

تعیین عوامل موثر در طراحی گریپر با استفاده از سامانه بینایی کامپیوتر و آزمون های مکانیکی

علی مقیمی^۱، محمد حسین آق خانی، محمود رضا گلزاریان

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

ali.moghimi@stu.um.ac.ir

چکیده

یکی از محدودیت های مهم در بکارگیری روبات های برداشت، صدمات مکانیکی احتمالی ناشی از فشار فک های گریپر به محصولات حساس و ظریف کشاورزی می باشد که در کنار دیگر مسائل مانند قیمت بالا و ساختار پیچیده روبات ها لزوم اهتمام به مطالعه بیشتر در این زمینه را محرز می نماید. گریپر به عنوان یکی از اجزاء کلیدی روبات نقش مهمی در میزان موفقیت روبات ها به عهده دارد. از طرفی طراحی مناسب فک های گریپر به تعیین خصوصیات هندسی و مکانیکی محصول بستگی دارد. هدف از انجام این پژوهش تعیین پارامترهای اولیه مورد نیاز برای طراحی گریپر روبات و همچنین بررسی امکان تخمین عوامل تعیین کننده در کنترل گریپر روبات در هنگام برداشت محصول فلفل دلمه می باشد. برای این منظور جرم، ابعاد و ضریب اصطکاک فلفل دلمه با آلومنیوم، تفلون و لاستیک تعیین شد. همچنین آزمایشات مکانیکی بر روی نمونه انجام گردید تا میزان نیروی اعمالی مجازی تعیین شود که از طرف فک هامی تواند در هنگام برداشت به فلفل دلمه وارد شود بدون اینکه به محصول آسیب مکانیکی وارد گردد. با انجام این آزمایشات مشخص گردید که میانگین نیرویی فشاری که باعث رسیدن فلفل دلمه به نقطه تسلیم بیولوژیکی می شود برابر با ۷۷/۱۱ نیوتن می باشد. در نهایت با استفاده از روش غیر تماسی پردازش تصویر خصوصیات از محصول مانند جرم، ابعاد، سطح تصویر شده و شعاع انحناء که برای کنترل فک لازم می باشد با دقت خوبی تخمین زده شد.

واژه های کلیدی: پردازش تصویر، خواص فیزیکی، خواص مکانیکی، فلفل دلمه، گریپر

مقدمه

استفاده از روبات های برداشت کننده محصولات کشاورزی بیش از همیشه در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. دلایل متفاوتی میتوان برای توجه محققین و استقبال تولید کنندگان از این مسئله نام برد که به برخی از آنها اشاره خواهیم کرد. کوتاه بودن فصل برداشت و محدودیت های موجود برای پیدا کردن نیروی کارگری با قیمت مناسب در این فاصله زمانی کوتاه از جمله



دلایل اصلی برای استفاده از دستگاه‌های برداشت خودکار می‌باشد. به علاوه، در هنگام برداشت خطراتی نیز کارگران را تهدید می‌کند. در باغها خطر سقوط از نردبان به علت ارتفاع زیاد برخی درختان (Tanigaki *et al.*, 2008) و در فضای گلخانه ای شرایط سخت کاری به علت عواملی مانند رطوبت بالا وجود دارد مخصوصا پس از عملیات سم پاشی که باعث بوجود آمدن مشکلات تنفسی برای کارگران می‌شود. دلایل دیگری نیز مانند بهبود کیفیت محصولات، افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های برداشت استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در برداشت را توجیه می‌نماید (Belforte *et al.*, 2006). این در حالی است که در کشورهای توسعه یافته مهمترین محدودیت پیش روی تولید کنندگان هزینه بالای کارگری می‌باشد که برای انجام اموری مانند برداشت محصول صرف می‌شود (Sarig, 2005).

