

## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه تنک‌کن محصولات ردیفی

منصور گل محمدی<sup>\*۱</sup> - شمس‌اله عبدالله پور<sup>۲</sup> - اصغر محمودی<sup>۳</sup> - سیدحسین فتاحی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۸

### چکیده

طراحی، ساخت و ترویج ادوات گوناگون در رابطه با مراحل مختلف کشاورزی در ایران از مسئولیت‌های مهم مهندسين ماشین‌های کشاورزی است. در بسیاری از محصولات ردیفی یکی از مراحل مهم داشت، تنک کردن می‌باشد. هدف از این تحقیق طراحی و ساخت دستگاه تنک‌کن محصولات ردیفی است که با بهره‌گیری از سیستم انتقال توان نیوماتیکی به‌طور تصادفی حذف بوته‌ها را انجام دهد. حذف بوته‌ها، با استفاده از اعمال نیرو توسط یک بازو و تیغه متصل به آن به‌صورت حرکت آونگی یا حرکت رفت و برگشتی، انجام می‌شود. بازو و تیغه متصل به آن توسط یک سیلندر به حرکت درمی‌آید. سیستم کنترل توسط مداری متشکل از رله‌ها و تایمر انجام می‌شود. سیلندر نیوماتیکی با اتصال به یک شیر سولونوئیدی؛ فرمان حرکت و حذف بوته‌ها را؛ توسط تیغه متصل به بازو، از سیستم کنترل الکتریکی دریافت می‌کند. دستگاه پس از ساخت، مورد ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفت. در مجموع ۹ آزمون در یک سطح سرعت و در سه سطح تراکم با استفاده از بوته‌های مصنوعی انجام شد. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل گردید. نتایج نشان می‌دهد که تراکم در حد مطلوب بهترین نتیجه را در تیمارهای مختلف دارد. وقتی فاصله بین بوته‌ها زیاد است، نتیجه تنک‌کاری مطلوب نیست. سایر موارد مؤثر بر عملکرد سیستم موجود عبارتند از: خاصیت تنظیم حساسیت حسگر، که می‌توان تا حدی برای تشخیص بوته‌های ضعیف از قوی، بر اساس اندازه برگ‌ها، استفاده کرد. چون بوته‌ها در یک زمان یکسان و با یک الگوی مشخص کاشته شده‌اند، احتمالاً بیشتر بوته‌ها، تا حدی اندازه یکسان دارند. عملکرد تنک‌کن، تابعی از خصوصیات بوته شامل شکل آن، آرایش و مرحله رشد در زمان تنک‌کاری و کارایی کنترل علف هرز است.

**واژه‌های کلیدی:** تنک کردن، سیستم نیوماتیک، کنترل الکتریکی، محصولات ردیفی، مجموعه تیغه و بازو

### مقدمه

هزینه‌های عملیات‌های مختلف کشاورزی را به‌خود اختصاص می‌دهد. در بین عملیات‌های گوناگون داشت بسیاری از محصولات ردیفی، عملیات تنک کردن یکی از مهمترین عملیات‌ها است که تأثیر مستقیمی بر عملکرد محصول و مقدار هزینه‌های داشت، دارد. براساس اعلام وزارت جهاد کشاورزی برای عملیات تنک‌کردن محصولات ردیفی مانند چغندر، پنبه و ذرت آبی به‌ترتیب ۳۳/۴۸، ۲۶/۳۶، ۲۲/۶۲ متوسط تعداد نفر روز کار در هر هکتار انجام می‌شود که متوسط هزینه عملیات تنک‌کردن برای این محصولات به‌ترتیب ۳۳۳۴۸۰۰، ۲۶۳۲۰۰۰، ۲۲۶۲۰۰۰ در هر هکتار است که درصد قابل توجهی از هزینه‌های عملیات داشت را به‌خود اختصاص می‌دهد (Statistical Letter, 2006). به‌همین دلیل طراحی و ساخت تنک‌کن محصولات ردیفی و کاربرد آن در سطح کلان از ضروریات بخشی از توسعه مکانیزاسیون کشاورزی کشورمان است. تحقیقات زیادی در ارتباط با طراحی و ساخت عملیات تنک‌کردن در کشور صورت نگرفته است. در ایران دستگاهی برای عملیات

در بسیاری از محصولات ردیفی یکی از مراحل مهم عملیات داشت، عملیات تنک‌کردن است (Khodabandeh, 1997). حذف بوته‌های اضافی در یک ردیف به‌منظور افزایش عملکرد محصول و اهداف دیگر را تنک‌کردن گویند که عملی وقت‌گیر و پرهزینه است. عملیات تنک‌کردن در کشور توسط کارگر و به‌وسیله دست انجام می‌شود (Behroozilar, 2000). طبق آمار رسمی به‌ازای هر هکتار محصولات ردیفی تنک‌شونده (مانند چغندر، پنبه، ذرت و...) (۶۲/۲۸) نفر کارگر نیازمند است. عملیات تنک‌کردن حدود (۲۴/۷) درصد

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات تهران

۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشیار، استادیار و دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز  
\* - نویسنده مسئول:

(Email: mansour.golmohammadi.2000@gmail.com)

یونیورسال کار کند. در این بین هزینه‌های تولید محصول و همچنین کارایی تنک‌کن برای تمام محصولات ردیفی مدنظر قرار گرفت.

