



Effect of cultivator blade type on soil movement and cotton yield based on individual and group prioritization of attributes

Mohammad-Ali Behaen^{1*}, Abdoulrasool Shiravanian²

¹Assistant Professor at Department of Agricultural Engineering Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran, Email: ali_behaen@yahoo.com

²Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-11-21
Accepted: 2025-12-10

Keywords:

Soil volume disturbed
soiling beside plant
weed
furrow depth

ABSTRACT

Background and objectives: In addition to weed control, cultivators play an important role in soil disturbance, furrow reshaping, and inter-row cultivation, all of which can influence weed suppression and cotton yield. Selection of an appropriate cultivator blade for cotton protection operations requires simultaneous consideration of its effects on soil physical properties, weed control efficiency, and crop performance. This study aimed to evaluate the effects of three types of cultivator blades on soil movement and weed control and to identify the most suitable blade combination and application timing for cotton production.

Materials and methods: A field experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with 11 treatments and three replications. The treatments consisted of three cultivator blade types crescent, sweep, and rolling applied at two timings (six and eight weeks after planting). Treatments included: crescent cultivator applied once at six weeks (T1); rolling cultivator applied once at six weeks (T2); sweep cultivator applied once at six weeks (T3); crescent at six weeks followed by rolling at eight weeks (T4); crescent at six weeks followed by sweep at eight weeks (T5); rolling at six weeks followed by sweep at eight weeks (T6); crescent applied twice at six and eight weeks (T7); rolling applied twice at six and eight weeks (T8); sweep applied twice at six and eight weeks (T9); full-season weed control (T10); and no weed control (T11). Within each plot, soil volume disturbed, furrow depth, soil throw toward plants, weed control index, cotton yield, and economic returns were measured. An integrated evaluation of all measured attributes and their relative priorities was performed to identify the optimal treatment using Design-Expert version 7.0 software.

Results: Among the evaluated cultivator blades, the sweep blade applied at six weeks after planting (T3) resulted in the greatest soil disturbance ($1,026 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), whereas the rolling blade produced the lowest soil disturbance ($630 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), likely due to its tooth configuration and soil-scraping mechanism. The highest weed control index (89.64%) was achieved with two applications of the

crescent cultivator (T7), which was not significantly different from the crescent-sweep combination applied at six and eight weeks, respectively (T5; 80.79%). The highest cotton yield ($1,934 \text{ kg ha}^{-1}$) was also obtained under T7. In contrast, excessive soil disturbance and reduced soil moisture associated with two applications of the sweep cultivator (T9) led to a reduction in cotton yield to $1,478 \text{ kg ha}^{-1}$.

Conclusion: Effective use of cultivator blades in cotton production requires consideration of their combined effects on soil physical conditions, weed control efficiency, and crop yield. Different blade types modify soil structure and control weeds through distinct mechanical mechanisms. Based on the integrated prioritization of agronomic, technical, and economic indicators, the application of the crescent cultivator at six weeks followed by the sweep cultivator at eight weeks after planting (T5) is recommended as the most suitable cultivation strategy for cotton fields.

Cite this article: Behaen, M.A., Shiravanian, A.R. (2025). Effect of cultivator blade type on soil movement and cotton yield based on individual and group prioritization of attributes. *Iranian Journal Cotton Researches*, 13 (1), 63-80.



© The author(s)



10.22092/ijcr.2025.371109.1246

Publisher: Cotton Research Institute of Iran



ارزیابی سه نوع تیغه کولتیواتور بر رفتار فیزیکی خاک و عملکرد پنبه بر اساس اولویت‌بندی انفرادی و گروهی صفات

