



## تعیین خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی توت فرنگی در ارتباط با برداشت رباتیک

رضا طباطبائی کلور<sup>۱\*</sup>، زهرا نورقندی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، r.tabatabaei@sanru.ac.ir  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

### چکیده

به منظور طراحی و ساخت مکانیزم‌های میوه گیر در ربات‌های برداشت و نیز سیستم های پس از برداشت، داشتن اطلاعات جامع در مورد خصوصیات بیوفیزیکی و مکانیکی محصول ضروری می باشد. در این راستا، برخی از این خواص از جمله ابعاد هندسی، جرم، حجم، چگالی، ضریب کرویت، ضریب اصطکاک روی سطح لاستیکی، ضریب مقاومت غلتشی، نیروی کندن میوه از دمبرگ، میوه از ساقه و نیروی گسیختگی فشاری توت فرنگی اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که مقادیر میانگین طول،  $40/3 \text{ mm}$ ؛ قطر بزرگ،  $28 \text{ mm}$ ؛ قطر کوچک،  $24 \text{ mm}$ ؛ میانگین قطر هندسی،  $30/5 \text{ mm}$ ؛ جرم،  $14/4 \text{ g}$ ؛ حجم،  $22/3 \text{ ml}$ ؛ چگالی،  $0/67 \text{ g ml}^{-1}$ ؛ و ضریب کرویت،  $71/7\%$  بدست آمد. همچنین، مقادیر میانگین ضریب اصطکاک،  $0/51$ ؛ ضریب مقاومت غلتشی،  $0/48$ ؛ نیروی بین دمبرگ و میوه،  $4/8 \text{ N}$ ؛ نیروی بین دمبرگ و ساقه،  $3/2 \text{ N}$  و نیروی گسیختگی فشاری توت فرنگی،  $5/3 \text{ N}$  بدست آمد. نیروی عمودی وارد بر سطح توت فرنگی برای نگهداری بین انگشتی های دهانه میوه گیر ربات  $0/43 \text{ N}$  محاسبه گردید. با استفاده از داده های بدست آمده می توان مشخصات هندسی و محدوده عمل مکانیزم میوه گیر و انگشتی ربات برداشت توت فرنگی را تعیین کرد. بعلاوه، این داده ها جهت به حداقل رساندن صدمات وارده به میوه و تعامل موثر مکانیزم انگشتی ربات و میوه در طراحی یک بازوی رباتیک قابل استفاده می باشند

**واژه‌های کلیدی:** خواص بیوفیزیکی، خواص مکانیکی، ربات برداشت توت فرنگی

### مقدمه

سطح زیر کشت توت فرنگی در ایران حدود ۲۲۶۰ هکتار و تولید سالیانه آن ۲۹۵۶۶ تن می باشد که بطور کامل با دست برداشت می شود (Jihad-e-Agriculture Ministry, 2011). میوه توت فرنگی دارای سطح بسیار نرم و لطیفی است که هنگام برداشت بایستی به دقت توسط دست کارگر چیده شود تا صدمه نبیند. بعلاوه، توت فرنگی در چند مرحله برداشت می شود (Kepner *et al.*, 2005).

کل زمان مورد نیاز برای برداشت توت فرنگی در ژاين حدود ۲۰۰۰۰ ساعت در هکتار می باشد (Hayashi *et al.*, 2010). با توجه به هزینه زیاد کارگری و زمان بر بودن، برداشت مکانیکی بسیار ضروری می باشد. از طرف دیگر، بدلیل صدمه وارده به میوه، کاهش عملکرد محصول و غیر یکنواختی در رسیدگی محصول، برداشت مکانیکی را با چالش جدی مواجه کرده است و موجب عدم



موفقیت سیستم های مکانیکی شده است (Hancock, 2005; Tanigaki *et al.*, 2011). تحقیقات مربوط به خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی از چندین دهه قبل آغاز شده است و منجر به بهبود طراحی ماشینهای برداشت و پس از برداشت شده است.

