

Design, fabrication and evaluation of a single-row rotary paddy weeder

S.J.r Hashemi^{*1}, R. Hadipour rokni² and M. Khoshdel³

1. Associate professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran.
2. Master Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran.
3. Master Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran.

Received: 7 May 2019

Accepted: 29 January 2020

Abstract

Introduction Weeds are plants that grow in the wrong place at the wrong time with harmful effects for crops. Since weeds compete with the crop for nutrient and light, they reduce crop yield. Weed management is a strategy that makes a desired plant population successful in a particular agro-ecosystem using knowledge of the ecology of the undesired plants. Recently, several ways of controlling weeds have been used by farmers manually, chemically, mechanically or biologically. The earliest and the simplest weed control method is manual weed control. However, the most effective method of weed management takes place by physical contact with the weeds using mechanical weed control machine to reduce the chemical pesticides in mechanized paddy field. This method is among the most important ways in achieving sustainable agriculture development. The disadvantages for the present weeding machines, which include inefficiencies in different farm conditions and the lack of cost-effective purchasing options for petty landowners. Therefore, to increase weeding operation quality, the new weeding machine was designed and manufactured: a single-row rotary weeder. Using solid work software, the weeding unit has the ability to mount on the portable weed cutting machine, which is fitted for uplands.

Materials and Methods The weeding machine has various parts including gasoline engine, final drive gearbox, power transmission shaft, and weeding unit. The weeding unit consists of chassis, power transfer shaft, propeller, plastic skateboard and protective frame. The weeding propeller, with diameter of 22 cm, has two blades and the rotary shaft passes through it. To determine maximum torque, a total of 9 samples were selected from different areas of paddy field with high weed density, and then measured. The maximum propeller torque was determined by torque meter (TQ-8801) through the shaft. The power requirement was calculated about 0.6 hp. Then, the gasoline engine with 1.1 kW and 3000rpm was used in the designed weeding machine. The gearbox reducer was mounted with a ratio of 1 to 10 after the clutch system provided the rotor rotation at about 200-300 rpm and connected to the engine clutch. The machine field capacity was obtained about 5000 to 7500 m² per day (10 hours). The actual field operation of the weeding machine was evaluated on a 200 m². The fields were separated into 4 plots and 4 treatments were used in each plot as follows: control (T1), manual weeding (T2), once weeding by machine (T3) and twice weeding at the same time (T4). Data was collected 35 days after the transplant (15 days after weeding operation) for each treatment. The height of plant, hill number



and efficiency of machine were measured in a completely randomized design with three replications and analyzed by SAS software.

Results and Discussion Based on the requirements of paddy field, the single-row rotary weeding machine was designed and manufactured. The technical data was obtained based on the computation. The technical results show that the maximum static torque was measured 0.47 N.m. The value of the shaft angle curve designed to be around 0.11 degrees, which is very small. Therefore, by considering some factors such as physical ability, fatigue caused by operator's work, and unpredicted losses time, the field capacity was obtained about 0.5 to 0.75 ha/day. The results of evaluation experiment showed that there was a significant difference between the treatments at the probability level of 1%. The height of plant increased in twice weeding treatment (T4) about 19%, manual weeding (T2) about 12%, and once weeding by machine (T3) about 4% compared to control treatment (T1). The hill numbers increased in twice weeding treatment about 44%, manual weeding about 40%, and once weeding by machine about 15% compared to witness treatment.

Conclusion The product performance is highly correlated with the hill number. There is a meaningful difference between mechanical weeding and manual weeding. The hill number increased about 4% in twice weeding method compared to once weeding, which shows no meaningful effect. Therefore, one-time mechanical weeding (T3) is economically better due to the coexistence of yield with twice weeding (T4). Also, the hill number increased about 29% in mechanical once weeding compare to manual weeding. Eventually, once weeding by machine was recommend.

Keywords: *Rice, Rice field, Weed, Weeding Machine.*

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه وجین کن شالیزاری یک‌ردیفه با خاکورز روتور پروانه‌ای

سید جعفر هاشمی^{۱*}، رمضان هادی‌پور رکنی^۲ و مهدی خوشدل^۳

۱- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۲- کارشناس ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

۳- کارشناس ارشد رشته مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷	<p>یکی از روشهای موثر برای مبارزه با علف هرز، استفاده از دستگاه وجین کن مکانیکی به منظور کاهش استفاده از سموم شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید در شالیزارهای مکانیزه می‌باشد. عدم کارایی دستگاه‌های وجین کن موجود در شرایط مختلف مزرعه و عدم صرفه اقتصادی خرید برای کشاورزان خرده مالک از عیوب اصلی آنها می‌باشد. بدین منظور یک واحد وجین کن شالیزاری یک‌ردیفه با خاکورز روتور پروانه‌ای با قابلیت نصب بر روی دستگاه علف‌تراش پشتی به کمک نرم‌افزار (SolidWorks 2014) طراحی و ساخته شد. تیمارهای وجین کردن دستی، یک‌بار وجین با دستگاه وجین کن، دوبار وجین همزمان با دستگاه وجین کن و یک کرت به‌عنوان شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای ارتفاع بوته برنج، تعداد پنجه در بوته و بازده دستگاه در سه تکرار اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد وجود دارد. در مقایسه تعداد پنجه در بوته در تیمار دوبار وجین همزمان با دستگاه حدود ۴۴ درصد، یک‌بار وجین با دستگاه حدود ۴۰ درصد و وجین دستی حدود ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش را نشان می‌دهد. از آنجاییکه که تعداد پنجه در بوته با عملکرد محصول نسبت مستقیم دارد، وجین با دستگاه نسبت به وجین دستی ارجحیت دارد. در مقایسه بین دو روش مکانیکی، دوبار وجین با دستگاه افزایش عملکرد ۴ درصدی در تعداد پنجه در بوته را نشان می‌دهد. بنابراین یک‌بار وجین با دستگاه وجین کن به دلیل هم‌ارز بودن عملکرد با دوبار وجین مکانیکی با لحاظ کردن شاخص هزینه‌ها، مناسب‌تر و قابل توصیه می‌باشد.</p>
پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۰۹	
<p>کلمات کلیدی: برنج، شالیزار، علف هرز، وجین کن</p>	
<p>* عهده دار مکاتبات Email: szhash@yahoo.com</p>	