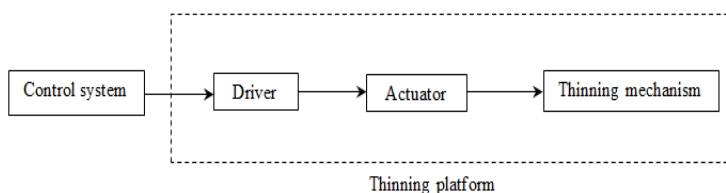
### مواد و روش‌ها

در شکل ۱ طرح کلی از دستگاه تنک‌کن ساخته شده نشان داده شده است که هر یک از بخش‌ها در ادامه توضیح داده می‌شود. مراحل طراحی سکوی تنک‌کن به این ترتیب است که ابتدا عملگر مناسبی با توجه به گزینه‌های موجود و اولویت‌های طرح، انتخاب و سپس کارانداز مناسب با این عملگر طراحی شد. در نهایت سازگاری برای مکانیزم تنک‌کن تعیین گردید.

یک روش جدید برای اعمال نیروی لازم در تنک‌کردن بوته، استفاده از نیروی هوای فشرده است. با استفاده از شیرهای الکتریکی به راحتی می‌توان حرکت یک جک نیوماتیکی را کنترل کرد. مزیت اصلی سیستم‌های نیوماتیکی سرعت عمل بالای آن‌ها می‌باشد. از طرفی هوا به‌عنوان فراوان‌ترین و قابل دسترس‌ترین ماده در کره خاکی می‌باشد. سیستم‌های نیوماتیکی به خاطر تغییر در فشار و سرعت جریان هوا می‌توانند در محدوده سرعت‌های مختلفی به کار گرفته شوند. پس از تعیین نوع عملگر، کارانداز مناسب آن نیز مشخص شد. خروجی سیستم کنترل به صورت پالس الکتریکی می‌باشد. برای کنترل یک حرکت مکانیکی توسط پالس الکتریکی می‌بایست از نیروی الکتریکی استفاده کرد. برای این کار از یک شیر الکتریکی (سولونوئیدی) بهره‌گرفته شد (Alavi, 2001). در دستگاه‌های مختلف موجود از سه روش کلی کف‌بری، صفحه‌ای و دوار برای حذف بوته‌های اضافی، استفاده شده است. مکانیزم تنک‌کن آونگی، نوعی از دوار می‌باشد. در این روش تیغه‌ها با سرعت عمود بر ردیف، حول محوری حرکت رفت و برگشت دارند و با رسیدن به ردیف با عمق کار مشخصی در خاک فرو رفته، عمل تنک را انجام می‌دهند. در عین حال در یک حرکت رفت و برگشت دو بار عمل تنک انجام می‌گیرد که باعث افزایش عملکرد سکوی تنک‌کن می‌شود. در روش‌های معمول طراحی تیغه‌های درگیر با خاک، از نیروی بحرانی در اثر برخورد آن با موانعی همچون سنگ و کلوخ‌های بزرگ در نظر گرفته می‌شود که چندین برابر نیروی ناشی از کار معمولی تیغه می‌باشد.

تنک‌کردن ارائه شد که یک واحد آزمایشگاهی از آن ساخته شد و در آزمایشگاه به حذف بوته‌های مصنوعی پرداخت. عملیات تنک‌کردن براساس حس کردن بوته‌ها و فرمان برای حذف بوته‌ها انجام شد تا به فاصله مناسب بین بوته‌ها منجر گردد. به طوری که در پایان آزمایش، ردیفی از بوته‌ها با فاصله مطلوب باقی مانده بود. سیستم حذف بوته‌ها به صورت چرخ دوار و انتقال توان و انتقال نیرو به صورت مکانیکی انجام می‌شد (Sarami, 2001). اولین دستگاه تنک‌کن مکانیکی دارای یک چرخ دوار و محرک بود که شاسی بر روی آن قرار داشت و عملیات حذف بوته توسط دو بازو انجام می‌شد که در هنگام نزدیک شدن به بوته توسط یک صفحه بادامک‌دار درگیر می‌کرد و بوته‌ها از روی ردیف کنده می‌شدند. این دستگاه توسط یک کارگر هل داده و انتقال توان از چرخ حامل و محرک که بر روی ردیف حرکت می‌کرد، انجام می‌گرفت (Chamelcher, 1940). در سال ۱۹۵۸ دستگاهی ساخته شد که به صورت تصادفی و با حذف بوته‌ها از روی ردیف توسط تیغه‌های دوار در صفحه افقی انجام می‌شد و بوته‌های بریده شده توسط جریان باد ایجاد شده توسط یک فن در بالای تیغه‌ها به کنار ردیف پرتاب می‌گردید (Balkus et al., 1958). طی این سال‌ها دستگاه‌های تنک‌کن گوناگون مختلفی طراحی و ساخته شد که همگی به‌طور کل به روش مکانیکی عملیات حذف بوته و تنک‌کاری را انجام می‌دادند (Herbon et al. 2004).

برای تنک‌کردن لفل فلز قرمز طرحی ارائه شد که با استفاده از تشخیص بوته سالم از ناسالم و علف‌های هرز، آن را از روی ردیف حذف می‌کرد. سیستم تشخیص بوته‌ها، توسط حسگرهای فوتوالکترونیک صورت می‌گرفت که بعد از انتقال سیگنال به یک سیستم کنترل (PLC) فرمان حذف بوته‌ها را به سیستم مکانیکی دستگاه صادر می‌کرد (Eaton et al., 2004). برای تنک‌کردن انتخابی گیاه در سال ۲۰۰۷ تنک‌کنی ساخته شد که قادر است با سرعت ۳/۵ mph عملیات حذف بوته‌ها را انجام دهد. این دستگاه با استفاده از روش ماشین بینایی و دوربین آن که در نزدیکی بوته قرار دارد، بوته‌ها را تشخیص می‌دهد. سیستم کنترل قابل برنامه‌دهی بوده و یک صفحه نمایش لمسی می‌تواند تغییرات لازم برای فاکتورهای مختلف تنک‌کردن توسط اپراتور را آسان کند. تغییر فاصله تنک‌کردن، تشخیص فاصله ردیف‌ها و قطر ساقه بوته‌ها از قابلیت این دستگاه است (Jin et al., 2009). هدف از این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی تنک‌کن بومی برای محصولات ردیفی است که به صورت



