

## طراحی و ساخت یک دستگاه خودکار جهت بسته‌بندی میوه‌های کروی شکل

حسن نحوی<sup>۱\*</sup>، رضا عارفی<sup>۲</sup> و عباس همت<sup>۳</sup>

\*- نویسنده مسؤول: دانشیار عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان (hnahvi@cc.iut.ac.ir)

۲- فارغ التحصیل مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی از دانشگاه صنعتی اصفهان. پژوهشکده زیرسطحی اصفهان

۳- استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۵

### چکیده

هدف از این تحقیق طراحی و ساخت یک دستگاه خودکار است، به طوری که بتواند میوه را از مکان مشخصی، با حداقل آسیب به بافت میوه، به مکان دیگر انتقال داده و در جعبه‌ای مخصوص قرار دهد. این دستگاه از یک مکانیزم یک درجه آزادی بازو که یک گریپر بر روی آن نصب گردیده و یک مکانیزم دو درجه آزادی سینی تشکیل شده است. مکانیزم بازو وظیفه جابه‌جا کردن گریپر در یک مسیر مشخص کمافی شکل را بر عهده دارد و برای این منظور از یک مکانیزم چهارمیله‌ای صفحه‌ای که توسط یک موتور الکتریکی به حرکت وادار می‌شود استفاده شده است. گریپر نیز وظیفه برداشتن و رها کردن میوه را در نقاط ابتدایی و انتهایی مسیر حرکت بر عهده دارد که حرکت و زمان بندی مناسب آن توسط یک بادامک اجرا می‌شود. مکانیزم صفحه‌ای (سینی) به گونه‌ای طراحی می‌شود که حرکتی با دو درجه آزادی ایجاد کرده و بتواند حفره جعبه‌ها را در محل رها شدن میوه توسط گریپر قرار دهد. دو سکوی متحرک با دو حرکت مستقل در راستاهایی عمود بر یکدیگر این حرکت را امکان پذیر می‌سازند. در نهایت، سامانه کنترل الکترونیکی برای کنترل حرکت بخش‌های مختلف دستگاه، صدور فرامین لازم و اجرای زمان بندی حرکتی مناسب طراحی و ساخته شد. آزمایش‌هایی به منظور مشاهده عملکرد گریپر، بازو و سینی در کنار یکدیگر انجام گرفت. در این آزمایش‌ها از میوه سیب با شکل‌های کشیده<sup>۱</sup>، مخروطی<sup>۲</sup> و کروی<sup>۳</sup> استفاده شد. در این بررسی‌ها مشخص شد که عملکرد دستگاه در مورد سیب‌های کشیده نسبت به دیگر شکل‌ها مؤثرتر است.

**کلید واژه‌ها:** بسته‌بندی، میوه کروی شکل، سامانه کنترل، گریپر

### مقدمه

برای بسته‌بندی مواد زیستی باید توجه نمود که این مواد به صورت بهداشتی و در بسته‌های مناسبی جاسازی شوند و در فرآیند بسته‌بندی به بافت آنها آسیبی وارد نشود. با استفاده از ماشین می‌توان عمل بسته‌بندی را با نیروی کارگری کم‌تر به اجرا گذاشت و در عین حال از کیفیت و بهداشتی بودن بسته‌بندی اطمینان حاصل نمود؛ همچنین استفاده از ماشین امکان درجه‌بندی بر اساس رنگ و یا اندازه را می‌دهد.

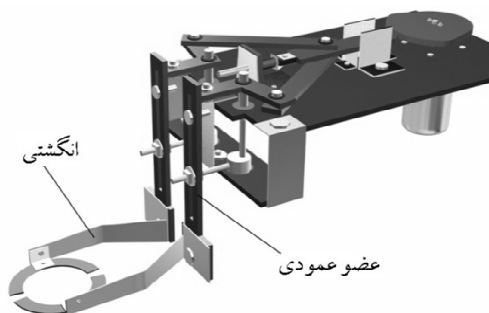
امروزه در بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی استفاده از نیروی انسانی جای خود را به نیروی مکانیکی و در بسیاری از موارد به نیروی مکانیکی ماهر یا ربات‌ها داده است. به عنوان مثال، می‌توان از ربات‌ها در مراحل تهیه زمین، کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت استفاده کرد. یکی از عملیات مرحله پس از برداشت، بسته‌بندی میوه‌ها است.