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین غلات می‌باشد که غذای اصلی نیمی از جمعیت جهان به آن وابسته است. تولید شلتوک در جهان ۷۵۶/۷ میلیون تن و در ایران ۲/۷ میلیون تن گزارش گردید (۷). بدون هیچ تردیدی افزایش

روزافزون جمعیت در سراسر دنیا، افزایش تقاضا جهت تولیدات کشاورزی را به دنبال دارد از طرفی افزایش سطح زیر کشت این محصول در کشوری همچون ایران که با کمبود منابع آب مواجه است محدودیت دو چندان دارد، لذا بالا بردن عملکرد محصول در واحد سطح با بهره‌گیری

منجر به هوادهی به خاک و خروج گازهای سمی از داخل خاک خواهد شد (۲).

در ایران به علت نامناسب بودن تجهیزات مکانیکی مبارزه با علف هرز، کم بودن راندمان آنها و سازگار نبودن بسیاری از این تجهیزات با اقلیم منطقه مورد استفاده، سبب شده است که کشاورزان تمایل بیشتر به استفاده از روش‌های شیمیایی داشته باشند. در حال حاضر ۱۴ گونه علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش در ایران وجود دارد که جدیدترین چالش در مدیریت گونه‌های علف‌های هرز و مهاجم است (۱۵). بنابراین با ارائه روش‌های جدید و جین به روش مکانیکی و انگیزه دادن به کشاورزان با بهینه کردن تجهیزات موجود (بر اساس اقلیم منطقه) علاوه بر جلوگیری از آلودگی منابع زیستی می‌توان مشکلات و جین به روش شیمیایی را کاهش داد. در تحقیقی که جهت ارزیابی مقایسه‌ای بین چهار روش و جین با ادوات در مزرعه بادام زمینی انجام گرفت. بیشترین بازده و جین مربوط به و جین دستی بود و بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای در تیمار و جین با کولتیواتور تیلری به‌دست آمد (۸).

مقایسه کارآیی سه نوع تیغه شامل: دو پره، سه پره و چهار پره در یک نمونه دستگاه سله‌شکن - و جین کن چغندر قند نشان داد که نوع تیغه با دو پره بیشترین درصد مساحت سله‌شکنی را دارد (۳).

دستگاه و جین کن موتوردار راه‌رونده دو ردیفه از نوع سیکلوتیلر که برای مزارع شالیزاری طراحی و ساخته شده است دارای دو تیغه سیکلوتیلر بوده که با حرکت دورانی، علف‌های هرز بین ردیف‌ها را از جایشان کنده و با گل مخلوط می‌کند و به وسیله یک چرخ استوانه‌ای فلزی در زیر گل دفن می‌کند (۱).

دستگاه و جین کن شالیزاری یک ردیفه موتوردار پشتی طراحی و ساخته شد. این دستگاه دارای واحد و جین کن نوع روتور پره‌دار به قطر ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. حرکت دورانی این روتور باعث می‌شود که علف‌های هرز با گل مخلوط گردد (۲۰).

صحیح از نهاده‌های کشاورزی می‌تواند راه حل مناسبی برای این مشکل باشد. یکی از روش‌های افزایش تولید و بالا بردن عملکرد محصول در واحد سطح، مبارزه موثر با علف‌های هرز می‌باشد. علف‌های هرز گیاهانی ناخواسته هستند که علاوه بر رقابت با بوته برنج در جذب آب، عناصر غذایی و نور، پناهگاهی برای آفات و بیماری‌های گیاهی می‌باشد (۱۷). در طی استقرار اولیه بوته برنج، علف‌های هرز حدود ۳۰ - ۲۰ درصد رشد می‌کنند، در حالی که بوته برنج ۳-۲ درصد مراحل رشد خود را طی نموده است (۱۴). بنابراین تاخیر در کنترل علف‌های هرز در مزارع برنج ۱۵ الی ۲۵ روز پس از کاشت، عملکرد برنج را به شدت کاهش می‌دهد که این مقدار در برنج نشاء مکانیزه شده حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد و در کشت مستقیم حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد گزارش شده است (۱۶). لذا عدم دسترسی به کارگر در زمان مناسب و تاخیر در عملیات و جین، خسارت جبران‌ناپذیری به محصول وارد می‌کند.

اهمیت علف‌های هرز در زراعت برنج بسیار مهم‌تر از دیگر زراعت‌ها ارزیابی شد و خسارت آن حدود ۲۵ درصد گزارش شده است (۱۲). در تحقیقی خسارت علف‌های هرز مخصوصاً سوروف در زراعت برنج در صورت عدم کنترل ۹۶-۴۴ درصد در سطح جهانی گزارش شد (۹). همچنین میزان خسارت وارده به کشاورزان آمریکا در صورت عدم استفاده از علف‌کش‌ها، حدود ۳/۱۳ میلیارد دلار برآورد شد (۵). بنابر گزارش محققین، تاثیر علف‌های هرز بر روی کاهش عملکرد برنج در ایران حدود ۳۵ درصد اعلام شد (۱۵).