سیستمی که بتواند جایگزین مناسبی برای برداشت توسط کارگر باشد (با قابلیت انتخاب) معمولاً نیاز به فن آوری بالا دارد که رباتها از جمله آنها می باشند. مطالعات پایه ای در زمینه برداشت میوه ها توسط ربات از سال ۱۹۶۸ آغاز شده و تا به امروز ادامه پیدا کرده است (Harker *et al.*, 2000). طراحی ربات برداشت محصولات گلخانه ای توسط محققان مختلف گزارش شده، از جمله برای خیار (Van henten *et al.*, 2006)، گوجه فرنگی (Kondo *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008)، توت فرنگی (Kondo and Monta, 1999; Hayashi *et al.*, 2011) و گیلان (Tanigaki *et al.*, 2011). چالش اصلی استفاده از رباتهای میوه چین، طراحی واحد میوه گیر (انگشتی) می باشد. برای طراحی واحد میوه چین ربات، سیستمهای انتقال، درجه بندی، بسته بندی و فراوری محصول داشتن اطلاعات دقیق در ارتباط با خواص بیوفیزیکی و مکانیکی محصول ضروری است. در یک تحقیق خواص فیزیکی و مکانیکی گوجه فرنگی اندازه گیری شد و در طراحی ربات برداشت گوجه فرنگی مورد استفاده قرار گرفت (Li *et al.*, 2011). روشهای اندازه گیری خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی توسط محسنین (Mohsenin, 1987) و سیتیکی (Sitkei, 1975) بطور کامل گزارش شده است. هدف این تحقیق، تعیین خواص بیوفیزیکی و مکانیکی موثر در طراحی و ساخت یا بهینه سازی واحد میوه چین ربات برداشت توت فرنگی می باشد.

## مواد و روشها

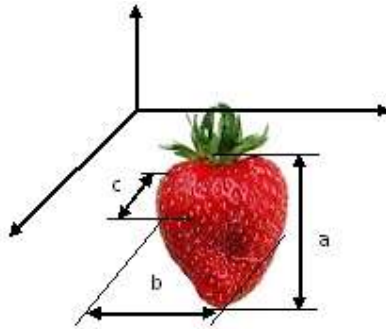
این تحقیق بر روی توت فرنگی تازه رقم آلیسو<sup>۱</sup> که از مزارع و گلخانه های شهرستان ساری تهیه شده بود انجام گرفت. میوه ها پس از چیدن به آزمایشگاه صنایع پس از برداشت دانشگاه علوم کشاورزی ساری منتقل گردید و آزمایشها طی ۲۴ ساعت در دمای محیط C° ۲۱-۲۳ و رطوبت محیطی ۵۶-۶۳٪ انجام گرفت. اندازه گیریهای مربوط به خواص فیزیکی (غیر مخرب) بر روی ۲۰ نمونه و در سه تکرار انجام گرفت. هر یک از آزمایشهای مکانیکی مخرب بر روی ۵ نمونه و در سه تکرار انجام گرفت. پس از تفکیک و دسته بندی توت فرنگی ها هر یک از پارامترها به شرح ذیل تعیین شد:

الف) جرم هر میوه توسط یک ترازوی الکترونیکی با دقت ۰/۰۱ گرم ثبت شد. سپس، از یک کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ برای تعیین ابعاد طولی (a، طول؛ b، قطر بزرگ و c، قطر کوچک) مطابق شکل ۱ استفاده شد. میانگین قطر هندسی (D) و ضریب کرویت (S) با استفاده از روابط ذیل محاسبه گردید (Goyal *et al.*, 2007; Kababa, 2006).