- 1- Oblong
- 2- Conic
- 3- Oblate

## مواد و روش ها

### طراحی مکانیزم بردارنده و انتقال دهنده

به طور کلی تمامی دستگاه های بردارنده و انتقال دهنده دارای دو قسمت اصلی اند. قسمت اول گریپر است که وظیفه گرفتن و نگهداشتن جسم را بر عهده دارد. قسمت دوم بازو است که وظیفه جابه جایی گریپر را عهده دار است. با توجه به نیازهای طرح، هر قسمت به طور جداگانه طراحی و ساخته شده و در نهایت با نصب گریپر بر روی بازو، دستگاه بردارنده و انتقال دهنده شکل می گیرد. در طرح حاضر، ابتدا طراحی گریپر بر اساس نیازهای طرح انجام شده و سپس بر اساس ابعاد و اندازه گریپر و همچنین محدوده کاری دستگاه، مکانیزم بازو طراحی گردیده است (عارفی و همکاران، ۱۳۸۵). شکل ۱ مکانیزم گریپر طراحی شده را نشان می دهد که در آن از مکانیزم لنگ-لغزنده استفاده شده است. برنامه حرکتی بازو در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل، نقطه A موقعیت برداشتن میوه و نقطه B موقعیت گذاشتن آن است. در این نمودار زاویه دوران عضو محرک مکانیزم بازو بر حسب زمان ترسیم شده است. گریپر و بازو به صورت مونتاژ شده در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۱- نمایی از مکانیزم لنگ-لغزنده به عنوان گریپر (عارفی و همکاران، ۱۳۸۵)

یکی از قسمت های مهم بازوهایی که عمل برداشتن و گذاشتن<sup>۱</sup> را انجام می دهند، قسمت گریپر<sup>۲</sup> است. در اغلب موارد لازم است در هنگام برداشتن میوه، به دلیل بافت حساس آن، چنگال کم ترین آسیب را به میوه وارد کند (محسنین<sup>۳</sup>، ۱۹۸۰). بدین منظور تحقیقات زیادی در طراحی گریپر و چنگال های آن صورت گرفته است که فصل مشترک اکثر آنها استفاده از سنسورهای نیرویی به منظور اندازه گیری نیروی اعمالی به میوه می باشد (سیمونتون<sup>۴</sup>، ۱۹۹۱). جهت نشاء کاری برنج، طراحی توسط تینگ و همکاران ارائه گردیده که در آن گریپر به صورت دو سوزن لغزان نسبت به یکدیگر به صورت مورب حرکت کرده و با کم ترین آسیب نشاء را در بر می گیرند (تینگ و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۰).

در طراحی و ساخت دستگاه خودکار بسته بندی میوه، گریپر طوری طراحی شده است که بتواند میوه هایی به قطر ۵ تا ۹ سانتی متر را به صورتی مطمئن در بر گیرد. در طراحی گریپر از مکانیزم لنگ-لغزنده استفاده شده است. تحلیل های سینماتیکی و دینامیکی گریپر در تحقیق دیگری انجام شده و عملکرد آن توسط نرم افزار Working Model شبیه سازی گردیده است (عارفی و همکاران، ۱۳۸۵).

در طرح حاضر، یک مکانیزم صفحه ای دو درجه آزادی (سینی) طراحی می شود که وظیفه جابه جا کردن جعبه را بر عهده دارد. گریپر بر روی مکانیزم جابه جا کننده سوار شده و در نقاط مشخصی از مسیر حرکت مکانیزم، عمل گرفتن و رها کردن میوه را انجام می دهد.

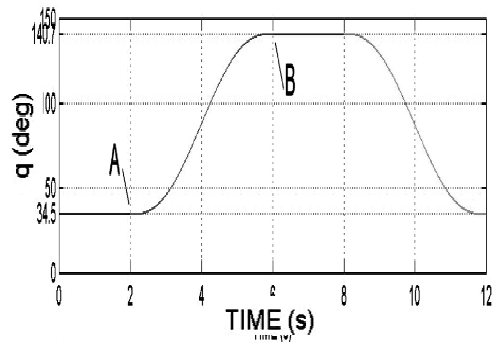
- 1- Pick & Place
- 2- Gripper
- 3- Mohsenin
- 4- Simonton
- 5- Ting et al.

در این طرح از دو سکوی متحرک استفاده شده که دارای حرکتی عمود بر یکدیگرند. مکانیزم سینی قادر است محدوده مشخصی را در صفحه پوشش دهد. سکوی متحرک اول توسط یک موتور پله‌ای<sup>۱</sup> و از طریق یک تسمه در راستای محور X حرکت می‌کند. سکوی متحرک دوم نیز با مکانیزم مشابهی در راستای محور Y حرکت می‌نماید (شکل ۶). از تسمه‌ها و پولی‌های تایمینگ به منظور افزایش دقت حرکات مکانیزم سینی استفاده می‌شود. برای کاهش توان مورد نیاز برای حرکت سکوهای متحرک از بلبرینگ استفاده شده است.