به همین سبب در دو دهه گذشته تحقیقات زیادی مخصوصا در کشور های توسعه یافته جهت ساخت روبات های برداشت محصولات کشاورزی انجام شده است مانند روبات برداشت گیلان (Tanigaki *et al.*, 2008)، خیار (Van Henten *et al.*, 2003)، سیب (De-An *et al.*, 2011) و توت فرنگی (Hayashi *et al.*, 2010). با وجود این تلاش‌ها، به ندرت می‌توان روبات های برداشت تجاری شده یافت نمود. یکی از محدودیت های مهم در بکارگیری روبات های برداشت، صدمات مکانیکی احتمالی ناشی از فشار فک های گیرپر به محصولات حساس و ظریف کشاورزی می‌باشد که در کنار دیگر مسائل مانند قیمت بالا و ساختار پیچیده روبات ها لزوم اهتمام به مطالعه بیشتر در این زمینه را محرز می‌نماید. تحقیقاتی که می‌تواند در زمینه های متنوع و بر روی قسمت های مختلف روبات ها صورت گیرد از جمله طراحی مناسب بازوی روبات جهت کاهش صدمات وارده به بوته ها در هنگام برداشت، بهینه سازی طراحی گیرپر زیرا فک های آن مستقیما با محصول در ارتباط هستند و همچنین توسعه یک سامانه بینایی ماشین با قابلیت بالا که توانایی تشخیص محصول از پس زمینه و همچنین تعیین دیگر عوامل لازم جهت برداشت مانند تعیین موقعیت و ابعاد محصول را داشته باشد.

گیرپر به عنوان یکی از اجزاء کلیدی روبات نقش مهمی در میزان موفقیت روبات ها به عهده دارد (Baeten *et al.*, 2008). اگرچه در صنعت گیرپرهای متنوعی برای انجام کارهای مختلف وجود دارد، ولی در بخش کشاورزی طراحی یک گیرپر قابل اطمینان می‌تواند یک عامل محدود کننده اصلی در ورود سامانه های خودکار جهت برداشت مکانیزه باشد (Zhang and Goldberg 2001). یک گیرپر مناسب باید به محصول و درخت یا بوته آسیبی نرساند و همچنین کیفیت ظاهری محصول در هنگام برداشت حفظ شود. این آسیب های وارده در هنگام برداشت باعث افزایش ضایعات و همچنین کاهش میزان مشتری پسندی و عدم توانایی رقابت با محصولات مشابه در بازار می‌شود. طراحی مناسب فک های گیرپر به تعیین خصوصیات هندسی و مکانیکی محصول بستگی دارد (Zhang and Goldberg, 2001). اگرچه در سال های اخیر شاهد انجام تحقیقات خوبی در زمینه بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به منظور انجام فرآوری های پس از برداشت (مانند جداسازی درجه بندی) بودیم ولی به ندرت این خواص برای بکارگیری در دستگاه های برداشت مکانیزه و روبات ها در نظر گرفته شده اند، که در این صورت باید به شیوه غیر تماسی و با استفاده از روش هایی مانند پردازش تصویر محاسبه شوند. در طی پژوهشی



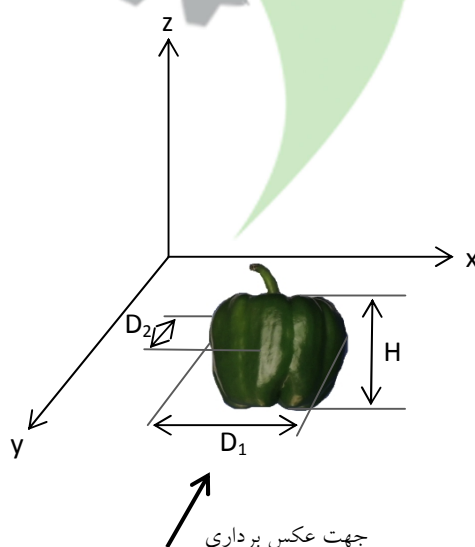
خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گوجه فرنگی برای طراحی و ساخت بهتر روبات برداشت اندازه گیری شدند (Li et al., 2011). در تحقیق ایشان بیشتر عوامل موثر در طراحی گریپر در نظر گرفته شد در صورتیکه برای کنترل مناسب بازو و گریپر خصوصياتی مانند ابعاد و وزن محصول هدف باید در هنگام برداشت و به صورت غیرتماسی تعیین گردد. با در نظر گرفتن مباحث بالا، هدف از انجام این پژوهش تعیین پارامترهای اولیه مورد نیاز برای طراحی گریپر روبات و همچنین بررسی امکان تخمین عوامل تعیین کننده در کنترل گریپر روبات در هنگام برداشت محصول فلفل دلمه می باشد.