شکل ۱- طرح کلی از دستگاه تنک کن ساخته شده

Fig.1. Overall design of the manufactured thinner machine

به عبارتی زاویه  $\delta = 90^0$  و  $\beta = 0^0$  خواهد شد. و مساحت شکست با احتساب  $\beta = 0^0$  نیز با تقریب به صورت زیر در خواهد آمد:

$$A_1 = b * l \quad (2)$$

تعیین مقادیر پارامترهای خاک در روابط محاسبه نیروی تیغه، ابتدا لازم است وضعیت و عمق کار در هنگام عملیات تنک کاری مشخص گردد. این شرایط عبارتند از: الف) برای اطمینان کامل از تنک شدن بوته، تیغه می بایست دست کم در عمق ۶ میلی متری خاک بر روی پشته عمل کند (Shafii, 1992). ب) شرایط رطوبتی خاک در هنگام عملیات تنک کاری در حد ظرفیت مزرعه ای می باشد (گاورو بودن) (Mansouri-rad, 2003). پ) تیغه در هنگام تنک کاری بر روی خاکی کار می کند که قبل از آن عملیات خاکورزی اولیه و ثانویه بر روی آن اجرا شده است. برای محاسبه سرعت تیغه و بازوی پیستون، ابتدا فاکتورهایی مشخص شد. براساس معادلات موجود در حرکت پاندولی (آونگی) یک جسم، می توان معادله سرعت آن را به صورت رابطه (۳) نوشت (شکل ۳):

$$V_p = A \omega \cos(\omega \times t) \quad (3)$$

در رابطه (۳)؛  $V_p$  سرعت آونگ ( $m s^{-1}$ )،  $A$  دامنه نوسان ( $m$ )،  $\theta$  زاویه بین دو انتهای حرکت آونگ ( $Rad$ )،  $\omega$  سرعت زاویه ای آونگ ( $Rad s^{-1}$ )،  $R$  شعاع بازوی نوسان ( $m$ ) می باشد. با معلوم بودن  $\theta$  می توان مقدار  $A$  را به دست آورد. برای تعیین سرعت و مقدار طول میل پیستون نیز از نسبت های موجود در روابط (۴) و (۵) استفاده شد:

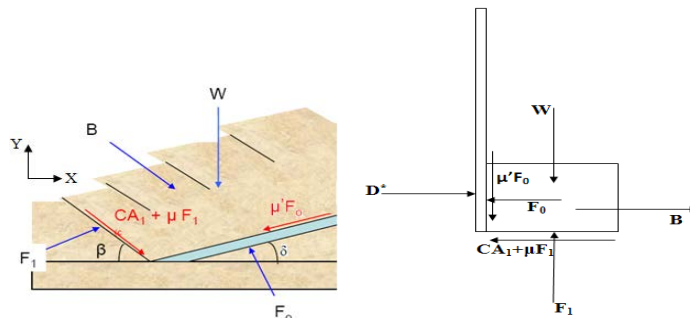
$$\frac{R'}{R} = \frac{L'}{L} \quad (4)$$

$$\frac{R'}{R} = \frac{V_{P \max}}{V_{P \max}} \quad (5)$$

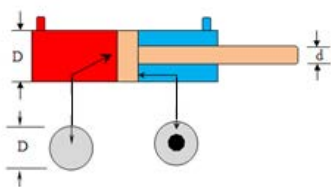
تنک کن آونگی نیوماتیکی، به سیستم ایمنی مجهز است که تیغه مکانیزم برش را در برابر موانع محافظت می نماید. به همین دلیل برای محاسبات طراحی در این دستگاه، فقط حداکثر نیرو برای کار معمولی تیغه یعنی برش خاک و کندن بوته در نظر گرفته شده است. برای محاسبه نیرو نیز از یک مدل بهینه برای ابزارهای خاکورزی که توسط زوئنه ارائه شد، استفاده شده است (Srivastava et al., 2006). رابطه حداکثر نیروی وارد بر تیغه در این مدل از رابطه (۱) به دست می آید:

$$D = \frac{w}{z} + \frac{(CA_2 + B)}{z (\sin \beta + \mu \sin \beta)} \quad (1)$$

که در آن  $D$  مؤلفه افقی کشش منهای مقاومت به برش خاک ( $N$ )،  $W$  وزن خاک،  $b$  عرض تیغه ( $m$ )،  $F_1$  نیروی عمود بر سطح شکست جلویی ( $N$ )،  $\mu$  ضریب اصطکاک داخلی خاک (بدون بعد)،  $\beta$  زاویه سطح شکست جلویی (درجه)،  $B$  نیروی شتاب خاک ( $N$ )،  $\gamma$  وزن مخصوص تر خاک ( $N m^{-3}$ )،  $A_1$  مساحت سطح شکست جلویی ( $m^2$ )،  $C$  چسبندگی خاک ( $Pa$ )،  $Z$  ثابت در رابطه (بدون بعد)،  $\delta$  زاویه تمایل تیغه با افق (درجه)،  $\mu'$  ضریب اصطکاک خاک با فلز (درجه)،  $d$  عمق کار ابزار ( $m$ ) است. شکل ۲ نمای جانبی جسم آزاد خاک در واکنش به نیروی اعمالی از طرف ابزار را نشان می دهد. نیروهای ( $CA_1$ ) مربوط به شکست خاک و ( $\mu F_1$ ) مربوط به نیروی اصطکاک لایه ها در هنگام لغزیدن روی هم، ( $\mu' F_0$ ) نیروی ناشی از اصطکاک خاک روی فلز و ( $B$ ) مربوط به نیروی شتاب (نیروی اینرسی) خاک است. به نظر می رسد که اگر مسأله به این حالت ساده تعمیم داده شود، مدلی دقیق تر به دست خواهد آمد، چرا که روابط فوق برای ابزاری نظیر گاواهن های برگردان دار و ابزار مشابه مناسب هستند. لذا با در نظر گرفتن مکعبی از خاک در جلوی تیغه، به اندازه عمق کار و دیگر مشخصات فیزیکی تیغه، مدل به صورت شکل ۲ (سمت چپ) در می آید. وزن خاک نیز بعد از ساده سازی حالت خاک، محاسبه می شود. شرایط جدید در رابطه با مدل خاک تغییرات جزئی را نیز به همراه دارد.