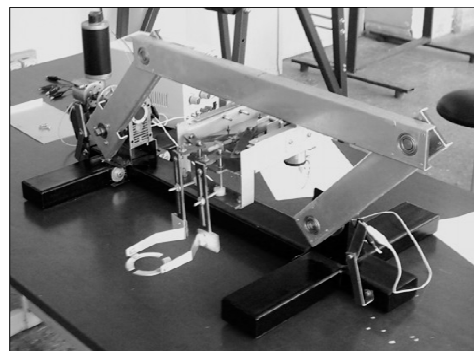
جعبه میوه دارای دو ردیف سه تایی حفره است. قطر هر حفره ۷ سانتی‌متر و فاصله مراکز حفره‌ها از یکدیگر ۸ سانتی‌متر است. نحوه قرار گرفتن جعبه بر روی سکوی متحرک دوم به گونه‌ای است که عرض جعبه در راستای حرکت سکوی متحرک دوم و طول آن در راستای حرکت سکوی متحرک اول است. برای پر شدن هر ردیف، سکوی متحرک مسافتی معادل ۱۶ سانتی‌متر را طی می‌کند. پس از پر شدن یک ردیف، سکوی متحرک دوم جعبه را در جهت عرضی به اندازه ۸ سانتی‌متر جابه‌جا می‌کند تا با حرکت سکوی متحرک اول ردیف بعدی پر شود. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب جعبه میوه و مکانیزم سینی به صورت سوار شده مشاهده می‌شوند.

### سامانه کنترل

پس از اتمام طراحی و ساخت قسمت‌های مکانیکی دستگاه، طراحی و اجرای سامانه‌های کنترل و بخش‌های الکترونیکی دستگاه انجام گرفت. شکل ۷ دیاگرام سامانه کنترل را که بر اساس کارکرد قسمت‌های مختلف دستگاه و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر رسم شده‌است نشان می‌دهد.



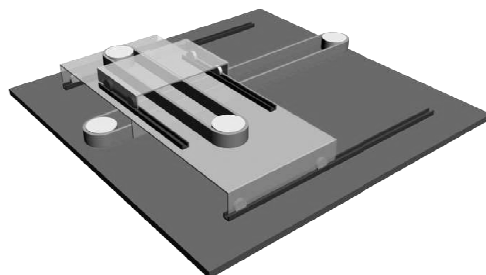
شکل ۲- برنامه حرکتی عضو محرک (بازو) (عارفی و همکاران، ۱۳۸۵)



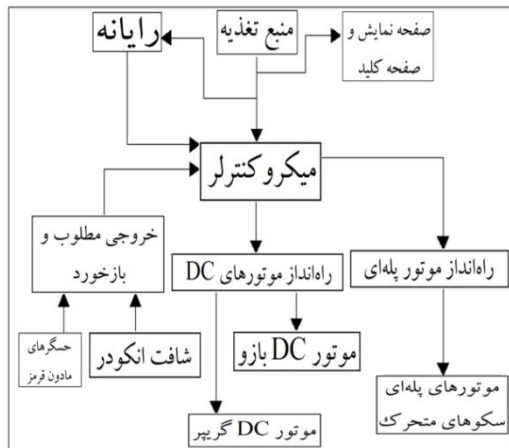
شکل ۳- نمایی کلی از مکانیزم بازو و گریپر (عارفی و همکاران، ۱۳۸۵)

### مکانیزم سینی

به منظور پر کردن جعبه از میوه، مکانیزمی صفحه‌ای با دو درجه آزادی طراحی می‌شود؛ طوری که بتواند یکی از حفره‌ها را در محلی که بازو میوه را رها می‌کند قرار دهد (زرکوب، ۱۳۷۹). طرح انتخاب شده علاوه بر داشتن کارایی لازم، از سادگی در ساخت نیز برخوردار است (شکل ۴).

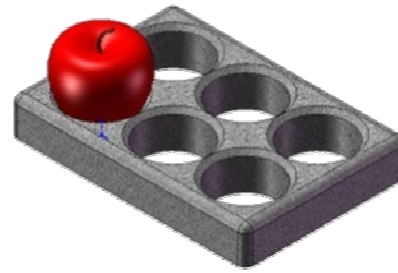


شکل ۴- نمایی از مکانیزم سینی



شکل ۷- دیاگرام سامانه کنترل

همچنین باید موقعیت زاویه‌ای مکانیزم بازو توسط سنسورهای اندازه‌گیری شده و به میکروکنترلر ارسال گردد. این موقعیت با موقعیت مطلوب بازو از نظر تئوری مقایسه گردیده و از این طریق فرمان لازم برای اصلاح وضعیت دستگاه صادر می‌شود.