$$D = \sqrt[3]{abc} \quad (۱)$$

$$S = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \quad (۲)$$



شکل ۱- ابعاد اصلی توت فرنگی

ب) برای تعیین حجم هر توت فرنگی، از یک بشر با حجم مشخصی آب استفاده شد. پس از قرار دادن یک عدد میوه درون بشر، حجم را مجدداً اندازه گیری کرده و اختلاف حجم به عنوان معیار حجم توت فرنگی در نظر گرفته شد. با تقسیم جرم هر میوه بر حجم بدست آمده چگالی هر میوه نیز بدست آمد (Owolarafe *et al.*, 2007; Mpotokwane *et al.*, 2008). ضریب اصطکاک توت فرنگی بر روی سطح لاستیکی مطابق شکل ۲ اندازه گیری شد. ابتدا سطح مورد نظر داخل قاب (۲۰۰×۱۰۰ میلی متر) بر روی پایه قرار گرفت و سپس میوه توسط نخ به یک نیروسنج دیجیتالی با ظرفیت ۵۰ نیوتن و دقت ۰/۰۱ نیوتن (مدل FG-5000A، ساخت شرکت لوترون، تایوان) متصل شد. سپس میوه در جهت افقی با سرعت آرام ۱/۵ میلی متر بر ثانیه کشیده شد. ضریب اصطکاک استاتیکی با استفاده از رابطه ذیل محاسبه گردید.

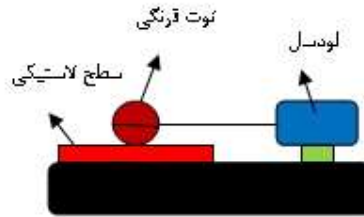
$$\mu = \frac{F}{N} \quad (۳)$$

که در آن  $\mu$  ضریب اصطکاک استاتیکی،  $F$  نیروی اصطکاک ماکزیمم و  $N$  نیروی عمودی وارد بر سطح (وزن میوه) می باشند. ت) ضریب مقاومت غلتشی با استفاده از یک صفحه شیب دار مدرج و قابل تغییر اندازه گیری شد (شکل ۳). سطح به تدریج بالا برده می شود تا جاییکه میوه بغلتد. تانژانت زاویه بدست آمده بیانگر ضریب مقاومت غلتشی می باشد (Kabas and Ozmeri, 2008).

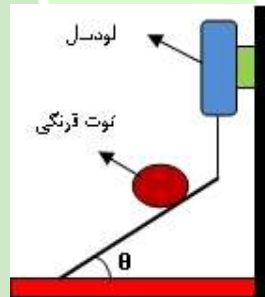
ث) نیروی کندن توت فرنگی از بوته (میوه از دمبرگ و دمبرگ از ساقه) به کمک یک گیره لاستیکی با سطح اسفنجی و توسط لودسل مذکور در بند پ اندازه گیری شد.



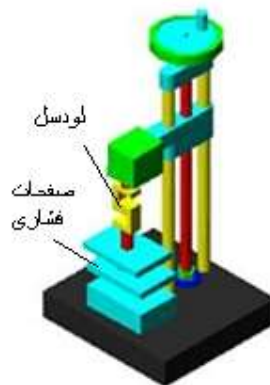
ج) برای تعیین نیروی گسیختگی فشاری از یک صفحه متصل به لودسل استفاده شد (مدل FS-1001، ساخت تایوان) (شکل ۴). صفحه با سرعت یکنواخت  $1/5 \text{ mm.s}^{-1}$  روی سطح میوه فشرده شد تا به مرحله گسیختگی برسد و حداکثر نیروی وارده بر حسب نیوتن ثبت گردید (Li et al., 2009; Li et al., 2010).



شکل ۲. سیستم اندازه گیری ضریب اصطکاک



شکل ۳. سیستم اندازه گیری ضریب مقاومت غلتشی



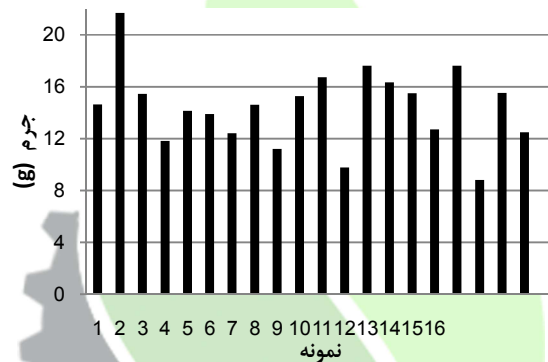
شکل ۴. سیستم اندازه گیری نیروی فشار گسیختگی