عملیات خاک‌ورزی شدید در زمین‌های شالیزاری که به‌منظور اجرای پادلینگ (گل - آب نمودن) صورت می‌گیرد باعث خروج هوای داخل خاک می‌شود در نتیجه گیاه با کمبود اکسیژن مواجه می‌گردد، از طرفی دیگر گازهای حاصل از تجزیه بقایای گیاهی در دل خاک، سبب ایجاد مسمومیت‌هایی برای گیاه می‌شود. اجرای عملیات و جین (بخصوص به‌وسیله ماشین‌های و جین کن)

مواد و روش‌ها

مشخصات دستگاه

با توجه به تنوع شرایط مزرعه‌ای و تنوع علف‌های هرز غالب در اراضی شالیزاری کشور، دستگاه وجین کن با ویژگی‌های متفاوت مورد نیاز می‌باشد. در طراحی مکانیزم این دستگاه، پارامترهایی نظیر: سازگاری آن با تمامی شرایط موجود شالیزاری کشور، سبکی وزن، بالابردن کیفیت عملیات وجین، برخورداری از قدرت کافی موتور در خاکهای سنگین، ظرفیت مزرعه‌ای بالاتر و همچنین پارامترهای مزرعه‌ای و گیاهی شامل: فاصله بوته‌های برنج، میزان پنجه‌زنی و ارتفاع آن در نظر گرفته شد. اجزای دستگاه وجین کن ساخته شده شامل موتور، سیستم انتقال قدرت و واحد وجین کن (روتور) می‌باشد. از دستگاه علف تراش موتوری پشتی شرکت دوما چین که قابلیت استفاده دو منظوره با تعویض عامل علف تراش و نصب واحد وجین کن ساخته شده را داشته، استفاده شد. این دستگاه سبک وزن دارای موتور دوزمانه بنزینی ۴/۵ کیلوگرمی (شرکت دوما چین) با توان ۱/۱ کیلووات و دور مشخصه ۳۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. این موتور توان لازم برای شرایط چند منظوره بودن دستگاه را فراهم می‌نماید.

سیستم انتقال قدرت

عملیات وجین در شالیزار برخلاف عملیات علف تراشی نیاز به سرعت دورانی کم در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه دارد (۲۰). با توجه به اینکه دور مشخصه موتور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه است بنابراین جعبه دنده کاهنده دور با نسبت ۱ به ۱۰ بعد از سیستم کلاچ نصب شد (شکل ۱).



شکل (۱) جعبه دنده کاهنده دور.

Figure (1) Reducing gear box

دستگاه وجین کن شالیزاری دو ردیفه نوع موتوردار پشتی نیز طراحی و ساخته شد (۲). مکانیزم این دستگاه مانند دستگاه وجین کن راه رونده می‌باشد. واحد وجین کن دستگاه شامل دو چرخ استوانه‌ای حامل بوده که تعدادی انگشتی در محیط آن نصب و وظیفه دفن کردن علف‌های هرز در حین کار را بر عهده دارند.

در تحقیقی دیگر، دستگاه روبات وجین کن شالیزاری دو ردیفه با چهار چرخ حامل پلاستیکی با محیط شیاردار (مانند سطح پیچ) ساخته شد. برای بالا بردن کیفیت در عملکرد وجین، جهت شیارها در چرخهای جلو و عقب بطور معکوس قرار گرفته است (۴).

برخی محققین با طراحی و نصب سیستم پردازش تصویر بر روی یک روبات وجین کن شالیزاری، اقدام به اصلاح و بهینه سازی مسیر ناوبری روبات در حین عملیات وجین گردیدند. در این پژوهش یک روش ناوبری روبات با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی ترتیبی پیشرفته مبتنی بر خواص مورفولوژیکی گیاه برنج ارائه گردید (۲۱).

وجین کن‌های موجود در مزارع برنج دارای معایبی از جمله عدم کارایی در شرایط مختلف مزرعه، تنوع علف‌های هرز، حساسیت به ارتفاع نشاء، محدود بودن زمان به کارگیری دستگاه وجین کن بعد از نشاءکاری، باقی ماندن درصد بالایی از علف‌های هرز، نداشتن حداقل قدرت مانور در بین ردیف‌ها بر اساس تنوع روش‌ها و دستگاه‌های کاشت و نداشتن قابلیت تنظیم عمق می‌باشد. افزایش این قابلیت‌ها می‌تواند تاثیر معنی داری بر افزایش عملکرد محصول داشته باشد.

هدف از این پروژه، طراحی و ساخت یک واحد وجین کن یک‌ردیفه روتور پروانه‌ای با قابلیت نصب بر روی دستگاه علف تراش پشتی (دو منظوره بودن دستگاه) با کارایی در بافت سنگین خاک شالیزاری می‌باشد به طوری که قابلیت افزایش عملکرد محصول را داشته باشد.



شکل (۴) پروانه واحد وجین کن.
Figure (4) Propeller of weeding unit

روتور پروانه‌ای شامل دو پره با فرم و انحنا مناسب بوده که شافت گردنده از محور آن عبور کرده است (شکل ۴). استفاده از دو پره در روتور پروانه‌ای به منظور افزایش شدت عمل وجین می‌باشد (۳). مجموعه روتور با یاتاقان‌ها بر روی شاسی وضعیت لولایی داشته و به وسیله یک اهرم تنظیم قابلیت تنظیم تا عمق ۸ سانتی‌متر را دارد (شکل ۵).

از جمله عوامل مهم که بعد از کاشت نشاء مانع رشد بوته برنج می‌شود، کمبود اکسیژن به واسطه خروج هوای داخل خاک در هنگام عملیات پادلینگ (گل-آب کردن) و مسمومیت گیاه بر اثر گازهای حاصل از تجزیه بقایای گیاهی در دل خاک است (۲). بدین منظور یک روتور از نوع پروانه‌ای جلوبرنده جهت هوادهی مناسب خاک و خروج گازهای خفه‌کننده اطراف ریشه‌های برنج، دفن علف‌های هرز و اختلاط کودها (شیمیایی و آلی) با خاک سنگین طراحی و ساخته شد.