مواد و روشها

از میان خواص فیزیکی ابعاد، جرم و میزان شعاع انحناء محصول هدف باید توسط روبات محاسبه شود تا از یک تماس پایدار بین محصول و فک های گریپر اطمینان حاصل گردد، از طرفی باید خواص مکانیکی موثر در طراحی گریپر قبلا در آزمایشگاه تعیین گردند این خواص شامل ضریب اصطکاک بین محصول و فک ها که در میزان نیروی اعمالی مورد نیاز وارده از طرف گریپر موثر می باشد و همچنین نقطه تسلیم بیولوژیکی که اهمیت زیادی در تعیین حساسیت محصول به خسارت دیدگی دارد. باید نیروی وارده به محصول در هنگام برداشت به نقطه تسلیم بیولوژیکی نرسد تا به محصول آسیبی وارد نگردد. محصولی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت تعداد ۷۰ عدد فلفل دلمه ای بود که به صورت تصادفی از گلخانه برداشت شدند.

آزمایشات فیزیکی

از بین خواص فیزیکی محصولی مانند فلفل دلمه خواصی مانند وزن، ابعاد و میزان شعاع انحنا در طراحی گریپر و فک های آن مورد استفاده قرار می گیرد. جرم نمونه ها با استفاده از ترازوی دیجیتال و با استفاده از یک کولیس دیجیتال قطر (D_1) در جهت عکس برداری، قطر (D_2) در جهت عمود بر قطر D_1 و ارتفاع (H) فلفل دلمه ها اندازه گیری شد. شکل ۱ جهت این ابعاد را نشان می دهد.

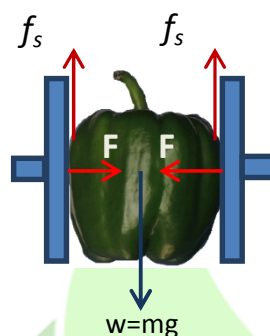


شکل ۱. ابعاد اصلی فلفل دلمه و نامگذاری آنها



ضریب اصطکاک استاتیکی

ضریب اصطکاک عامل تعیین کننده ای برای تعیین میزان نیروی مورد نیاز جهت گرفتن کامل نمونه و پایداری تماس بین فک ها و محصول می باشد. فرمول (۱) به همراه شکل ۲ به خوبی این مسئله را نشان می دهد.



شکل ۲. نیروهای اعمال شده به فلفل دلمه

$$f_s = \mu_s * F \quad (1)$$

forequilibrium: $w = 2 \times f_s = 2 \times \mu_s \times F$

که در این فرمول w وزن فلفل دلمه، F نیروی وارده از گریپر به فلفل دلمه و f_s نیروی اصطکاک بین سطح گریپر و فلفل دلمه می باشد. ضریب اصطکاک (μ_s) فلفل دلمه با موادی اندازه گیری شد که معمولاً یا فک های گریپر از آن مواد ساخته می شوند و یا سطح فک ها با این مواد پوشانده می شود. در این پژوهش ضریب اصطکاک فلفل دلمه با لاستیک، تفلون و آلومینیوم با استفاده از روش سطح شیب دار اندازه گیری شده است.

آزمون های مکانیکی

برای تعیین حداکثر نیرویی که فلفل دلمه تحت فشار بین دو فک گریپر می تواند تحمل کند آزمون فشار^۱ و نفوذ^۲ انجام شد. این آزمون ها به کمک دستگاه بافت سنج (Tinius Olsen) صورت گرفت برای تست فشار از پروبی به قطر ۱۲ میلیمتر و برای تست نفوذ از پروبی به قطر ۸ میلیمتر استفاده گردید. لازم به ذکر می باشد که سرعت حرکت پروب به ترتیب برابر ۳mm/s و ۲۰mm/s برای این آزمایشات بود.