شکل ۵- جعبه مورد نظر برای چیدن میوه‌ها

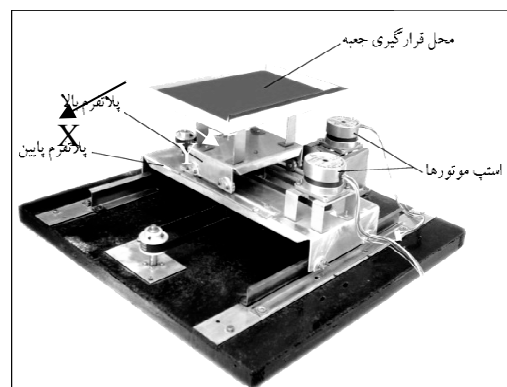
#### انتخاب میکروکنترلر

میکروکنترلر به عنوان کنترل کننده مرکزی وظیفه صدور فرمان لازم به محرکهای دستگاه را بر عهده دارد. با توجه به فراوانی میکروکنترلرهای خانواده AVR، از مدل ATmega64 که جدیدترین سری از خانواده مذکور است در این طرح استفاده شد.

#### درایور موتورهای DC گریپر و بازو

##### الف) گریپر

موتور گریپر یک موتور DC محصول کمپانی Maxon Motor است. با انجام آزمایش‌های عملی مشخص شد که جریانی کمتر از ۱ آمپر و ولتاژی به میزان ۲ تا ۵ ولت برای کارکرد مطلوب موتور مورد نیاز است. بازو بسته شدن گریپر و زمان بندی آن توسط مکانیزم بادامک انجام می‌شود و موتور فقط در یک جهت حرکت دارد. ساده ترین روش برای به دست آوردن این حرکت، استفاده از یک مدار ترانزیستوری است. ولی از آنجا که استفاده از ترانزیستور باعث ایجاد



شکل ۶- مکانیزم سینی

می شود در بخش دیجیتال اثر گذاشته و با راه اندازی مجدد<sup>۱</sup> میکرو اجازه برگشت و کار مداوم به بازو را نمی دهد. اولین اقدام برای رفع این مشکل، ایزوله کردن کامل ولتاژ موتور از میکرو و صفحه نمایش<sup>۲</sup> و بخش های دیجیتال است. این کار قبل از رگولاتور (تثبیت گر ولتاژ) بخش دیجیتال انجام گرفت.

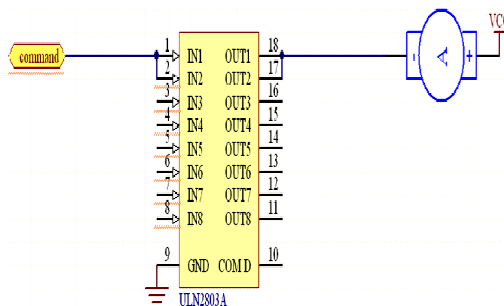
در مرحله بعد، با افزودن فیلتر بر روی المان های دیجیتال از ورود نویز به آنها جلوگیری گردید. بدین منظور از یک خازن کوچک با ظرفیت ۱۰۰ نانوفاراد بر روی VCC هر یک از آی سی های دیجیتال استفاده شد. کار این فیلتر جلوگیری از عبور ضربه های ولتاژ کوچک است که بر اثر القا در مدار ایجاد می شود. سپس با استفاده از یک فیلتر پای ( $\pi$ ) که شامل یک سلف و دو خازن است ولتاژ VCC به آی سی مورد نظر داده - شد. این فیلتر ارتباط آی سی با نویز های منبع را کاملاً قطع می کند. در این مرحله، با وجود زمان کارکرد زیاد، سیستم کارکرد مطلوبی از خود نشان داد.

### دراپور موتورهای پله ای سینی

مکانیزم سینی توسط دو موتور پله ای در دو راستای عمود بر هم حرکت می کند. موتور های پله ای به کار رفته ساخت شرکت Sanyo Denki بوده و دارای گام ۱/۱۸/۸ درجه و جریانی در حدود ۰/۶ آمپر برای هر فاز هستند. برای راه اندازی این موتور ها از تراشه های خانواده ULN مانند ULN2803 استفاده شد. این تراشه به ازای هر پورت اجازه عبور جریان ۰/۵ آمپر را می دهد و مزیت آن استفاده از ۸ ترمینال است که با توجه به نیاز به ۴ مسیر می توان پایه ها را به صورت دو به دو باهم موازی کرد. این موتور که در شکل ۹ نشان داده شده به راحتی راه اندازی شد.

نکته مهم در راه اندازی موتور های پله ای سرعت فرمان دادن به این موتورها است که باید در یک حد

گرمای زیاد می گردد، این مشکل با استفاده از تراشه ULN2803 (شکل ۸) برطرف شد. در ضمن، دیود هرزگرد موجود در تراشه به راحتی جوابگوی مشکل جریان برگشتی از موتور می باشد.