## نتایج و بحث

### خواص بیوفیزیکی

مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر مربوط به خواص بیوفیزیکی توت فرنگی در جدول ۱ آورده شده است. در طراحی واحد میوه گیر بایستی میزان باز و بسته شدن دهانه مشخص باشد لذا دانستن ابعاد، شکل ظاهری و حجم مهم است. هنگام گرفتن میوه توسط ربات ممکن است میوه‌ها در وضعیت‌های مختلفی قرار گرفته باشند، بطوریکه در راستای هر یک از قطرهای طول گرفته شوند. از این رو، کمترین مقدار قطر کوچک (۱۹ mm) و بیشترین مقدار طول (۵۰ mm) به عنوان مقادیر حداقل و حداکثر باز شدن دهانه میوه گیر ربات همراه با ضریب اطمینان مطلوب در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۵. تغییرات جرم ۲۰ نمونه توت فرنگی

شکل ۵ توزیع جرم ۲۰ نمونه را نشان می‌دهد. میانگین جرم نمونه‌ها ۱۴/۴ گرم بدست آمد. مطابق شکل ۶ مقدار جرم در محاسبه نیروهای وارد بر توت فرنگی از طرف انگشتی میوه گیر موثر است. بعلاوه، در برخی از مکانیزمهایی که با روش مکش عمل می‌کنند میزان مکش لازم برای نگهداری میوه بستگی به جرم آن دارد. تغییرات جرم مطابق جدول ۱ در محدوده ۸ الی ۲۲ گرم می‌باشد. در محاسبات مربوط به نیروهای وارد بر میوه، برای اطمینان مقدار حداکثر جرم ۴۵ گرم فرض شد.



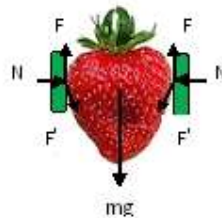
جدول ۱. خواص بیوفیزیکی توت فرنگی.

خاصیت	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات
طول (mm)	۱۰/۲۱۵	۵۰		۴۰/۳
قطر بزرگ (mm)	۱۰/۱۰۱	۳۳		۲۸
قطر کوچک (mm)	۱۰/۷۴۷	۳۰		۲۴/۰۵
میانگین قطر هندسی (mm)	۳۰/۴۸	۲۴/۷	۳۶/۷	۸/۰۹۲
جرم (g)	۱۴/۴	۸/۸۱	۲۱/۷	۱۸/۵۸۴
حجم (ml)	۲۲/۲۵	۱۰	۳۵	۲۸/۶۸
چگالی ( $g \cdot ml^{-1}$ )	۰/۶۷	۰/۵	۰/۹۷	۱۷/۴۴
کرویت (%)	۷۱/۷	۶۱	۷۷	۶/۲۰۶

### خواص بیومکانیکی

برخی از خواص بیومکانیکی مورد نیاز در طراحی ربات برداشت در جدول ۲ آورده شده است. هنگام کندن توت فرنگی از آنجا که مکانیزم عمل واحد میوه گیر ربات ممکن است بر اساس کشش، پیچش و مکش میوه را از دمبرگ و یا ساقه جدا کند لذا مقادیر مختلف این خواص اندازه گیری شده است.

شکل ۶ نیروهای وارده بین توت فرنگی و انگشتی های دهانه میوه گیر ربات را نشان می دهد. در این شکل  $N$ ، نیروی فشاری عمودی وارد بر میوه؛  $F$ ، نیروی اصطکاک بین میوه و سطح انگشتی؛  $2F'$  نیروی کششی وارد بر میوه از طرف بازوی ربات و  $mg$  وزن میوه می باشد.



شکل ۶. نیروهای وارده بر توت فرنگی در قسمت میوه گیر ربات

برای اینکه میوه در امتداد عمودی و افقی بین انگشتی ها نلغزد و یا له نشود بایستی نیروهای وارده به دقت محاسبه شوند.