شکل (۵) اهرم تنظیم عمق.
Figure (5) Depth adjustment lever



شکل (۲) شافت رابط گردنده با روکش لاستیکی.
Figure (2) Swivel interface shaft with rubber overlay

برای جلوگیری از صدمات احتمالی در حالت بیش‌باری، کلاچ این دستگاه از نوع از گریز مرکز انتخاب شد. این کلاچ شامل دو وزنه هلالی شکل است که هر کدام از آنها از یک انتها به بدنه کلاچ و از انتهای دیگر به وسیله یک عدد فنر مارپیچی مهار گردیدند. در اثر افزایش دور موتور، وزنه‌ها در اثر نیروی گریز از مرکز از یکدیگر فاصله گرفته و به پیاله محیطی می‌چسبند و سبب انتقال قدرت از محور کلاچ به قسمت پوسته آن و در نهایت به جعبه دنده می‌گردد. با کاهش دور موتور و کاهش نیروی گریز از مرکز، وزنه‌ها در اثر نیروی فشاری فرها جمع شده و انتقال نیرو قطع می‌گردد. انتقال نیرو از جعبه‌دنده به عامل وجین کن به وسیله شافت فتری گردنده انجام می‌گیرد (شکل ۲).

عامل وجین کن (روتور)

عامل وجین کن از شاسی، یک عدد روتور پروانه‌ای به قطر ۲۲ سانتی‌متر، دو عدد یاتاقان، اسکیت پلاستیکی و قاب محافظ تشکیل شده است (شکل ۳).



شکل (۳) واحد وجین کن.
Figure (3) Weeding unit

برای انجام کار دینامیکی دستگاه وچین کن در مواقع بیش‌باری و داشتن قدرت لازم قوای محرکه در مواجهه با شرایط سخت مزرعه‌ای از قبیل سفتی زمین در اثر کم‌آبی، برخورد پروانه با مرزهای کناری کرتها و برخورد احتمالی با توده سخت، توان مورد نیاز موتور با ضریب اطمینان ۳ محاسبه گردید (۲۰).

$$P = 0.6 \text{ hp}$$

قطر شافت انتقال نیرو

شافت عامل خاکورز از آلیاژ T4-2014 که مشخصه تنش برشی آن ۱۳۰ مگاپاسکال و مدول برشی 27×10^3 مگاپاسکال است انتخاب شد (۲۰ و ۱۹). از رابطه ۲ برای تعیین قطر شافت استفاده شد.

$$\tau = \frac{T.C}{j} \quad (2)$$

که در این رابطه، τ تنش برشی بر حسب نیوتن بر متر مربع، T گشتاور پیچشی مورد نیاز برای برش خاک بر حسب نیوتن-متر، C برابر شعاع شافت بر حسب متر و j گشتاور لختی قطبی بر حسب متر به توان ۴. با جایگزاری در رابطه ۲، شعاع شافت محاسبه شد. قطر شافت (d) برابر است با:

$$d = 2c = 2.78 \text{ mm}$$

جدول (۱) مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده به وسیله دستگاه گشتاورسنج (تورک‌متر)

Table (1) The amount of measured torque by the torque meter

گشتاور اندازه‌گیری شده Measured torque (N.m)	شماره نمونه Number sample
0.31	1
0.26	2
0.38	3
0.34	4
0.29	5
0.41	6
0.47	7
0.22	8
0.41	9

تعیین توان مورد نیاز برای نیرو محرکه

برای تعیین توان لازم از رابطه ۱ استفاده شد.

$$p = \omega T = \frac{2\pi n}{60} T \quad (1)$$

که در این رابطه، p توان نیرو محرکه بر حسب نیوتن-متر بر ثانیه، T گشتاور پیچشی مورد نیاز برای برش خاک بر حسب نیوتن-متر، ω سرعت زاویه‌ای بر حسب رادیان بر دقیقه و n تعداد موتور بر حسب دور در دقیقه می‌باشد.

برای به‌دست آوردن حداکثر گشتاور مورد نیاز عامل خاک‌ورز در شرایط استاتیکی، نمونه‌ای از روتور پروانه‌ای ساخته شد و به وسیله یک شافت به دستگاه اندازه‌گیر گشتاور (مدل TQ-8801 شرکت لوترون تایوان) متصل گردید (شکل ۶).



شکل (۶) نحوه اندازه‌گیری گشتاور استاتیکی برای برش خاک.

Figure (6) Measurement of static torque in soil cutting stage

برای تعیین ماکزیمم گشتاور، ۹ نمونه با سه تکرار از نقاط مختلف شالیزار با علف هرز زیاد که به دلیل کم‌آبی سفت شده بود انتخاب و میانگین تکرارها ثبت شد. ماکزیمم گشتاور ۰/۴۷ نیوتن-متر بدست آمد (جدول ۱). دور موتور و توان مورد نیاز عامل خاکورز در حال کار با استفاده از دور مشخصه ۳۰۰۰ دور در دقیقه محاسبه شد. با توجه به رابطه (۱) توان لازم برای نیرومحرکه برابر است با:

$$P = 147.58 \text{ w} = 0.2 \text{ hp}$$

گشتاور خمشی

پروانه خاکورز با داشتن فرم پره مناسب و ایجاد نیروی جلوبرنده، نیرویی در راستای محور شافت وارد می‌کند و چون در محیط نرم (گل- آب) دوران می‌کند نیروی عمودی بر شافت خاکورز ناچیز است، همچنین پروانه در نزدیکی یاتاقان (فاصله ۵ میلی‌متر) قرار دارد. بنابراین با دلایل ذکر شده می‌توان از گشتاور خمشی صرف‌نظر کرد. برای قابلیت شناوری مجموعه عامل وجین‌کن، یک اسکیت پلاستیکی با فرم دوکی شکل ساخته شد و مجموعه شاسی روی آن نصب گردید، همچنین برای خنثی کردن نیروی جانبی در حین کار، یک تیغه فلزی به طول ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳ سانتی‌متر در زیر اسکیت نصب شد (شکل ۷).