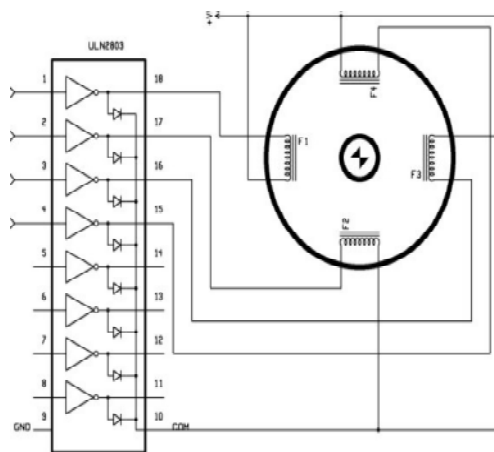
شکل ۸- تراشه ULN2803 برای راه اندازی موتور گریپر

### ب) بازو

جهت به حرکت در آوردن بازو از یک موتور DC، 158W محصول شرکت Gefeg آلمان استفاده گردید. این موتور می تواند حداکثر ولتاژ ۴۰ ولت و جریان ۵ آمپر را تحمل کند و یک انکودر نوری سه کاناله، محصول شرکت HP، بر روی آن نصب شده است. در شرایطی که موتور تحت بار قرار دارد، جریان کشی بالای موتور و نویز شدید ایجاد شده در مدارهای الکترونیکی باعث ایجاد اختلال در سامانه کنترل می شود. با توجه به این که تراشه L298 دارای دو پل H است و هر پل ۲ آمپر جریان تحمل می کند برای راه اندازی موتور از این تراشه استفاده شد. بدین منظور پل های تراشه با یکدیگر موازی شد تا تحمل جریان را افزایش دهد. این کار باعث راه اندازی موتور گردید؛ ولی زمان بندی حرکت به خوبی از سوی موتور اجرا نمی شد. با بررسی ها مشخص شد که شار مغناطیسی جریان پسماند موجود در مدار که از سوی سلف های موتور تأمین

1- Reset

2- LCD



شکل ۹- نحوه راه اندازی موتور پله ای

مدت زمان حرکت مکانیزم از موقعیت A به B برابر  $t_1 < 4$  ثانیه باشد، این زمان توسط سامانه کنترل اندازه گیری شده و سپس مکانیزم به مدت  $t_2 = 6 - t_1$  ثانیه در موقعیت B به حالت توقف نگه داشته می‌شود. پس از صرف زمان  $t_2$ ، مجدداً مکانیزم از موقعیت B به A حرکت می‌کند و الگوی اعمال ولتاژ به موتور DC به همان صورتی است که از A به B رسیده است. بدین ترتیب یک سیکل کاری مکانیزم بازو انجام شده و سیکل بعد آغاز می‌شود.

مکانیزم سینی که به صورت حلقه باز کنترل می‌شود، فرمان‌های لازم را از طریق کنترلر مرکزی دریافت می‌کند. از آنجا که کورس حرکت هر سکوی متحرک مشخص است، با توجه به قطر پولی‌ها می‌توان میزان چرخش هر موتور و تعداد پله‌های حرکتی را به منظور اعمال حرکت مطلوب به دست آورد.

لازم به ذکر است که زمان بندی حرکتی مکانیزم سینی بر اساس زمان بندی حرکتی مکانیزم بازو تعیین می‌شود. به منظور قرار دادن مکانیزم سینی در موقعیت آغاز به کار، از دو عدد میکروسوییچ در موقعیت‌های اولیه هر سکوی متحرک استفاده گردید. پس از روشن شدن دستگاه، سامانه کنترل وضعیت سکوهای متحرک را چک می‌کند. اگر سکوهای متحرک در موقعیت آغاز نباشند، فرمان حرکت صادر می‌شود تا دستگاه به آن

ثابت بوده و نباید با هر سرعت دلخواه آنها را راه‌اندازی نمود. در واقع با توجه به این که فرمان به یک ابزار مکانیکی داده می‌شود، امکان فرمانبری با سرعت بالا میسر نیست و ممکن است در هنگام فرمان دادن با سرعت بالا، موتور بعضی فرمان‌ها را دریافت نکرده و به طور صحیح کار نکند.

### کنترل و برنامه‌ریزی حرکت دستگاه

دستگاه قبل از شروع بکار، باید در نقطه آغاز کار (نقطه A در شکل ۲) قرار گیرد؛ زیرا مکانیزم بازو که به صورت حلقه باز کنترل می‌شود، برای تعیین نقطه آغاز کار از یک میکروسوییچ که در حالت معمولی بسته است، استفاده می‌شود. پس از روشن شدن دستگاه، میکروکنترلر وضعیت میکروسوییچ A را بررسی و در صورتی که وصل باشد با صدور فرمان حرکت به موتور DC بازو، آنرا در موقعیت آغاز کار قرار می‌دهد. به منظور تعیین ارتباط بین ولتاژ اعمال شده به موتور DC و مدت زمان حرکت بین موقعیت‌های A و B، زمان سنجی در ولتاژهای مختلفی صورت گرفت و توسط یک میکروکنترلر، حرکت مکانیزم بازو بر اساس برنامه حرکتی مورد نظر (شکل ۲) ابا موقعیت به اجرا در آمد.