الف) نیروی لازم برای غلبه بر وزن میوه  $2F$  می باشد. با توجه به شکل ۲ داریم:

$$2F=mg$$

(۴)



$$F = \mu N \quad (5)$$

که در این رابطه،  $\mu$  ضریب اصطکاک،  $m$  جرم توت فرنگی،  $g$  شتاب گرانش،  $N$  نیروی عمودی سطح و  $F$  نیروی اصطکاک است. با جایگذاری رابطه (۵) در رابطه (۴) و مقدار  $\mu = 0/51$  از جدول ۲ و با فرض حداکثر جرم میوه  $g = 45$ ، مقدار نیروی عمودی  $N = 0/43$  بدست آمد. بنابراین، نیروی عمودی لازم برای نگهداری توت فرنگی در بین انگشتان بازوی ربات کمتر از  $0/5 N$  است و این مقدار بسیار کمتر از حداقل نیروی گسیختگی فشاری بر اساس جدول ۲ ( $3/4 N$ ) است. از این رو انگشتی ربات هیچ آسیبی به میوه وارد نمی‌کند. نیروی لازم برای گرفتن گوجه فرنگی توسط انگشتی ربات  $1/45 N$  گزارش شد (Chen et al., 2006).

ب) مطابق داده های جدول ۲ نیروی لازم برای کندن میوه از دمبرگ کمتر از نیروی لازم برای جدا کردن دمبرگ از ساقه است، این بدان معناست که در صورت چیدن به روش کششی عمدتاً میوه ها از دمبرگ جدا می شوند.

مقادیر مربوط به نیروی کندن میوه از ساقه برای طراحی مکانیزمهایی بکار می رود که بر اساس کشیدن میوه و جدا کردن آن از بوته عمل می کنند. این فرایند بسیار شبیه چیدن میوه توسط دست انسان می باشد. بنابراین مقدار نیروی لازم برای جدا کردن میوه توسط بازوی ربات بر این اساس بدست می آید. هنگام چیدن میوه نیروی کششی که باید توسط بازو بر میوه وارد شود برابر با  $2F'$  می باشد. مطابق جدول ۲ حداکثر نیروی کندن میوه از دمبرگ  $6/1$  نیوتن و حداکثر نیروی کندن دمبرگ از ساقه  $4/4$  نیوتن بدست آمد. بنابراین با کشیدن میوه، جدا شدن میوه از محل اتصال دمبرگ به ساقه صورت می گیرد. با توجه به اینکه نیروی  $N$   $2F' = 6/1$  است لذا مقدار  $F' = 3/05 N$  بوده و میوه نباید در اثر کشیده شدن از سطح انگشتی بلغزد. لذا ضریب اصطکاک مناسب ( $\mu'$ ) برای اینکه میوه در امتداد نیروی  $F'$  نلغزد با محاسبه نیروی عمودی از طرف انگشتی بدست می آید. این نیرو مانع از لغزیدن میوه از دهانه میوه گیر می شود و در انتخاب جنس سطح بالشتکی انگشتی که در تماس با میوه است حائز اهمیت است.

جدول ۲. خواص بیومکانیکی توت فرنگی

خاصیت	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات
نیروی بین دمبرگ و میوه (N)	4/8	2/6	6/1	3/15
نیروی بین دمبرگ و ساقه (N)	3/2	1/9	4/4	4/21
نیروی گسیختگی فشاری (N)	5/3	3/4	8/6	5/6
ضریب اصطکاک سطح	0/51	0/43	0/58	5/5
ضریب مقاومت غلتشی	0/48	0/39	0/56	4/14



با توجه به رابطه زیر مقدار ضریب اصطکاک در راستای نیروی  $F'$  بدست می آید:

$$F' = \mu' N \quad (۶)$$

با جایگذاری مقدار  $F' = ۳/۰۵ N$  و  $N = ۰/۴۳ N$  مقدار  $\mu' = ۷/۰۹$  بدست آمد. لذا پوشش سطح انگشتی باید طوری انتخاب

شود که ضمن صدمه نزدن بر میوه، اصطکاک بیشتری در راستای کشیدن میوه ایجاد کند.