تحلیل تنش

با توجه به محاسبات ابعادی قطعات مختلف خاکورز، تحلیل تنش استاتیکی با نرم‌افزار SolidWorks 2014 انجام شد. بدین منظور ابتدای شافت به شاسی (ورودی توان)، ثابت در نظر گرفته شد و پروانه با گشتاور ۰/۴۷ نیوتن‌متر بارگذاری شد (جدول ۱). بیشترین تنش بر شافت و قسمت انتهایی پرها به ترتیب ۱ و ۲/۰۴ مگاپاسکال به دست آمد شکل (۸-ا). مطابق این شکل تنش بحرانی فقط در قسمت لبه پرها مشاهده شد. برای جلوگیری از تغییر شکل احتمالی پرها در شرایط مختلف زمین، پرهایی با ضخامت ۲ میلی‌متر جایگزین پره‌های قبلی (ضخامت ۱ میلی‌متر) شد تنش در لبه پرها از ۲/۰۴ به ۱/۲۳ مگاپاسکال کاهش یافت (۸-ب).



شکل (۷) تیغه زیر اسکیت.

Figure (7) Blade under skateboar

برای جلوگیری از تنش احتمالی غیر مجاز به شافت (در برخورد لحظه‌ای روتور به مرز کنار شالیزار)، ضریب اطمینان (S) ۳ در محاسبه قطر اعمال گردید (۲۰).

$$d = 8.34 \text{ mm}$$

با توجه به عدم دسترسی به شافت با قطر ۸/۳۴ میلی‌متر و بلبرینگ استاندارد مورد نظر، شافت با قطر ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد.

محاسبه زاویه پیچش

برای محاسبه زاویه پیچش از رابطه ۳ استفاده شد. مدول برشی شافت انتخاب شده برابر ۷۷/۲ نیوتن بر متر مربع است (۱۹). در طراحی عامل خاکورز، اندازه طول شافت ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

$$\varphi = \frac{T.L}{J.G} \quad (۳)$$

که در این رابطه: φ زاویه پیچش بر حسب رادیان، T گشتاور پیچشی بر حسب نیوتن-متر، L طول شافت بر حسب متر، J گشتاور لختی قطبی بر حسب متر به توان ۴ و G مدول برشی بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

$$J = 9.8 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$\varphi = 1.8 \times 10^{-3} \text{ rad} = 0.0018 \text{ rad}$$

برای محاسبه زاویه پیچش مجاز شافت از رابطه ۴ (قانون هوک)، کرنش پیچشی محاسبه شد:

$$\tau = G.\gamma \quad (۴)$$

که در آن، τ تنش برشی، G مدول برشی و γ کرنش پیچشی بر حسب رادیان می‌باشد.

از جدول مشخصات (۱۹)، مقدار کرنش پیچش مجاز

$$\gamma = 1.9 \times 10^{-3} \quad \text{برابر است با:}$$

بنابراین زاویه پیچش مطابق رابطه (۳) برابر است با:

$$\varphi = \frac{\gamma L}{c} = \frac{1.9 \times 10^{-3} \times 0.3}{0.005} \quad \varphi = 0.114 \text{ rad}$$

مقدار زاویه پیچش شافت طراحی شده حدود ۰/۰۱۸ رادیان به دست آمد که در مقایسه با مقدار پیچش مجاز شافت (حدود ۰/۱۱۴ رادیان) بسیار ناچیز است و شافت می‌تواند بدون مشکل کار کند.

آزمون مزرعه‌ای در زمین شالیزاری به مساحت ۲۰۰ متر مربع انجام شد. ۴ کرت برای انجام آزمایش‌ها با ۳ تیمار وجین کردن دستی، یک‌بار وجین با دستگاه وجین کن و دوبار وجین با دستگاه وجین کن با ۳ تکرار و یک کرت به‌عنوان شاهد تعیین گردید. عملیات وجین برای هر یک از تیمارها، ۲۰ روز بعد از نشاء انجام شد (شکل ۱۰).

آزمون مزرعه‌ای

ظرفیت مزرعه‌ای

برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای، دستگاه در شرایط زراعی مختلف توسط ۳ کشاورز با توان فیزیکی متفاوت در مساحت ۲۰۰ مترمربع مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت. براساس آزمون‌های به‌عمل آمده زمان انجام وجین در شرایط واقعی کار با محاسبه اتلاف زمان دور زدن انتهای هر ردیف، حدود ۱۶ دقیقه به‌دست آمد. ظرفیت مزرعه‌ای دستگاه در روز (۱۰ ساعت کار) با استفاده از تناسب محاسبه شد بنابراین با توجه به در نظر گرفتن عواملی مانند: توان فیزیکی و خستگی ناشی از کار اپراتور و تلفات زمانی غیرپیش‌بینی شده، ظرفیت مزرعه‌ای حدود ۰/۵ تا ۰/۷۵ هکتار در روز (با ۱۰ ساعت کار) به‌دست آمد.