در ابتدا بازو باید به مدت ۲ ثانیه در موقعیت A توقف کرده و سپس در مدت ۴ ثانیه از موقعیت A به موقعیت B برسد. بدین منظور ولتاژ اعمالی به موتور DC از طریق برنامه نوشته شده برای میکروکنترلر به گونه‌ای تنظیم شد که با اجرای حرکتی آرام در ابتدا و انتهای مسیر حرکت، مسیر مورد نظر در زمانی کم‌تر از ۴ ثانیه طی شود.

در ابتدای حرکت ولتاژ کم و سپس بتدریج ولتاژ زیاد به موتور DC اعمال گردید و در انتهای مسیر ولتاژ روند کاهنده‌ای داشت. این روند افزایش و کاهش ولتاژ به صورت خطی برنامه‌ریزی شد. در انتهای مسیر حرکت (نقطه B) یک میکروسوییچ قرار دارد که برخورد بازو با آن نشان دهنده رسیدن بازو به انتهای مسیر است. در این وضعیت ولتاژ اعمالی به موتور صفر می‌شود. اگر

سیب برای انجام آزمایش تهیه شد. قطرهای مذکور بیش ترین قطر مقطع عرضی سیب می‌باشند.

ارتفاع رها سازی سیب ها از گریپر به درون جعبه (شکل ۱۰) برای قطر ۷ سانتی‌متر معادل ۱۰ سانتی‌متر و برای قطرهای ۸ و ۹ سانتی‌متر معادل ۱۵ سانتی‌متر انتخاب شد. لازم به ذکر است که مقادیر انتخاب شده برای ارتفاع رها سازی مقادیر بهینه نبوده و صرفاً برای کسب اطمینان از عدم برخورد انگشتی های گریپر با دیگر میوه‌های درون جعبه در هنگام رها سازی انتخاب شده اند.



شکل ۱۰- ارتفاع رها سازی سیب

معیار ارزیابی عملکرد دستگاه، وضعیت قرارگیری سیب ها درون حفره‌های جعبه است. برای این منظور میزان انحراف زاویه ای سیب درون جعبه نسبت به راستای اولیه آن (راستایی که در هنگام برداشتن توسط گریپر دارد) اندازه گیری شد. بدین منظور قبل از برداشتن سیب توسط گریپر، میله ای نازک در محل دم سیب به گونه‌ای نصب گردید که تقریباً در راستای عمودی (راستای شاقولی) قرار گیرد. برای این منظور از تیغه اره مویی به عنوان میله نازک استفاده گردید. این راستا را راستای اولیه می‌نامیم. برای ایجاد راستای شاقولی از یک ریسمان نازک که به انتهای آن وزنه‌ای سبک متصل شده استفاده شد.

موقعیت برسد. پس از این مرحله با فشردن دکمه "شروع" از روی صفحه کلید، حرکت دستگاه بر اساس زمان بندی حرکتی و از طریق میکروکنترلر آغاز می شود.

### ارزیابی عملکرد دستگاه

پس از تکمیل قسمت های سخت افزاری و نرم افزار سامانه، عملکرد دستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور دو موضوع مورد نظر قرار گرفت. مورد اول زمان اجرای یک سیکل کاری مکانیزم بازو و مورد دوم چگونگی قرار گرفتن میوه‌ها درون جعبه بود. در ادامه به ذکر جزئیات هر مورد پرداخته می‌شود.

### اندازه‌گیری زمان اجرای یک سیکل کاری مکانیزم بازو

در برنامه‌ریزی حرکت بازو به منظور حرکت از نقطه A به نقطه B (شکل ۲) و یا بالعکس، تحلیل ها و محاسبات بر اساس زمان ۴ ثانیه انجام شد که بر این اساس زمان اجرای یک سیکل کاری مکانیزم بازو معادل ۱۲ ثانیه می‌شود؛ ولی در پیاده‌سازی سامانه، نحوه اعمال ولتاژ توسط سامانه کنترل به گونه‌ای اجرا گردید که حرکت از نقطه A به نقطه B و بالعکس در زمانی در حدود ۳/۵ ثانیه انجام شود. بر این اساس، پس از توقف کامل بازو در نقاط مورد نظر، گریپر بازو بسته شده و عمل برداشتن یا گذاشتن میوه با اطمینان بیش تری انجام می‌شود. اندازه‌گیری زمان اجرای یک سیکل کاری توسط یک کروномتر دیجیتال به صورت دستی و با ۱۲ تکرار انجام شد.

### ارزیابی عملکرد دستگاه بر اساس شکل و قطر سیب

به منظور ارزیابی دستگاه بر اساس شکل و قطر سیب، از سه نوع شکل سیب شامل کشیده، مخروطی و کروی استفاده شد و از هر شکل، قطرهای ۷، ۸ و ۹ سانتی‌متر و از هر قطر به تعداد ۱۲ عدد انتخاب گردید. در نتیجه برای هر شکل سیب ۳۶ عدد و در مجموع ۱۰۸ عدد

نحوی و همکاران: طراحی و ساخت یک دستگاه خودکار...

