., Tsubota, S., Thanh, L. N. T., & Konya, T. (2018). 3D reconstruction of apple fruits using consumer-grade RGB-depth sensor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*.