شکل ۲- نیروهای واکنشی بین خاک و ابزار و پروفایل تغییر یافته (سمت راست) و بهینه شده برای مقطع خاک (سمت چپ)  
 Fig.2. Reaction forces between soil and tools and modified (Right) and optimized (left) profile for soil section



شکل ۴- مقطع یک سیلندر دو طرفه  
 Fig.4. Section of two way cylinder

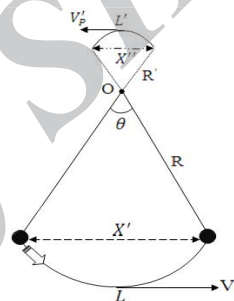
مقدار هوای فشرده لازم برای حرکت سیلندر از رابطه (۶) به دست می‌آید (Mohtasebi, 2003):

$$Q = \pi \times \left( \frac{2D^2 - d^2}{4} \right) \times L \times n \times \left( \frac{P - P_0}{P_0} \right) \quad (6)$$

که در آن، Q مقدار هوای لازم برای حرکت رفت و برگشت سیلندر در هر دقیقه ( $m^3 \min^{-1}$ )، D: قطر پیستون (m)، d قطر میل پیستون (m)، P فشار ورودی ( $N m^{-2}$ )، L طول پیمایش میل پیستون (m)، n تعداد سیکل‌ها در هر دقیقه،  $P_0$  فشار اتمسفر (bar)،  $P_1$  فشار ورودی به سیلندر (bar) است.

**سوپاپ‌های نیوماتیک:** سوپاپ‌های (شیرهای) یک یا چند راهه در سیستم نیوماتیک وظایف مختلفی را برعهده دارند و به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند که هر کدام کنترل متفاوتی را در انتقال هوای فشرده انجام می‌دهند. این کنترل‌ها شامل سوپاپ جهت، فشار و جریان می‌باشد. سوپاپ کنترل جهت در دریافت پیام‌های بیرونی، مسیر جریان هوا را به بخش مشخصی از مدار، تغییر، متوقف یا متصل می‌کند. سوپاپ از نوع سولونوئیدی استفاده شده است. سوپاپ‌های کنترل فشار به منظور کنترل فشار در قسمت‌های مختلف سیستم و افزایش ضریب ایمنی دستگاه و نیز در هنگام افزایش فشار بیش از فشار مجاز آن، بتواند از صدمه دیدن دستگاه و اجزاء آن ممانعت کند. استفاده از سوپاپ‌ها یا شیرهای کنترل مقدار جریان، برای تنظیم

$L =$  طول کمانی که میل پیستون آن را طی می‌کند.



شکل ۳- دیاگرام آزاد آونگ  
 Fig.3. Free diagram of pendulum

اندازه R و  $R'$  بر اساس اندازه‌های دستگاه‌های مشابه کشاورزی تعیین شد که متغیر اول مربوط به ارتفاع زیر شاسی دستگاه تا عمق کار آن، و متغیر دوم نیز اندازه روی دستگاه تا محل اتصال به بازوی پیستون سیلندر نیوماتیکی است (Shigley, 2008). هر سیستم نیوماتیک شامل بخش‌های مختلف است که بر حسب نیاز، طراح از آن استفاده می‌کند. هر سیستم نیوماتیکی به‌طور معمول شامل عملگر نیوماتیکی، سوپاپ‌ها، واحد مراقبت، اتصالات و شیلنگ‌های انتقال هوای فشرده، تولید و توزیع هوای فشرده و مخزن هوای فشرده (انباره) می‌باشد (Andrew, 1998). از عملگرهای بادی برای تبدیل انرژی هوای فشرده به کار مکانیکی استفاده شد. چون که حرکت رفت و برگشت با یک نیروی متوسط لازم است، از جک دو طرفه بهره گرفته شد. به سبب تفاوت سطح مؤثر پیستون و پشت پیستون، نیروی کاری بر سر پیستون در فشار ثابت هوای منبع تغذیه، بیش از نیروی وارده بر پشت پیستون است (شکل ۴).

شکل از روش تحلیل براساس جداول استاندارد لوله‌های فولادی استفاده شد. همانطور که اشاره شد نیروی وارد بر تیغه باعث ایجاد گشتاور خمشی در بازو می‌شود. حداکثر گشتاور خمشی بازو در محل اتصال جوش به قطعه U شکل می‌باشد. طول بازوی گشتاور تا این نقطه برابر ۴۸ سانتی متر است. گشتاور خمشی معادل برابر است با:

$$M = \frac{1}{2} (M_b + \sqrt{M_b^2 + M_t^2}) \quad (7)$$

که در آن؛ M گشتاور خمشی معادل  $(N m^2)$ ،  $M_b$  گشتاور خمشی  $(N m^2)$ ،  $M_t$  گشتاور پیچشی  $(N m^2)$  است. مقدار ضریب مقطع (Z) یک لوله از رابطه (۸) تعیین می‌شود:

$$Z = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (8)$$

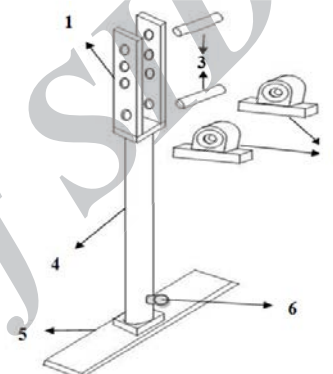
که در آن؛ Z ضریب مقطع (MPa)، D قطر بزرگ مقطع لوله‌ای شکل (m)، d قطر کوچک مقطع لوله‌ای شکل (m) می‌باشد. در این حالت در مقابل یک معادله، دو مجهول (قطر داخلی و خارجی) وجود دارد، بنابراین با مراجعه به جدول لوله‌های استاندارد (ASTM)، قطر لوله‌ها استخراج می‌شود (ASTM, 1998).