های اندازه گیری شده در حدود ۱۱ ثانیه هستند و اختلاف آنها می تواند علاوه بر خطای اندازه گیری ناشی از سرعت عمل پاسخ سیستم مکانیکی شامل موتور و مکانیزم بازو به فرامین صادر شده از سوی کنترلر دستگاه باشد.

نتایج حاصل از انجام تجزیه واریانس میزان انحراف سیب از راستای اولیه در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین جدول ۳ تاثیر شکل و قطر سیب را بر میزان انحراف سیب از راستای اولیه نشان می دهد.

پس از انتقال سیب توسط مکانیزم بازو به جعبه، زاویه میله نصب شده نسبت به راستای شاقولی به وسیله نقاله اندازه گیری گردید. راستای میله متصل به سیب درون جعبه را راستای ثانویه می نامیم. لازم به ذکر است از آنجا که هدف تعیین اختلاف راستای اولیه و راستای ثانویه است (میزان انحراف) الزامی برای موازی بودن راستای اولیه و راستای شاقولی نیست و می توان راستای اولیه را به صورت دلخواه انتخاب کرد. پس از انجام آزمایش، تاثیر شکل و قطر سیب بر میزان انحراف از راستای اولیه توسط آزمایش فاکتوریل ۳×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد.

### نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری زمان یک سیکل کاری در جدول ۱ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می شود، زمان

جدول ۱- زمان های اندازه گیری شده برای یک سیکل کاری مکانیزم بازو

انحراف معیار		میانگین		زمان (ثانیه)	
۰/۱۱	۱۱/۰۳	۱۰/۹	۱۰/۹۵	۱۱/۱۵	۱۱/۲
۱۱	۱۰/۹۸	۱۱/۱۲	۱۱/۰۵	۱۱/۱۵	۱۰/۹

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس میزان انحراف سیب از راستای اولیه

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
شکل سیب (s)	۲	۱۰۶/۹۶۳	۵۳/۴۸۱	۵/۱۳**
قطر سیب (d)	۲	۱۰۷۳/۴۰۷	۵۳۶/۷۰۴	۵۱/۴۵**
اثر متقابل (s×d)	۴	۵۹/۱۴۸	۱۴/۷۸۷	۱/۴۲ <sup>ns</sup>
اشتباه	۹۹	۱۰۳۲/۶۶۷	۱۰/۴۳۱	
کل	۱۰۷	۲۲۷۲/۱۸۵		

\*\* نشانگر معنی داری در سطح احتمال ۱٪

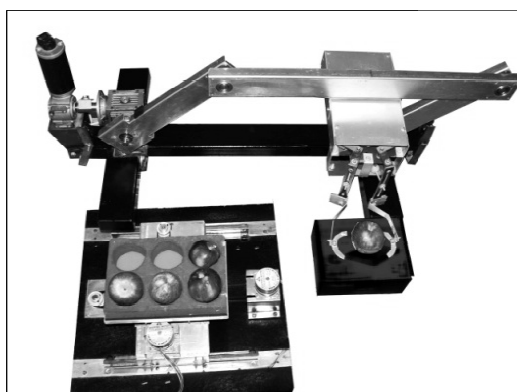
<sup>ns</sup> نشانگر عدم معنی داری



## جدول ۳- تأثیر شکل و قطر سیب بر روی زاویه انحراف آن (درجه) نسبت به راستای اولیه

انحراف از راستای اولیه (درجه)	عامل آزمایش
۹ a	قطر سیب (سانتی متر)
	۷
۱۲/۹ b	۸
۱۶/۷ c	۹
۱۱/۵ b	شکل سیب
	کشیده
۱۳/۳ a	مخروطی
۱۳/۸ a	کروی

برای هر عامل آزمایش، میانگین‌هایی که در یک حرف کوچک لاتین مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.



شکل ۱۱- نمایی از دستگاه در موقعیت برداشتن میوه

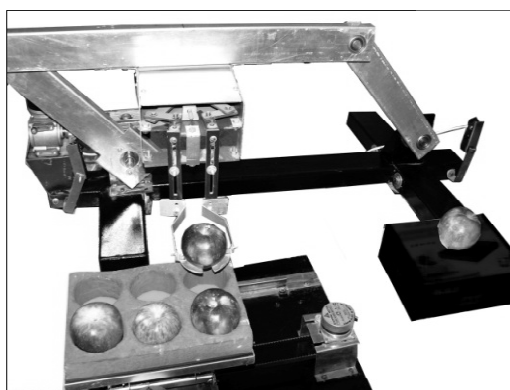
همچنین اگرچه گریپر قابلیت گرفتن میوه‌هایی تا قطر ۹ cm را دارد ولی عملکرد دستگاه برای میوه‌های کشیده و با قطر نزدیک به ۷ cm بهتر است. هر چه به وزن جعبه افزوده شود جابه‌جایی سینی از دقت نسبتاً کم تری برخوردار می‌شود، زیرا در هنگام قطع حرکت، به واسطه اینرسی بیش‌تر، جعبه تمایل بیشتری به ادامه حرکت داشته و لذا در موقعیتی متفاوت نسبت به موقعیت مطلوب توقف می‌کند. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمای کلی