شکل (۱۰) آزمون دستگاه وجین کن (۲۰ روز بعد از نشاء)

Figure (10) The weeding machine test (20 days after transplant)

مصرف سوخت

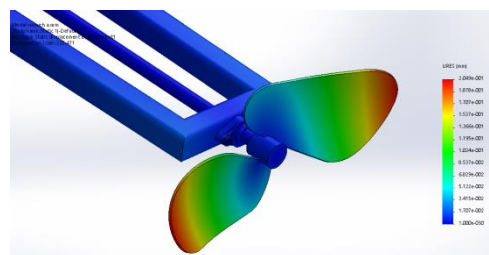
با استفاده از استوانه مدرج، مقدار ۵۰۰ سی‌سی بنزین در باک ریخته شد پس از انجام عملیات وجین در مساحت ۲۰۰ متر مربع، مقدار بنزین مصرفی حدود ۱۷۰

در طراحی برای حصول مقاومت کافی قطعات در برابر شکست باید مقدار حداکثر تنش‌های اعمالی از تنش نهایی مواد کمتر باشد. بنابراین ضریب اطمینان در محاسبات بر اساس رابطه (۵) به‌دست آمد (۱۹).

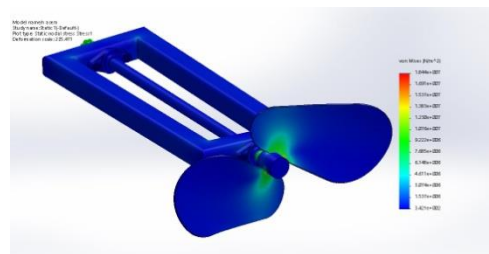
$$F_s = \frac{\sigma_y}{\sigma_{all}} \quad (5)$$

که در آن، F_s ضریب اطمینان در حالت بارگذاری استاتیکی، σ_y تنش حد تسلیم و σ_{all} تنش مجاز وارد شده بر قطعه می‌باشد.

مطابق شکل ۸-b با تغییر ضخامت پره‌ها، تنش به حداقل رسید و پره‌ها می‌توانند در حداکثر تنش‌های اعمالی بدون مشکل کار کنند در این شرایط ضریب اطمینان (رابطه ۵) در حدود ۱/۶ به‌دست آمد.



(a)



(b)

شکل (۸) تحلیل تنش بر روی پره‌ها.

Figure (8) Tension analysis of blades

در شکل ۹ نمای کلی از دستگاه وجین کن با عامل خاکورز نشان داده شده است.

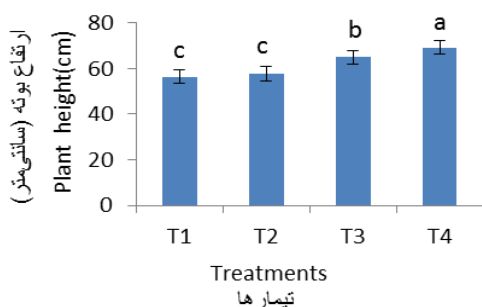


شکل (۹) دستگاه وجین کن ساخته شده

Figure (9) The constructed weeding machine

(T4) انجام شد و نتایج در جدول ۲ ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد که در بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد و کرت‌های ایجاد شده به دلیل نزدیک بودن عوامل موثر در مزرعه، دارای اختلاف معنی‌داری نیست. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته برنج در ۳۵ روز بعد از نشاء نشان داد که تیمار T1 (شاهد) و T2 (وجین دستی) در یک سطح قرار دارد (شکل ۱۲). این امر می‌تواند بخاطر وجود گازهای مضر محبوس شده در داخل خاک باشد (۲) و (۱۸). که در روش وجین دستی به خوبی تخلیه نشده است، همچنین در تیمار T3 (یک‌بار وجین با دستگاه) به دلیل بهم‌زگی خاک و خروج گازهای مضر، بوته برنج رشد بهتری داشته است. بیشترین رشد بوته در تیمار T4 (دوبار وجین با دستگاه وجین کن) اندازه‌گیری شد در نتیجه می‌توان گفت که عملیات وجین با این دستگاه موثر بوده و بهتر است از روش دوبار وجین همزمان با دستگاه برای تهیه بهتر خاک استفاده شود.

بازده وجین در روش‌های مختلف کنترل علف‌های هرز در شکل ۱۳ نشان داده شده است. وجین دستی (T2) با حدود ۹۷ درصد دارای بیشترین بازده و یک‌بار وجین با دستگاه (T3) با ۸۸ درصد دارای کمترین بازده می‌باشد. در گزارش فیروزی و همکاران^۱ (۸) بازده وجین دستی را حدود ۹۸ درصد اعلام شد.



شکل (۱۲) مقایسه میانگین (LSD) اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته برنج.

Figure (12) The effect of different treatments on the height of rice plant (LSD)

سی‌سی اندازه‌گیری شد. میانگین مصرف سوخت دستگاه وجین‌کن با انجام عملیات وجین در طی دو مرحله، حدود ۸/۵ لیتر در هکتار به دست آمد. مقدار مصرف سوخت متأثر از عوامل متعددی مانند توان بالای موتور برای کاربرد دو منظوره، میزان عمق کار، بافت خاک، مهارت اپراتور و غیره می‌باشد.

بازده دستگاه وجین‌کن

ابتدا قبل از ورود دستگاه به داخل زمین تعداد علف‌های هرز موجود مزرعه در مساحتی به ابعاد یک متر مربع و در ۳ مکان مختلف تراکمی (پرپشت، متوسط و کم) شمارش و ثبت گردید (۲۰).

پس از اتمام کار دستگاه در زمین (یک روز پس از وجین)، تعداد علف‌های هرز بجا مانده در یک متر مربع نیز شمارش و ثبت شد. قابل ذکر است، علف‌های هرز بجا مانده پس از وجین، علف‌هایی بودند که در روی ردیف و کنار بوته قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱).

برای محاسبه بازده دستگاه از رابطه (۵) استفاده شد.

$$n = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (5)$$



شکل (۱۱) (الف) قبل از وجین و (ب) بعد از وجین با دستگاه وجین‌کن.

شکل (۱۱) قطعه زمین الف) قبل از وجین ب) بعد از وجین با دستگاه وجین‌کن.