#### طراحی مدار کنترل الکتریکی دستگاه: در این پروژه برای

کنترل شیر سولونوئیدی سیستم نیوماتیک، نیاز به مدار کنترل الکتریکی است که خواسته‌های طراح با آن برآورده شود. با توجه به عملکرد شیر سولونوئیدی و نحوه کار آن در دستگاه، باید مداری باشد که فرمان قطع و وصل هر یک از بوبین‌های شیر را در زمان پیش‌بینی شده صادر کند. با مطالعه و تحقیق در مورد مدارهای مختلف که نقش کنترل‌کننده در یک دستگاه را دارند، مدار کنترل تایمر دو زمانه انتخاب شد (شکل ۶). برای نشان دادن دوگانه مدار از دو LED استفاده شده است. این LED ها متناسب با حالت ON و OFF آبی‌ها، روشن و خاموش می‌شوند.

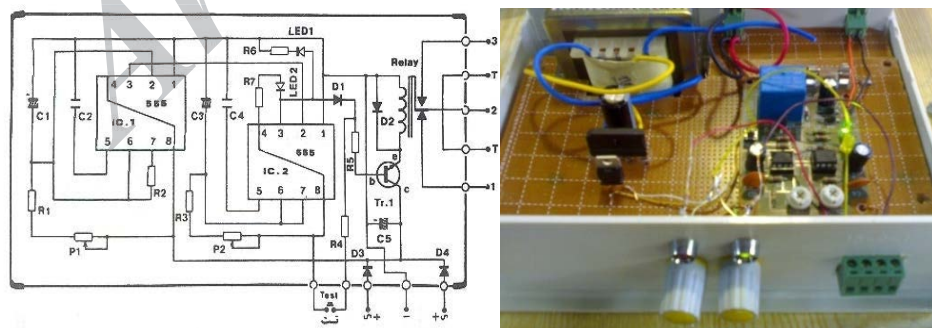
ورودی (کنترل جریان ورودی) یا خروجی (کنترل جریان خروجی) یک محرک، می‌توان سرعت آن را کنترل کرد.

**طراحی مجموعه بازوی تیغه:** قسمتی از دستگاه که مجموعه تیغه نامیده شده، در شکل ۵ آورده شده است. این مجموعه شامل دو قسمت اصلی است: تیغه (۵) و بازوی تیغه (۴). تیغه به وسیله یک زائده متصل به آن (۶) در درون بازوی توخالی پیچ می‌شود. بازو (۴) نیز از یک میله لوله‌ای شکل و قطعه U شکل ۱ در بالای آن تشکیل شده است. بر روی قطعه U شکل سوراخ‌هایی وجود دارد که یکی برای قرارگیری بر روی بین یا تاقان‌ها (۳) و سوراخ‌های دیگر برای اتصال لولایی یوغ سر بازوی پیستون به آن وجود دارد. کل مجموعه بازوی تیغه بر روی پین دو پاناقان (۲) حرکت می‌کنند.

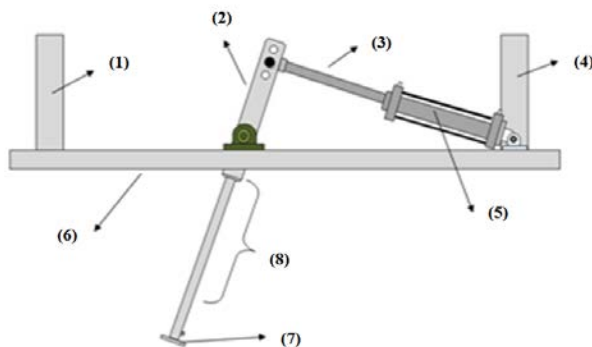


شکل ۵- شماتیکی از "مجموعه تیغه" و اجزای آن  
Fig.5. Schematic of blade set and its components

**طراحی بازوی تیغه:** در این مقطع دو نوع تنش برشی و خمشی وجود دارد که اولی حاصل نیروی برشی در مقطع تیغه و دومی به علت حضور گشتاور خمشی است. برای طراحی بازو با مقطع لوله‌ای



شکل ۶- مدار کنترل تایمر دو زمانه و نقشه کامل آن  
Fig.6. Two-stroke timer control circuit and its complete plot



**شکل ۷-** اجزای تنک‌کن: (۱) محل اتصال سیستم کنترل، (۲) قطعه U-شکل، (۳) بازوی سیلندر نیوماتیک، (۴) محل اتصال شیر نیوماتیک، (۵) سیلندر نیوماتیک، (۶) شاسی، (۷) تیغه‌ی تنک‌کن، (۸) بازو

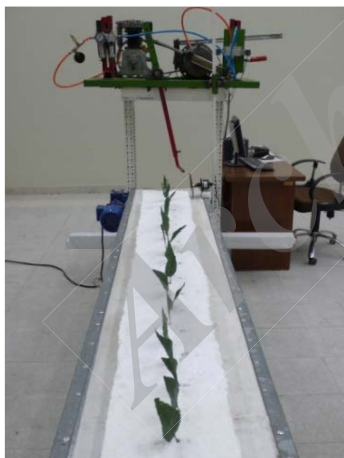
**Fig.7.** Thinner components: 1) Junction control system; 2) U-shape piece; 3) Arm of pneumatic cylinder; 4) Junction pneumatic valve; 5) Pneumatic cylinder; 6) chassis; 7) Thinner blade; 8) Arm