1. Compression Test
2. Puncture Test

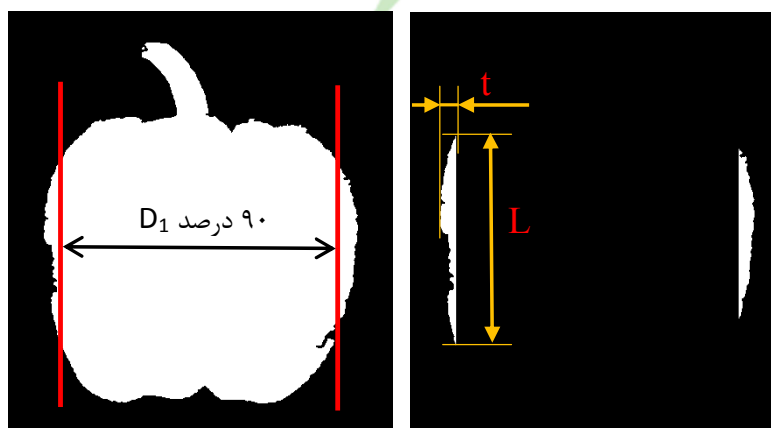
سیستم عکس برداری

تصاویر در اتاقک مخصوص و با دوربین Nikon مدل coolpix510 (Nikon Inc, Japan) گرفته شد. اندازه تصاویر ۲۲۷۲×۱۷۰۴ (۳/۷ مگاپیکسل) و فاصله دوربین تا نمونه در حدود ۴۰ سانتی متر بود. برای بدست آوردن ابعاد، سطح تصویر شده و شعاع انحناء، تصاویر به صورت باینری در آمدند. شکل ۳ نمونه ای از تصویر گرفته شده در آزمایشگاه و تصویر باینری معادل آن را نشان می دهد.



شکل ۳. تصویر فلفل دلمه در آزمایشگاه (ب) تصویر باینری شده

از بین ۳ قطر اندازه گیری در آزمایشگاه عملاً فقط قطر D_1 برای روپات مهم می باشد زیرا بر اساس این قطر باید فک های گریپر باز شوند. شعاع انحناء نیز باید برای دو طرف کناری فلفل دلمه بدست آید جایی که فک ها با آنها در تماس می باشند. البته در قسمت های کناری ممکن است چند شعاع انحناء وجود داشته باشد که از میان آنها شعاع انحنای مربوط به قسمتی که بیشترین برآمدگی را دارد دارای اهمیت می باشد زیرا فک ها در هنگام بسته شده با این قسمت ها در تماس می باشند و برای محاسبه سطح تماس بین فک و فلفل دلمه از این شعاع باید استفاده کرد. برای محاسبه شعاع انحناء، به اندازه ۵ درصد قطر D_1 از دو طرف تصویر فلفل دلمه را برش می زنیم و طبق فرمول (۲) میزان شعاع انحناء بدست می آید. سطح تصویر شده نیز برابر با جمع تمام پیکسل های سفید می باشد.



(۲)

شکل ۴. نحوه بدست آوردن میزان شعاع انحناء



نتایج و بحث

خصوصیات ۷۰ نمونه فلفل دلمه شامل جرم، ابعاد و ضریب اصطکاک که با دستگاه اندازه گیری شدند در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱ مشخص گردید که فلفل دلمه بیشترین ضریب اصطکاک را به ترتیب با لاستیک، آلومینیوم و تفلون دارد، بنابراین بهتر است برای افزایش ضریب اصطکاک روی سطح فک ها با لاستیک پوشانده شود تا برای نگهداری محصول بین فک ها به نیروی کمتری نیاز باشد و در نتیجه تنش های مکانیکی کمتری به محصول وارد گردد.