Figure (11) a) Before weeding and b) after weeding with weeding machine

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات رویشی برنج از جمله ارتفاع بوته و تعداد پنجه در چهار تیمار به ترتیب شاهد (T1)، وجین دستی (T2)، یک‌بار وجین با دستگاه وجین‌کن (T3) و دوبار وجین همزمان با دستگاه وجین‌کن

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس مربوط به ارتفاع بوته برنج و تعداد پنجه در روش‌های کنترل علف هرز (۳۵ روز بعد از نشاء)
Table(2) Analysis of variance related to rice plant height and number of hill in different weed control methods (35 days after transplant)

منابع تغییرات (Source of variation)	df	میانگین مربعات Mean square		سطح معنی‌داری (F)	
		تعداد پنجه (Hill number)	ارتفاع بوته (Plant height)	تعداد پنجه (Hill number)	ارتفاع بوته (Plant height)
		تیمار (Treatments)	3	116.95	110.04
بلوک (Block)	2	3.34	2.37	0.76 ^{ns}	1.28 ^{ns}
خطا (Error)	6	4.41	1.86		
ضریب تغییرات CV	-	8.67	2.19		

محصول بیشتری نسبت به نوع وجین دستی و تفاوت زیادی با تیمار شاهد (بدون وجین) دارد. همچنین قابلیت پنجه‌زنی همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارد (۶) و (۱۰). بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که انجام عملیات وجین با این دستگاه باعث عملکرد محصول بیشتری نسبت به نوع وجین دستی و تفاوت زیادی با تیمار شاهد (بدون وجین) دارد. طبق گزارش میلر و همکاران^۱ (۱۳) و مودی (۱۴)، ۸۶ درصد عملکرد محصول بستگی به تعداد پنجه‌زنی دارد. بررسی آماری نشان می‌دهد که تعداد پنجه‌زنی در این دو تیمار تفاوت معنی‌داری ندارد. در نتیجه عملکرد محصول دوبار وجین همزمان دستگاه با یک‌بار وجین محسوس نیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یک‌بار وجین با دستگاه به دلیل هزینه کارگری و مصرف سوخت کمتر از نظر اقتصادی نسبت به دوبار وجین با دستگاه ارجحیت دارد.

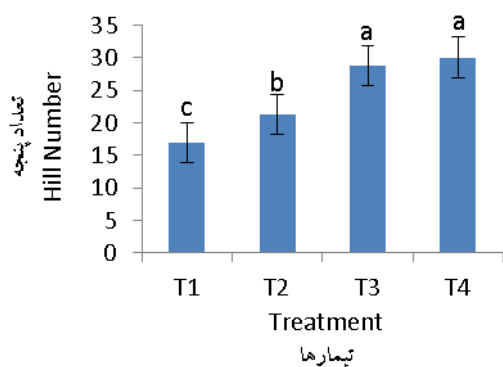
برخی محققین با بکارگیری دستگاه وجین‌کن از نوع چرخ حامل انگشتی‌دار (۲)، حداکثر بازده ۸۴ درصد و دستگاه وجین‌کن پره‌دار (۲۰) بازده ۶۵ درصد گزارش نمودند. علف‌های هرز بجا مانده در وجین دستی به دلیل کوچک بودن بوته علف هرز بوده و در وجین با دستگاه وجین‌کن (T4, T3) به دلیل قرار گرفتن علف‌های هرز در روی خط نشاء می‌باشد.

وجین دستی که بیشترین بازدهی وجین را داراست به دلیل هزینه بالای کارگر، ایاب و ذهاب، راندمان کم و سختی کار به صرفه و قابل توصیه نیست (۲) و (۲۰). وجین دوبار با دستگاه وجین‌کن نسبت به وجین یک‌بار با دستگاه وجین‌کن بازده بیشتری دارد.

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر تعداد پنجه در ۳۵ روز بعد از نشاء در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل، تیمارهای T3 و T4 در یک سطح قرار داشته و بیشترین تاثیر در افزایش پنجه‌زنی گیاه را دارد و تیمار T1 دارای کمترین تعداد پنجه است. با توجه به تحقیقات انجام شده قابلیت پنجه‌زنی در برنج یک صفت زراعی مهم برای تولید دانه به حساب می‌آید (۱۲).

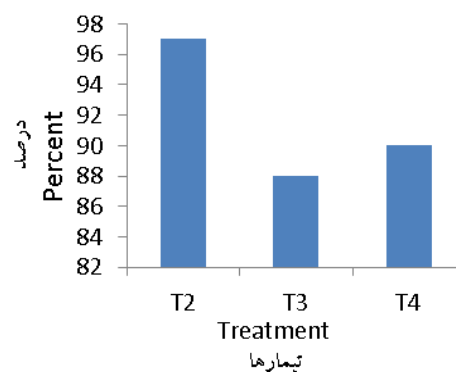
همچنین قابلیت پنجه‌زنی همبستگی بالایی با عملکرد دانه دارد (۶) و (۱۰). بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که انجام عملیات وجین با این دستگاه باعث عملکرد

هاشمی و همکاران: طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه...



شکل (۱۴) مقایسه میانگین (LSD) اثر تیمارهای مختلف بر تعداد پنجه.

Figure (14) Mean comparison (LSD) of different treatments on the hill number



شکل (۱۳) بازده وجین در روش‌های مختلف کنترل علف‌های.