شد. به همین دلیل از مشابه صنعتی آن استفاده گردید. معیار کاری برای سنجش بهترین عملکرد در آزمایش‌ها کمترین میزان انحراف از تراکم مطلوب بهینه خواهد بود، و هرچه این انحراف کمتر باشد، بهترین عملکرد در آن تیمار اتفاق افتاده است. آزمون‌های عملکرد دستگاه در سرعت پیشروی  $0.4$  متر بر ثانیه و در سه تراکم (سه تیمار) با توزیع بوته‌ها به فاصله  $6/66$ ،  $10$  و  $13/33$  سانتی‌متر با سه تکرار انجام شدند (شکل ۸).

**انتخاب و نصب:** با استفاده از روابط ذکر شده فاکتورهای مختلف طراحی محاسبه می‌شود و همچنین نحوه انتخاب و نصب قطعات دستگاه بیان می‌گردد. شکل ۷ اجزای دستگاه را نشان می‌دهد. مکانیزم اتصال سوار به علت اتصال واحد با وسیله کشنده دستگاه و استفاده از مکانیزم عمق ثابت بر اساس جداول استاندارد آمریکا (ASAE, 2005)، استاندارد ملی ایران (ISIRI, 2004) و استاندارد بین‌المللی (ISO, 1990) انتخاب شد.

#### تست آزمایشگاهی دستگاه

برای ارزیابی مجموعه ساخته‌شده، از آزمون آزمایشگاهی به شرح زیر بهره گرفته شد. تجهیزات مورد نیاز تسمه نقاله و قاب حامل می‌باشد. قاب حامل، قابی است که تراکم‌های مختلف را می‌توان با نصب بوته‌ها با فاصله‌های معین روی آن ایجاد کرد. این مجموعه روی تسمه نقاله قرار گرفته و با سرعت‌های متفاوت به سمت واحد تنک‌کن ساخته‌شده حرکت می‌کند. برای تنظیم سرعت پیشروی (سرعت تسمه نقاله) از یک انکودر استفاده شد. مجموعه ساخته‌شده در نقطه‌ای خاص تثبیت می‌گردد. توان لازم کمپرسور از طریق یک الکتروموتور با توان ۳ اسب بخار تأمین شد. در آزمایشگاه، تعیین تعداد پالس‌های (حرکت رفت و برگشت سیلندر نیوماتیکی) خروجی، پاسخ زمانی دستگاه به فرمان سیستم الکتریکی، اندازه‌گیری تقریبی سیکل نوسان سیلندر، ارتعاش دستگاه به صورت عینی و به طور کل عملکرد بهینه تمام بخش‌های دستگاه منطبق با نتایج تئوری مورد ارزیابی قرار گرفت. در تمام موارد به غیر از سیستم کنترل الکتریکی (تایمر دو زمانه) به صورت مطلوب کار کردند. به علت ساخت مدل آزمایشگاهی سیستم کنترل، معایب ساخت مانند لحیم کاری کافی، ارتباط قطعات با سیم در برد مدار و غیره باعث بروز خطا در کار بهینه سیستم کنترل



**شکل ۸-** دستگاه تنک‌کن تثبیت شده، تسمه نقاله و قاب حامل

شامل بوته‌های مصنوعی

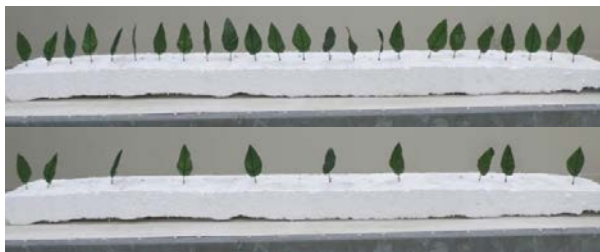
**Fig.8.** Thinner devices stabilized and the conveyor belt carrying frame containing artificial plants

#### نتایج و بحث

در مجموع، ۹ آزمون (۳ تکرار تنک‌کاری تصادفی در هر تراکم)

نسبت تراکم پس از یک بار عبور ماشین تنک کن، به صورت نسبت تعداد بوته در واحد طول بعد از عبور ماشین به تعداد بوته در واحد طول قبل از عبور ماشین محاسبه می شود.

انجام شد. در شکل ۹، ردیفی از بوته ها با تراکم ۲۴ بوته در هر ۱۶۰ سانتی متر، قبل و بعد از تنک کاری نشان داده شده اند. سطوح تراکم بوته ها مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۹- ردیفی از بوته های مصنوعی با تراکم ۲۴ بوته در هر ۱۶۰ سانتی متر، (بالا) قبل از تنک کاری و (پایین) بعد از تنک کاری

Fig.9. Artificial plants with density of 14 plants per meter, (above) before thinning work, and (bottom) after thinning work

جدول ۱- سطوح تراکم بوته ها

Table1- Levels of plant density

فاصله بین بوته ها (سانتی متر)	تراکم بوته ها (تعداد بوته در هر ۱۶۰ سانتی متر)	تیمار
Distance of plants (cm)	Plants density (number per 160 cm)	Treatment
6.66	24	1
10	16	2
13.33	12	3

جدول ۲- نسبت تراکم مطلوب در هر تیمار تراکم

Table2- Optimum density ratio in each density treatment

نسبت تراکم مطلوب	تعداد بوته بعد از تنک کاری	تعداد بوته قبل از تنک کاری	تیمار
Optimum density ratio	Number of plants after thinning	Number of plants before thinning	Treatment
0.33	8	24	1
0.5	8	16	2
0.42	5	12	3