محمدعلی به‌آئین^{۱*}، عبدالرسول شیروانیان^۲

^۱ استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، رایانامه: ali_behaen@yahoo.com
^۲ استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: کولتیواتورها علاوه بر کنترل علف‌های هرز، کارکردهای موثر دیگری در زمینه جابجایی خاک و خاک‌دهی پای بوته داشته که این کارکردها بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد محصول تاثیر دارد. در تصمیم‌گیری برای انتخاب یک نوع کولتیواتور در عملیات داشت پنبه، تاثیرگذاری تمام متغیرها باید در نظر گرفته شود. این تحقیق با هدف بررسی سه نوع تیغه کولتیواتور بر رفتار فیزیکی خاک و تعیین مناسب‌ترین تیغه در عملیات داشت و ارتباط آن با عملکرد پنبه انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲	مواد و روش‌ها: در یک مزرعه آزمایشی، اثر سه نوع تیغه هلالی، پنجه‌غازی و غلتان در کولتیواتور و دو زمان کاربرد در هفته‌های ششم و هشتم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار بررسی شد. استفاده از کولتیواتور هلالی یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T₁)، استفاده از کولتیواتور غلتان یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T₂)، استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T₃)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و کولتیواتور غلتان در هفته هشتم (T₄)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته هشتم (T₅)، استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته هشتم (T₆)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و هشتم (T₇)، استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و هشتم (T₈)، استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته ششم و هشتم (T₉)، کنترل تمام فصل علف‌های هرز (شاهد) (T₁₀) و عدم کنترل علف‌های هرز (شاهد) (T₁₁)، به عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شد. در داخل هر کرت، حجم خاک به هم خورده، عمق شیار، خاک‌دهی پای بوته، شاخص کنترل علف‌های هرز و عملکرد پنبه اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل اقتصادی تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به تمام صفات اندازه‌گیری شده و اولویت‌بندی آن‌ها، تیمار بهینه با استفاده از نرم افزار Design Expert 7.0، تعیین گردید.
واژه‌های کلیدی: حجم خاک به هم‌خورده خاک‌دهی پای بوته علف هرز عمق شیار	یافته‌ها: در بین تیغه‌های کولتیواتور (هلالی، پنجه‌غازی و غلتان)، بیشترین حجم خاک به هم خورده مربوط به کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته ششم (T₃) با ۱۰۲۶ مترمکعب بر ساعت بود. با توجه به ساختار دندان‌های تیغه‌های غلتان و خراش خاک، این تیغه کمترین حجم خاک به

هم خورده (۶۳۰ مترمکعب بر ساعت)، را ایجاد نمود. شاخص کنترل علف‌های هرز در استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و هشتم (T₇)، ۸۹/۶۴ درصد بود که اختلاف معنی‌داری را با تیمار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم (T₅) با ۸۰/۷۹ درصد، ایجاد نکرد. بیشترین عملکرد وش در تیمار دو بار استفاده از کولتیواتور هلالی (T₇) با ۱۹۳۴ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. به هم خوردگی زیاد خاک و کاهش رطوبت در دو بار استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی (T₉)، عملکرد ۱۴۷۸ کیلوگرم بر هکتار پنبه را در این کولتیواتور به همراه داشت.

نتیجه‌گیری: برای استفاده از تیغه‌های کولتیواتور در مزرعه پنبه، باید به تمام متغیرهای کارکردی ماشین توجه نمود. تیغه‌های مختلف، به صورت متفاوت، شرایط فیزیکی خاک را تغییر و کنترل مکانیکی علف‌های هرز را انجام می‌دهند. بنابراین با توجه به اولویت گروهی صفات اندازه‌گیری شده، کاربرد کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم (T₅)، برای انجام عملیات کولتیواتورزنی از نظر فنی و اقتصادی در مزارع پنبه پیشنهاد می‌شود.

استناد: به‌آئین، محمدعلی؛ شیروانیان، عبدالرسول (۱۴۰۴). ارزیابی سه نوع تیغه کولتیواتور بر رفتار فیزیکی خاک و عملکرد پنبه براساس اولویت‌بندی انفرادی و گروهی صفات. *مجله پژوهش‌های پنبه/ایران*، ۱۳ (۱)، ۸۰-۶۳.