Figure (13) Weeding efficiency in different weed control methods

جدول (۳) تعداد علف‌های هرز تیمارها در روشهای مختلف کنترل علف هرز (در زمان وجین) در یک متر مربع

Table (3) The number of weeds in different weed control methods (weeding time) in one square meter

تکرارها Replications	شاهد Witness	وجین دستی Manual weeding	یک بار وجین با دستگاه Once weeding by machine	دو بار وجین همزمان با دستگاه Twice weeding by machine at the same time
تکرار ۱ Repeat 1	97	3	13	6
تکرار ۲ Repeat 2	136	2	7	11
تکرار ۳ Repeat 3	57	2	14	9
میانگین تکرارها Mean Repeats	96	2.33	11.33	8.66

نتیجه گیری

به دست آمد که در مقایسه با گزارش دیگر دستگاه‌های وجین کن ساخته شده حدود ۴ تا ۲۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد. از آنجایی که عملکرد محصول با قابلیت پنجه‌زنی همبستگی بالایی دارد وجین یک‌بار با دستگاه وجین کن به دلیل عدم وجود اختلاف قابل توجه با دو بار وجین به روش مکانیکی، از نظر اقتصادی می‌تواند ارجحیت داشته باشد. همچنین یک‌بار وجین با دستگاه نسبت به وجین دستی حدود ۲۹ درصد افزایش پنجه‌زنی داشته است. لذا یک‌بار وجین به روش مکانیکی با دستگاه وجین کن توصیه می‌شود.

در این تحقیق، ماشین وجین کن برنج از نوع پشتی موتوردار طراحی و ساخته شد و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل تئوری نشان داد که این دستگاه در شرایط سخت مزرعه‌ای حتی نقاطی که بافت زمین شالیزاری به دلیل کم‌آبی سله بسته نیز می‌تواند کارایی داشته باشد. ظرفیت مزرعه‌ای این دستگاه بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ هکتار در روز (با ۱۰ ساعت کار در روز) به دست آمد که با توجه به شرایط زمین معادل ۱۰ الی ۱۵ نفر کار در روز (۱۰ ساعت کار) می‌باشد. بازده دستگاه وجین کن با یک‌بار وجین حدود ۸۸ درصد و دوبار وجین همزمان حدود ۹۰ درصد

References

1. Aghagolzadeh, H. 2008. Designing and manufacturing of rice self-propelled weed Machine 315 of Cyclottle type. Amol kavic. Iran. Report no.
2. Bakhshi, F. 2015. Evaluation and Optimization of Double-row weeder machih. sari Agricultural Sciences and Natural Resources, sirng.
3. Chaligar, E., Raufat, M.H., R.Khadem, S.M., and Chaligar, A. 2014. Design, fabrication and pseudo field evaluation of a sugar beet crust breaker and weeding unit equipped with an infrared sensor. Journal of Agricultural Machinery, 4: 194-205.
4. Choi, K.H., Han, S.K., Han, S.H., Park, K.H., Kim, K.S., and Kim, S. 2015. Morphology-based guidance line extraction for an autonomous weeding robot in paddy fields. Computers and Electronics in Agriculture, 113: 266-274.
5. Cooper, J. and Dobson, H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. Crop Protection, 26: 1337-1348.
6. Counce, P.A. and Wells, B. 1990. Rice plant population density effect on early-season nitrogen requirement. Journal of Production Agriculture, 3: 390-393.
7. FAO. 2017. yearbook 2010: Fishery and aquaculture statistics. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome 78.
8. Firozi, S., Safar zad, M.T., and Alizadeh, M.R. 2011. Evaluation field performance of four methods of peanut weeding. Journal of Agricultural Machinery, 1: 92-99.
9. Gibson, K.D., Fischer, A.J., Foin, T.C., and Hill, J.E. 2003. Crop traits related to weed suppression in water-seeded rice (*Oryza sativa* L). Weed Science, 51: 87-93.
10. Gravois, K. and Helms, R. 1992. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate. Agronomy Journal, 84: 1-4.
11. Li, X., Qian, Q., Fu, Z., Wang, Y., Xiong, G., Zeng, D., Wang, X., Liu, X., Ten, S.g., and Hiroshi, F. 2003. Control of tillering in rice. Nature, 422: 618-621.

12. Lindquist, J.L., and Kropff, M.J. 1996. Applications of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*)-*Echinochloa* competition. *Weed Science*: 52-56.
13. Miller, B.C., Hill, J.E., and Roberts, S. R. 1991. Plant population effects on growth and yield in water-seeded rice. *Agronomy Journal* 83: 291-297.
14. 14. Moody, K. 1982. Weed control in dry-seeded rice. Pages 161-177. Report of a Workshop on Cropping Systems Research in Asia. Manila, Philippines: IRRI.
15. Nosratti, I., Sabeti, P., Chaghamirzaee, G., and Heidari, H. 2017. Weed problems, challenges, and opportunities in Iran. *Crop Protection*, 134: 104371.
16. . Remington, T.R. and Posner, J.L. 2000. On farm evaluation of weed control technologies in direct seeded rice in the Gambia. Animal power for weed control. A resource book of the Animal Traction Network for Eastern and Southern Africa (ATNESA). P. Starkey and T. Simalenga (ed.). Technical center for agricultural and rural cooperation (CTA), Wageningen, Netherlands: 255-261.
17. Salam, M.A. and Kato-Noguchi, H. 2009. Screening of allelopathic potential Bangladesh rice cultivars by donor-receiver bioassay. *Asian Journal of Plant Sciences*, 8: 20.
18. Soleimani, A. and Amiri, B. 2004. The principles of better rice farming. Arvig Publishing.
19. Vahedian, E. 2008. Mechanics of materials. Nashre oloum daneshgahi. 4th ed. 1-177.
20. Yosefnia pasha, H. 2011. Design, construction and evaluation of portable and powered rice weeding machine for traditional and mechanized transplanted sari Agricultural Sciences and Natural Resources., sirang.
21. Zhang, Q., Chen, M.S., and Li, B. 2017. A visual navigation algorithm for paddy field weeding robot based on image understanding. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143: 66-78.