جدول ۳- تحلیل نسبت های تراکم به دست آمده در تنک کاری

Table3- Density ratios obtained in the analysis of thinning

درجه آزادی	t	Sig	انحراف استاندارد از نسبت تراکم مطلوب	میانگین نسبت تراکم	تیمار
Degrees of freedom			Standard deviation from the optimum density ratio	The average density ratio	Treatment
2	-1	0.423	0.023	0.31	1
2	-9.5	0.011	0.0346	0.31	2
2	-5.3	0.033	0.046	0.35	3

با توجه به روش بیان شده برای تعیین تراکم مطلوب، مقدار تراکم های مطلوب برای هر تیمار در حالت کار مناسب تنک کن آورده شده است. معیار بررسی و ارزیابی کارایی دستگاه تنک کن در حالت کار واقعی، مقدار انحراف از مقدار تراکم مطلوب (حالت غیر واقعی و ایده آل دستگاه) خواهد بود و هر چه میزان انحراف داده های واقعی تراکم کم باشد به عنوان بهینه تیمار گزارش می شود. بعد از به دست آوردن تراکم مطلوب، آزمایش ها در حالت واقعی در

روش کار به این صورت است که طول تیغه ی تنک کن در ۲۰ سانتی متر تنظیم شده است (فاصله ی دو بوته ی باقیمانده ۲۰ سانتی متر خواهد بود) پس در تنک کاری با ماندن بوته اول در روی ردیف، در ۲۰ سانتی متر بعدی بوته ها تنک شده و در انتهای ۲۰ سانتی متر، بوته ی بعدی باقی خواهد ماند و دوباره ۲۰ سانتی متر بعدی تنک شده و در انتهای آن بوته باقی خواهد ماند (متناسب با فاصله بوته ها در روی ردیف، احتمال نبودن بوته هم وجود دارد). در جدول ۲

نیز از ضربه‌گیرهای پلاستیکی در زیر اجزای نصب شده روی شاسی می‌توان استفاده کرد. سایر موارد مؤثر بر عملکرد سیستم موجود عبارتند از خاصیت تنظیم حساسیت حسگر که می‌توان تا حدی برای تشخیص بوته‌های ضعیف از قوی، بر اساس اندازه و وسعت برگ‌ها، استفاده کرد. چون بوته‌ها در یک زمان یکسان و با یک الگوی مشخص کاشته شده‌اند، احتمالاً بیشتر بوته‌ها، تا حدی اندازه یکسان دارند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق ساخت تنک‌کن تصادفی مدنظر قرار گرفت. تنک‌کن شامل سیستم پنوماتیک برای نیرودهی سیلندر و یک بازو برای حذف گیاهان روی ردیف می‌باشد. بررسی عملکرد دستگاه با توجه به تراکم بوته در ردیف‌ها انجام شد و نتایج حاکی از عملکرد مطلوب دستگاه روی ردیف‌هایی است که تعداد بذر بیشتری در واحد طول روی آن کاشته شده است. در تنک‌کاری، خروجی سیستم، توزیع فاصله نهایی بین بوته‌هاست. این خروجی بستگی به ورودی‌های سیستم دارد که عبارتند از پارامترهای مربوط به وضعیت اولیه بوته‌ها که خود تابعی از میزان جوانه‌زنی، فاصله بذرها و درصد چندین بذر است و حذف بوته که وابسته به طول تیغه و زمان پاسخ کارانداز می‌باشد. عوامل مؤثر بر هر یک از پارامترهای ذکر شده در بالا، بر نحوه کار تنک‌کن تأثیر می‌گذارند. دلایل احتمالی مؤثر بر عملکرد تنک‌کن تصادفی در آزمون‌های انجام شده، می‌توانند به شرح زیر باشند: عدم تنظیم دقیق انکودر روی چرخ مربوطه و سرش آن چرخ و در نتیجه اختلاف میزان پیشروی بر اساس تعداد پالس با پیشروی واقعی محلی از بوته که تیغه با آن برخورد می‌کند. این محل می‌تواند ساقه اصلی (بهترین حالت) یا برگ‌های بوته باشد. در شرایط آزمایشگاهی موجود، در بعضی موارد، تیغه با سطحی ناچیز از برگ تماس پیدا می‌کرد که در نتیجه، توانایی حذف آن را نداشت. در عمل، این مشکل می‌تواند بر اثر پستی و بلندی‌های زمین تشدید شود. برای رفع آن، از یک چرخ میزان در کنار هر مجموعه تیغه و بازو استفاده شد. این چرخ روی ردیف حرکت می‌کند و عمق برش تیغه را همواره متناسب با ارتفاع ردیف در هر نقطه، ثابت نگه می‌دارد.

### پیشنهادات

۱- در کنترل الکتریکی دستگاه می‌توان از سیستم‌های تشخیص بوته برای تنک کردن استفاده کرد. لذا با اضافه کردن یک سنسور مناسب برای تفریق میان بوته و مواد خارجی دیگر در مزرعه، در کار تنک کاری دقت را افزایش داد.