ج) همانطوری که از جدول ۲ پیداست حداقل و میانگین نیروی لازم برای گسیختگی فشاری توت فرنگی به ترتیب  $۳/۴ N$  و  $۵/۳ N$  است. این مقادیر بسیار بیشتر از نیروی عمودی محاسبه شده از رابطه (۵) یعنی  $۰/۴۳ N$  می باشند. بنابراین هیچ آسیبی در اثر فشار انگشتی به توت فرنگی وارد نمی شود. با مشخص شدن نیروی عمودی وارد از طرف انگشتی، می توان گشتاور لازم برای نگهداری توت فرنگی توسط دهانه میوه گیر را بدست آورد. برخی از رباتها بطور همزمان با پیچش و کشش میوه را از ساقه جدا می کنند. بنابراین محاسبه گشتاور پیچشی به نیروی  $F$  و طول بازوی اعمال نیرو بستگی دارد و بر این اساس گشتاور تولیدی توسط موتور بدست می آید. مکانیزم پیشنهادی برای گرفتن میوه توت فرنگی که بتواند نیروهای کششی و پیچشی را همزمان اعمال کند در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷. مکانیزم پیشنهادی میوه گیر ربات

### نتیجه گیری

در این تحقیق، خصوصیات بیو فیزیکی و مکانیکی میوه توت فرنگی که در طراحی سیستمهای برداشت رباتیک مورد نیاز می باشند تعیین شده است. نتایج حاصل به طور خلاصه در ذیل آورده شده است:

الف) مقادیر مربوط به طول در محدوده  $۳۷-۵۰ mm$ ، قطر بزرگ  $۲۵-۳۳ mm$ ، قطر کوچک،  $۱۹-۳۰ mm$ ، میانگین قطر هندسی،  $۲۴/۷-۳۶/۷ mm$ ، جرم،  $۸/۸۱-۲۱/۷ g$  و حجم،  $۱۰-۳۵ ml$  با ضریب کرویت  $\% ۶۱-۷۷$  بدست آمد. این خصوصیات در طراحی ابعاد فیزیکی مکانیزم میوه گیر کاربرد دارد.

ب) مقادیر مربوط به نیروی بین دمبرگ و میوه،  $۲/۶-۶/۱ N$ ، نیروی بین دمبرگ و ساقه،  $۱/۹-۴/۴ N$ ، نیروی گسیختگی فشاری،  $۳/۴-۸/۶ N$ ، ضریب اصطکاک سطح لاستیکی،  $۰/۴۳-۰/۵۸$  و ضریب مقاومت غلثشی  $۰/۳۹-۰/۵۶$  بدست آمد. بعلاوه، نیروی لازم برای نگهداشتن میوه بین انگشتی ها  $۰/۴۳ N$  محاسبه گردید که بسیار کمتر از نیروی گسیختگی فشاری آن می باشد. این خصوصیات در طراحی میزان نیروی وارد بر میوه از طرف انگشتی میوه گیر بدون وارد کردن صدمه به میوه و نیز برای انتخاب جنس بالشتک مناسب برای عدم لغزیدن میوه از انگشتی بکار می رود.