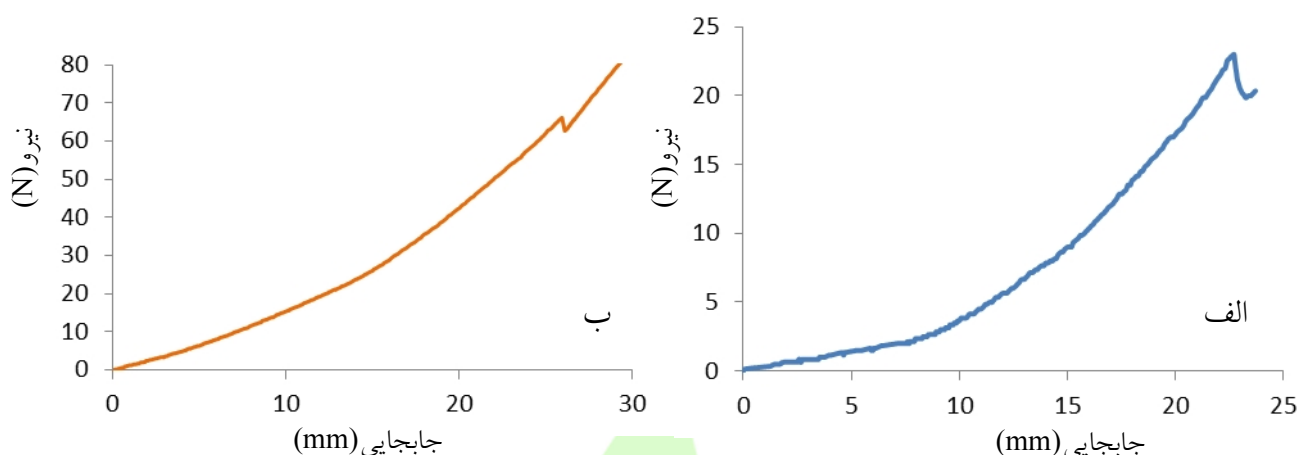
جدول ۱. خصوصیات فیزیکی فلفل دلمه

	جرم (گرم)	قطر D ₁ (میلیمتر)	قطر D ₂ (میلیمتر)	ارتفاع H (میلیمتر)	ضریب اصطکاک		
					تفلون	لاستیک	آلومینیوم
میانگین	89.89	70.39	70.38	72.87	0.63	0.91	0.86
انحراف معیار	23.63	8.83	8.77	8.95	0.05	0.04	0.02

برای محاسبه میزان تحمل فلفل دلمه در برابر نیروهای فشاری فک ها و همچنین میزان مقاومت فلفل دلمه در مقابل نفوذ اجسام دو آزمایش فشار و نفوذ انجام شد که میانگین نتایج بدست آمده در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که میانگین نیروی فشاری که باعث می شود فلفل دلمه به نقطه تسلیم بیولوژیکی برسد برابر با ۷۰/۱۱ نیوتن می باشد که در نتیجه نیروی اعمالی که از طرف فک ها به فلفل دلمه وارد می شود باید کمتر از این مقدار باشد تا به محصول آسیب مکانیکی وارد نشود. شکل ۵ نیز نمودار نیرو و جابجایی برای آزمون های انجام شده را نشان می دهد.

جدول ۲. خصوصیات مکانیکی فلفل دلمه

نیرو (N)	سرعت بارگذاری	قطر پروب (mm)	
77.11	3	120	آزمون فشار
20.98	20	8	آزمون نفوذ