تیمارهای مذکور انجام شد و تراکم‌ها با شمارش بوته‌های باقیمانده در هر تیمار تعیین شدند. با استفاده از تحلیل پارامتری تک-عاملی میانگین نسبت تراکم‌های به‌دست آمده در آزمایش‌ها با تنک‌کن، در نرم‌افزار SPSS، نتایج زیر به‌دست آمدند (جدول ۳). این نتایج با تراکم‌های مطلوب محاسبه‌شده در حالت کار ایده‌آل دستگاه مورد مقایسه قرار گرفتند تا کمترین انحراف از تراکم مطلوب به‌عنوان بهترین تیمار گزارش شود. در نرم‌افزار SPSS، اگر مقدار Sig (معنی‌داری) کمتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر با احتمال ۹۵ درصد رد می‌شود و اگر مقدار Sig کمتر از ۰/۰۱ باشد، فرض صفر با احتمال ۹۹ درصد رد می‌شود. در این بین غیر از تیمار اول، دو تیمار دوم و سوم در احتمال ۹۵ درصد قرار می‌گیرد، بنابراین وقتی مقدار (تیمار دو و سه) یعنی سطح معنی‌داری برابر ۰/۰۵ باشد، فاصله اطمینان ۰/۹۵ می‌شود و بنابراین تیمارهای ۲ و ۳ از نظر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد قرار نمی‌گیرند و فقط تیمار ۱ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

در جدول ۳ دیده می‌شود که در سطح تراکم بالا (تیمار ۱) عملکرد تنک‌کن براساس پیشروی دستگاه، رضایت‌بخش است و میانگین نسبت تراکم به‌دست‌آمده، بسیار نزدیک به نسبت تراکم مطلوب می‌باشد. ولی وقتی فاصله بین بوته‌ها زیاد است، نتیجه تنک‌کاری مطلوب نیست.

تراکم نهایی بعد از تنک‌کردن، به تراکم اولیه ردیف بستگی دارد. برای مثال، در مورد بوته‌هایی که با فاصله ۱۵ سانتی‌متر کاشته شده‌اند، حصول فاصله نهایی ۲۰ سانتی‌متر غیرممکن است. برای راستی‌آزمایی دستگاه در حین عملکرد در آزمایشگاه بر روی بوته‌های مصنوعی، می‌توان نشان داد که هر چه تراکم بین بوته‌ها (متناسب با فاصله بوته‌هاست) بیشتر شد؛ میانگین تراکم آن‌ها که در محدوده نزدیکی از هم قرار دارد، تغییر آن چنانی نمی‌کند. به‌عبارت دیگر سیستم حذف بوته کار خود را با کمترین تأخیر زمانی انجام داده است و پاسخ زمانی در حد مطلوب می‌باشد.

عملکرد تنک‌کن، تابعی از خصوصیات بوته شامل شکل آن، آرایش و مرحله رشد در زمان تنک‌کاری و کارایی کنترل علف هرز است که در شرایط آزمایش لحاظ نشده است ولی برای اثبات این امر، دستگاه باید در شرایط واقعی مزرعه کار کند. نتایج تست آزمایشگاهی فقط حاکی از کارکرد مطلوب دستگاه در رسیدن به تراکم مطلوب می‌باشد. ولی با توجه به کارکرد آن و نتایج، می‌توان گفت که در حالت مزرعه‌ای هم بتواند کاربرد مفیدی داشته باشد.

قابل ذکر است که لرزش دستگاه به هنگام اتصال به تراکتور (شکل ۹) قابل چشم‌پوشی است و تأثیری در عملکرد دستگاه ندارد. چون دستگاه به‌صورت نیمه سوار طراحی شده است و شناوری و فشار بر روی چرخ‌های زمین گرد عقب که پیش بینی شده و نصب گردید. از طرفی برای حداقل رساندن ارتعاش ایجاد شده ناشی از کمپرسور





شکل ۹- تصویری از دستگاه ساخته شده

Fig.9. Picture of the manufactured device

### منابع

1. Alavi Tabrizi, S. P., 2001. Power pneumatic (translate). University of Tabriz publication. (In Farsi).
2. Andrew, P., 1998, Hydraulics and Pneumatics, 2th Edition, Butter Worth, Elsevier Advanced Technology.
3. ASAE, 2005. Standard EP291.2 Terminology and Definitions for Spoil Tillage and Soil-Tool Relationships.
4. ASTM, 1998. A 53, Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded, and ... D 1587.
5. Balkus, C. E., and J. P. Bulkus. 1958. Plant Thinning Machine, United States Patent, Patent No. 82,647,048.
6. Behroozilar, M., 2000. Principle of farm machinery (translate). University of Tehran publication. (In Farsi).
7. Chamelcher, 1940, Agriculture Machines, Kolos Publisher, Moscow.
8. Eaton, W. and R. Herbon. 2004. NMSU Crop Thinning Project, College of Agriculture And Home Economic, New Mexico, USA, Research Report No. 23.
9. Herbon, R., and R. Pennock. 2004, Chile Thinner Testing, NMSU Crop Thinning Project, College of Agriculture and Home Economic, New Mexico, USA.
10. ISIRI standard 10486-1. 2004. Agricultural tractors and machinery – power take- off drive shafts and Power input connection. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Karaj. (In Farsi).
11. ISO. 1990. International Standard, ISO 9193, Lawn and garden ride-in (riding) tractor-Power-Take-Off, International Standard of Organization.
12. Jin. Jian, and Tang. Lie. 2009. Corn plant sensing using real-time stereo vision, Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University Ames, Iowa 50011.
13. Khodabandeh, N. 1997. Farming of industrial crops .University of Tehran publication. (In Farsi).
14. Mansouri-rad, A. 2003. Farm machinery. Second Edition. University of Hamadan bu-ali publication. (In Farsi).
15. Mohtasebi, S. S., and M. Behroozilar, 2003. Principle of pneumatic machines (translate). University of azad publication. (In Farsi).
16. Sarami, Sh., 2001. Design and construction of row crop thinning machine. Faculty of Agriculture. University of Tarbiyat modarres. (In Farsi).
17. Shafii, S. A., 1992. Principle of agricultural machines (translate). University of Tehran publication. (In Farsi).
18. Shigley, 2008. Mechanical Engineering Design, Eight Edition, McGraw-Hill publication.
19. Srivastava, A. K., C. E.Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2ndEdition.ASAE Publication 801M0206.
20. Statistical letter of Agricultural Jihad Ministry. 2007. Annual Report. Agricultural ministry of Islamic Republic of Iran. (In Farsi).