با انجام این آزمایش مشخص شد که عملکرد این سامانه از نظر نحوه قرارگیری میوه‌ای مانند سیب درون جعبه می‌تواند از پارامترهایی چون قطر و شکل سیب متأثر شود و این دو پارامتر اثر متقابل معنی‌داری بر یکدیگر ندارند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، صرف نظر از شکل سیب، با افزایش قطر مقدار زاویه انحراف نسبت به راستای اولیه افزایش می‌یابد. علاوه بر این، صرف نظر از قطر سیب، بهترین عملکرد سامانه برای سیب‌های با شکل کشیده است؛ زیرا مقادیر میانگین زاویه‌های انحراف برای هر قطر از این شکل، در مقایسه با مقادیر مشابه دیگر شکل‌ها، کمتر است.

مشاهده عملکرد بازو و سینی در ارزیابی‌ها نشان داد که موقعیت سینی نسبت به بازو باید به گونه‌ای تنظیم شود که در هنگام رهاسازی میوه از سوی گریپر، فاصله عمودی مناسب بین انگشتی‌های گریپر و جعبه رعایت گردد. زیرا فاصله زیاد احتمال عدم قرارگیری صحیح میوه در محل خود را افزایش می‌دهد و از طرف دیگر، فاصله خیلی کم باعث برخورد انگشتی‌ها به دیگر میوه‌ها در هنگام باز شدن می‌شود.

سینی، می توان به صورت دقیق تر و سریع تر عمل برداشتن، گذاشتن و بارگیری را اجرا نمود.

اگر چه بخش کنترل و الکترونیک این دستگاه وظیفه خود را بخوبی انجام داد؛ ولی با انتخاب موتورهای الکتریکی مناسب تر، اضافه کردن بعضی از المان های الکترونیکی و انجام اصلاحاتی در نرم افزار سامانه کنترل، می توان عملکرد کنترلی را نیز بهبود بخشید.



شکل ۱۲- نمایی از دستگاه در موقعیت رها کردن میوه

### سپاس گذاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر تامین اعتبار مالی این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

دستگاه را بترتیب در موقعیت های برداشتن و رها کردن میوه نشان می دهند.

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله طراحی دستگاهی ارائه گردید که بتواند میوه های کروی به قطر  $5\text{ cm}$  تا  $9\text{ cm}$  را از نقطه ای مشخص به نقطه ای دیگر انتقال داده و درون یک جعبه قرار دهد. این دستگاه از سه قسمت گیر، بازو و سینی تشکیل شده است. عمل گرفتن و رها کردن میوه توسط گیر انجام می شود. مکانیزم بازو عمل انتقال گیر و میوه را بر عهده دارد.

از آنجا که مکانیزم گیر میوه را به صورت شکلی در بر می گیرد، به این معنی که با تشکیل حلقه ای، میوه درون حلقه جا گیر می شود، لذا می توان انتظار داشت که نسبت به روشی که در آن گیر میوه را با اعمال نیرو می گیرد آسیب کمتری به میوه وارد شود؛ اما جا دارد میزان آسیب وارده به میوه در هنگام رها شدن از گیر مورد بررسی قرار گیرد.

مکانیزم سینی را می توان به گونه ای تغییر داد که با استفاده از موتورهای DC به جای پله ای، علاوه بر ایجاد حرکتی روان تر، سرعت و دقت بیش تری در بارگیری جعبه ها داشته باشد. همچنین، با اعمال یک سامانه کنترل حلقه بسته برای محرک بازو و محرک های

### منابع

۱. زرکوب، ج.، ۱۳۷۹. اصول طراحی مکانیزم ها. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. چاپ دوم. ۴۳۷ ص
۲. عارفی، ر.، نحوی، ح. و همت، ع. ۱۳۸۵. طراحی و ساخت مکانیزم بردارنده و انتقال دهنده میوه های کروی شکل. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۰ (۳): ۱۸۵-۱۹۹.
3. Mohsenin, N.N. 1980. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, 742 p.
4. Simonton, W. 1991. Robotic end effector for handling greenhouse plant material. Transactions of the ASAE, 34(6): 2615-2621.

5. Ting, K.C., Giacomeli, G.A., and Shen, S.J. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings (parts I II). Transactions of the ASAE, 33(3): 1005-1017.