## منابع

- 1- Chen, P., Y. Hasegawaa, and M. Yamashita. 2006. Grasping control of robot hand using fuzzy neural network. *Lecture Notes in Computer Science* 27: 1178-1187.
- 2- Goyal, R.K., A.R.P Kingsly, P. Kumar, and H. Walia. 2007. Physical and mechanical properties of anola fruits. *Journal of Food Engineering* 82:595-599.
- 3- Hancock, J. 2005. Cultural systems, strawberries. CABI Publishing, NY, USA, pp. 111-130.
- 4- Harker, E. R., H. J. Elgar, C.B. Watkins, P. J. Jackson, and I.C. Hallett. 2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biology and Technology* 19:139-146.
- 5- Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, and M. Kurit. 2010. Evaluation of a strawberry harvesting robot in a field test. *Biosystems Engineering* 105: 160-171.
- 6- Jihad-e-Agriculture ministry. 2011. Statistic and Technology Office. Agronomy information bank. First edition: Agronomical and horticultural crops. Available from: <http://dbagri.agri-jihad.org/zrtbank>.
- 7- Kabas, O., and A. Ozmerzi. 2008. Determining the mechanical properties of cherry tomato varieties for handling, *Journal of Texture Studies* 39:199-209.
- 8- Karbaba, E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering* 72: 100-107.
- 9- Kepner, R.A., R. Bainer, and E. Barger. 2005. *Principal of Farm Machinery*. CBS Publisher & Distributer, India.
- 10- Kondo, N., and M. Monta. 1999. Strawberry harvesting robot. An ASAE Meeting Presentation, Ontario, Canada, pp. 1-12.
- 11- Kondo, N., K. Yamamoto, and K. Yata. 2007. A machine vision for tomato cluster harvesting robot, In: *Proceeding of ASABE Annual Meeting, USA*, pp. 215-221.
- 12- Li, Z., J. Liu, and P.P. Li. 2008. Analysis of workspace and kinematics for a tomato harvesting robot, In: *Proceeding of International Conference on Intelligent Computation Technology and Autumation, Changshu, China*. pp. 75-82.
- 13- Li, Z., J. Liu, and P.P. Li. 2009. Study on the collision mechanical properties of tomato gripped by harvesting robot. *African Journal of Biotechnology* 8:7000-7007.
- 14- Li, Z., J. Liu, and P.P. Li. 2010. Relationship between mechanical properties and damage of tomato during robot harvesting. *Transactions of the CSAE* 26: 112-116.
- 15- Li, Z., P. Li, and J. Liu. 2011. Physical and mechanical properties of tomato as related to robot harvesting, *Journal of Food Engineering* 103:170-178.
- 16- Mohsenin, N.N. 1978. *Physical properties of plant and animals*. Gordon and Breach Science Publishers, USA, pp. 20-89.
- 17- Mpotokwane, S.M., E. Gatditlhatlhelwe, A. Sebaka, and V. Jideani. 2008. Physical properties of bambara groundnuts. *Journal of Food Engineering* 89: 93-98.
- 18- Owolarafe, O.K., M.T., Olabige, and M.O. Faborode. 2007. Physical and mechanical properties of two varieties of fresh oil palm fruit. *Journal of Food Engineering* 78: 1228-1232.
- 19- Sitkei, G. 1975. *Mechanics of Agricultural Materials*. Elsevier Publisher, pp. 25-30.
- 20- Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and J. Imagawa. 2011. Cherry harvesting tomato, *Computers and Electronic in Agriculture*. 63: 65-72.
- 21- Van Henten, E. J., B.A. Van Tuijl, J. Hemming, J.G. Kornet, and J. Bontsema. 2006. Field test of an autonomous cucumber picking robot. *Biosystems Engineering* 86: 305-313.



## Determination of strawberry bio-physical and mechanical properties as related to robotic harvesting

Reza Tabatabaekoloor<sup>1\*</sup> Zahra Noorghadami<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Sari Agricultural University  
r.tabatabaei@sanru.ac.ir

2- MSc Student, Department of Mechanization, Shahid Chamran University of Ahvaz

### Abstract

In order to design and construction of end-effector mechanisms for robot's harvesting and postharvest systems it is essential to have comprehensive information about physical and mechanical properties of products. In this study, some physical and mechanical properties such as; geometric dimensions, mass, volume, bulk density, sphericity, coefficient of friction on rubber surface, coefficient of rolling resistance, detachment force of fruit from peduncle and stem and pressure rupture force were determined. Results indicated that mean value were obtained as; length, 40.3 mm, large diameter, 28 mm, small diameter, 24 mm, average geometric diameter, 30.5 mm, mass, 14.4 g, volume, 22.3 ml, bulk density,  $0.67 \text{ g.ml}^{-1}$  and sphericity, 71.7%. Also, mean value of mechanical properties were obtained as; coefficient of friction, 0.51, coefficient of rolling resistance, 0.48, detachment force between peduncle and fruit, 4.8 N, detachment force between peduncle and stem, 3.2 N, and pressure rupture force, 5.3 N. The force perpendicular on the fruit surface for holding the strawberry between fingers of end-effector was calculated, 0.43 N. The obtained data can be used to determine the geometrical specification and the operational range of end-effector of harvesting robots. Also, the data can help to minimize the damage to fruits by end-effector and effective interaction between end-effector and fruit for designing a robotic arm.

**Keywords:** Energy efficiency, Greenhouse gas and Canola.