شکل ۵. نمودار نیرو- جابجایی فلفل دلمه برای (الف) آزمون نفوذ و (ب) آزمون فشار

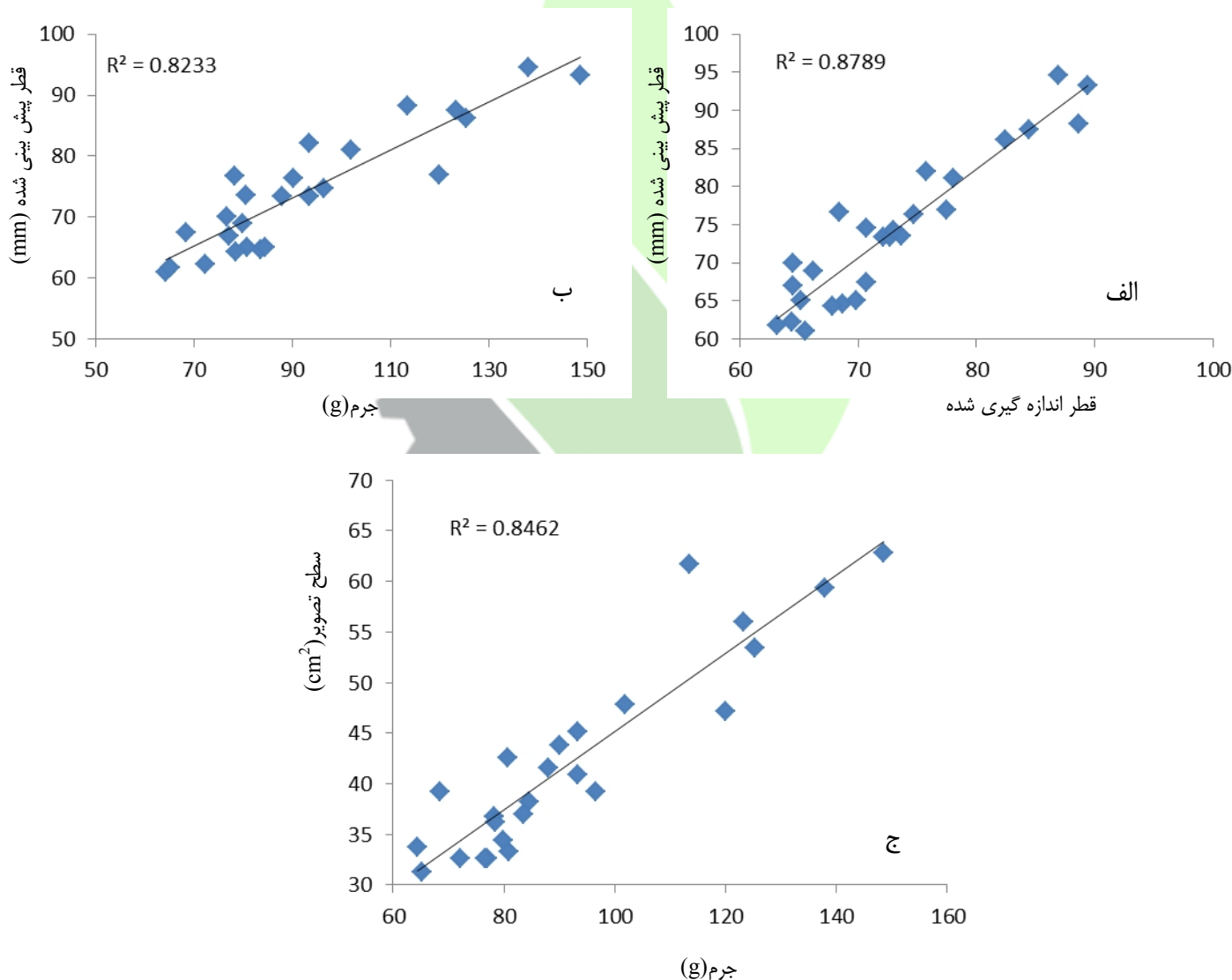
با توجه به فرمول (۱) و توضیحات ارائه شده در بالا، ضریب اصطکاک و وزن محصول از پارامترهای موثر در میزان نیروی مورد نیاز برای گرفتن محصول می باشد. ضریب اصطکاک فلفل دلمه طبق جدول ۱ دارای انحراف معیار زیادی نمی باشد و می توان آن را برای تمام فلفل دلمه ها یکسان در نظر گرفت اما جرم محصول دارای انحراف معیار زیادی می باشد و برای هر یک از فلفل دلمه ها باید محاسبه شود. از طرفی امکان اندازه گیری جرم فلفل دلمه قرار گرفته شده بر روی بوته به وسیله ترازو وجود ندارد و باید بین دیگر خصوصیات فلفل دلمه مانند ابعاد و سطح تصویر شده که می توان با کمک سامانه بینایی روبات تعیین کرد و جرم فلفل دلمه ارتباطی برقرار نمود تا بتوان میزان جرم محصول را از روی آنها پیش بینی نمود. جدول ۳ شامل خصوصیات مانند شعاع انحنا، سطح تصویر شده و همچنین قطر (D_1)، ارتفاع و جرم فلفل دلمه محاسبه شده به روش پردازش تصویر می شود. شکل ۶ نیز میزان ضریب همبستگی R^2 را بین جرم با قطر و سطح محاسبه شده به روش پردازش تصویر را نشان می دهد.

جدول ۳. خصوصیات بدست آمده از روش پردازش تصویر

جرم تخمین زده	ارتفاع تخمین زده شده	قطر D_1 تخمین زده	شعاع انحنا	سطح تصویر	
شده	(mm)	شده	(mm)	شده	
64.08	85.38	74.21	71.79	42.37	میانگین
2.63	13.58	9.98	24.62	9.61	انحراف معیار

مطابق با شکل ۶ الف بین قطر واقعی اندازه گیری شده با کولیس و قطر بدست آمده با پردازش تصویر همبستگی خوبی وجود دارد. البته در روش پردازش تصویر ماکزیمم فاصله بین دو طرف فلفل دلمه به عنوان قطر D_1 در نظر گرفته شده است و لزوماً این دو نقطه در امتداد هم نبودن در حالیکه با کولیس بیشترین فاصله بین دو نقطه واقع بر روی خط افقی (موازی با محور استوایی محصول) به عنوان D_1 در اندازه گیری شد. هرچند این مسئله باعث کاهش ضریب همبستگی شده ولی برای برداشت فاصله ماکزیمم مهم می باشد زیرا فک ها باید بر اساس این اندازه باز و بسته شوند.

از طرفی بین این فاصله و جرم فلفل دلمه ضریب همبستگی (R^2) برابر با ۰/۸۲ می باشد این در حالی است که این ضریب بین جرم و سطح تصویر شده ۰/۸۴ بوده و در نتیجه سطح تصویر شده شاخص بهتری برای تخمین جرم فلفل دلمه و در نهایت محاسبه میزان نیروی اعمالی از طرف فک ها می باشد.



شکل ۶. ضریب همبستگی (الف) بین قطر اندازه گیری شده و قطر بدست آمده با روش پردازش تصویر (ب) بین جرم و قطر بدست آمده با روش پردازش تصویر (ج) بین جرم و سطح تصویر



برای بدست آوردن سطح تماس بین فلفل دلمه و فک ها میزان شعاع انحنا فک و فلفل دلمه لازم می باشد که برای فک این شعاع را می توانیم با توجه به سطح صاف آن ها بینهایت در نظر بگیریم و برای فلفل دلمه این شعاع انحنا در نقاط تماس با استفاده از پردازش تصویر بدست آمد. شکل ۷ نشان می دهد که شعاع انحنا بدست آمده با استفاده از این روش دارای دقت خوبی می باشد. همانطور که قابل ملاحظه می باشد فلفل دلمه شکل ۷ الف که برآمدگی کمتری دارد دارای شعاع انحنا بیشتری (۹۰/۰۹ میلیمتر) نسبت به فلفل دلمه قسمت ب (۴۶/۴۹ میلیمتر) بوده که دارای برآمدگی بیشتری می باشد.



شکل ۷. دو نمونه از تطابق شعاع انحنا بدست آمده به روش پردازش تصویر بر روی فلفل دلمه

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شده است تا پارامتر های مورد نیاز برای طراحی گریپر روبات برداشت کننده محصول فلفل دلمه تعیین گردد. برای این منظور جرم، ابعاد برای ۷۰ نمونه بدست آمد و ضریب اصطکاک فلفل دلمه با آلومینیوم، تفلون و لاستیک تعیین شد. با انجام آزمایش ضریب اصطکاک مشخص گردید که با پوشاندن فک ها با لاستیک می توان ضریب اصطکاک را افزایش داد که در نتیجه می توان با اعمال نیروی کمتری فلفل دلمه را برداشت نمود. همچنین آزمایشات مکانیکی بر روی نمونه انجام گردید تا میزان نیروی اعمالی مجازی تعیین شود که از طرف فک ها می تواند در هنگام برداشت به فلفل دلمه وارد شود بدون اینکه به محصول آسیب مکانیکی وارد گردد. با انجام این آزمایشات مشخص گردید که میانگین نیرویی فشاری که باعث رسیدن فلفل دلمه به نقطه تسلیم بیولوژیکی می شود برابر با ۷۷/۱۱ نیوتن می باشد. در نهایت با استفاده از روش غیر تماسی پردازش تصویر خصوصیاتی از محصول مانند جرم، ابعاد و شعاع انحنا که برای کنترل فک های گریپر لازم می باشد با دقت خوبی تخمین زده شد.

سپاسگزاری

با سپاس فراوان از گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی که این پژوهش با حمایت های آنها به انجام رسیده است و همچنین با تشکر و قدردانی از خانم پریسا عرب زاده و آقای سید محمد رضا هاشمی که در انجام آزمایشات کمک شایانی نمودند.

منابع

- 1- Belforte, G., R. Deboli, P. Gay, P. Piccarolo and D. RicaudaAimonino. 2006. Robot Design and Testing for Greenhouse Applications. Biosystems Engineering 95: 309-321.
- 2- Baeten, J., K., Donne, S., Boedrij, W., Beckers, and E., Claesen. 2008. Autonomous Fruit Picking Machine: A Robotic Apple Harvester. Field Serv. Rob. 531-539.
- 3- De-An, Z. , L. Jidong, J. Wei, Z. Ying and C. Yu. 2011. Design and control of an apple harvesting robot. Biosystems Engineering 110: 112-122.
- 4- Hayashi, S. , K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata and M. Kurita. 2010. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. Biosystems Engineering 105: 160-171.
- 5- Li, z. , P. Li, J. Liu. 2011. Physical and mechanical properties of tomato fruits as related to robot's harvesting. Journal of Food Engineering 103: 170-178.
- 6- Sarig, Y.2005. Mechanized fruit harvesting-Site Specific Solutions. in Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production, FRUTIC. Montpellier, France.
- 7- Tanigaki, K. , T. Fujiura, A. Akase and J. Imagawa. 2008. Cherry-harvesting robot. Computers and Electronics in Agriculture 63: 65-72.
- 8- Van Henten, E. J. , B. A. J. Van Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema and E. A. Van Os. 2003. Field Test of an Autonomous Cucumber Picking Robot. Biosystems Engineering 86: 305-313.
- 9- Zhang, T., and K. Goldberg. 2001. Design of Robot Gripper Jaws Based on Trapezoidal Modules. IEEE International Conference onRobotics and Automation 2: 1065 – 1070.

Grippers' design factors determined by integration of Computer Vision System and Mechanical Test

Ali Moghimi^{1*} Mohammad H. Aghkhani and Mahmood R. Golzarian

1- PhD Student, Associate and Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering

Ferdowsi University of Mashhad

ali.moghimi@stu.um.ac.ir

Abstract

One of the main restrictions in harvesting robot implementation is the potential mechanical damage imposed from gripper jaw pressure to delicate agricultural products. This concern in addition to the high price of robots and their complexity confirmed that more efforts and further study are still required. Gripper, as a key part of robot, is playing the important role in robot achievements. In the other hand, a proper design of gripper jaws depend on geometrical and mechanical properties of crops. The objective of this study was the assessment of primary parameters for gripper design and also non-contact sensing of crucial factors for gripper control during automatic harvesting of sweet pepper. For this purpose, properties such as mass, dimensions and sweet pepper friction with aluminum, Teflon and rubber have measured. Moreover, mechanical tests were performed to measure the allowed force imposed on sweet peppers from gripper. It was revealed that the average of compression force was 77.11 N which lead to biological yield point. Eventually, sweet pepper properties including mass, dimensions, projected area and radius of curvature were accurately estimated using image processing technique.

Keywords: gripper, image processing, mechanical properties, physical properties, sweet pepper