10.22092/ijcr.2025.371109.1246

© نویسندگان

ناشر: موسسه تحقیقات پنبه کشور



مقدمه

وجین علف‌های هرز برای حذف گیاهانی که با محصول اصلی رقابت می‌کنند و بر کیفیت و کمیت تولید تاثیر منفی می‌گذارند، بسیار مهم است. علف‌های هرز نه تنها برای مواد مغذی و رطوبت رقابت می‌کنند، بلکه با آزاد کردن مواد ثانویه، بر ریشه‌های گیاه نیز تاثیر می‌گذارند (فاروق و همکاران، ۲۰۱۳). رقابت علف‌های هرز در پنبه و در بازه زمانی ۱۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت، بحرانی‌تر تشخیص داده شده است (شارما و پامپاتی، ۲۰۰۶). عدم مبارزه و کنترل علف‌های هرز، عامل مهمی در کاهش عملکرد پنبه از ۵۰ تا ۸۵ درصد است (پرابو و همکاران، ۲۰۱۲؛ ندیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ فونته و همکاران، ۲۰۱۴). روش‌های کنترل علف‌های هرز، دستی، مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند که از بین آن‌ها روش دستی از ساده‌ترین و مؤثرترین روش‌ها است، اما خسته‌کننده و هزینه بر است (شرینیواسا و کومار، ۲۰۱۷؛ داتا و همکاران، ۲۰۱۷؛ برودای، ۲۰۱۸). کاربرد مواد شیمیایی نیز به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد اما سلامت محصول و محیط زیست را به شدت به خطر می‌اندازد (تواری و همکاران، ۲۰۱۴؛ چاندل و همکاران، ۲۰۱۸). در روش بیولوژیکی، از موجودات خارجی برای کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شود که می‌تواند غیرقابل کنترل، هزینه بر و پرزحمت باشد. روش‌های مکانیکی از توان عملیاتی بالایی برخوردارند و می‌توانند برای کنترل علف‌های هرز، سله شکنی و خاک‌دهی پای بوته سریع و مؤثر باشند (پاناکسی و تی، ۲۰۱۴؛ پاناکسی و همکاران، ۲۰۱۷؛ رائو و همکاران، ۲۰۲۰). برای دستیابی به محصولات سالم و ارگانیک، کاربرد روش‌های مکانیکی و کاهش استفاده از سموم شیمیایی مورد تاکید است (پاناکسی و همکاران، ۲۰۱۷). چندین فناوری مکانیکی برای وجین بین ردیف‌های محصول معرفی شده است. کولتیواتور دیسکی (موهلر، ۲۰۰۱)، وجین‌کن دوار (چاندل و همکاران، ۲۰۱۵)، وجین‌کن برسی (ترنر و همکاران، ۲۰۰۷) و کولتیواتور پنجه-غازی (پاناچی و تی، ۲۰۱۴)، نمونه‌هایی از این

فناوری‌ها می‌باشد. استفاده از کولتیواتورها برای جابجایی خاک و مزایای مرتبط با آن (دفن علف‌های هرز، سله شکنی و خاک‌دهی پای بوته) حائز اهمیت است. همچنین استفاده از انواع تیغه‌های این ادوات، باید بهبود وضعیت سطحی جوی‌های آبیاری را به دنبال داشته باشد. در تحقیقی اشاره شد که کولتیواتورهای پنجه‌غازی از ماشین‌هایی هستند که علاوه بر شکستن لایه‌های خاک، فرسایش بادی و آبی را کاهش داده و با نفوذ بهتر آب در خاک، باعث افزایش عملکرد محصول در کشت‌های ردیفی می‌شوند (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از کولتیواتورهای بین ردیفی یک عملیات مهم در تولید محصول است که به سست کردن خاک، وجین و تشکیل پشته بین ردیف‌ها کمک می‌کند. با این حال، این عملیات به دلیل خطرات آسیب رساندن به گیاه اصلی در مراحل بحرانی رشد، مشکل‌ساز است. حجم خاک جابجا شده به وسیله تیغه‌های کولتیواتور، باید حداکثر در فاصله ۲/۵ - ۲ سانتی‌متری گیاه اصلی باشد (آمانو و همکاران، ۲۰۰۶). اثربخشی کولتیواتورهای بین ردیفی در جابجایی خاک و کنترل علف‌های هرز، به ویژگی‌های طراحی آن‌ها و پارامترهای کاری (سرعت و عمق کار)، شرایط خاک و همچنین به گونه علف‌های هرز و عمق ریشه‌زایی بستگی دارد (گورسوی و چن، ۲۰۱۷). در استفاده از کولتیواتورها با تیغه‌های متفاوت، کارایی کنترل علف‌های هرز، آسیب به گیاه اصلی، ظرفیت مزرعه‌ای، توان مورد نیاز و هزینه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. در تحقیقی، یک کولتیواتور آزمایشی با سیستم کنترل ۳ کیلومتر بر ساعت برای مبارزه با علف‌های هرز به کار برده شد. نتایج نشان داد که کارایی کنترل علف‌های هرز در این سرعت، ۹۱/۶۸ درصد، مقدار آسیب ۳/۱۴ درصد و ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۴ هکتار بر ساعت بود. در این آزمایش بر ثابت‌بودن سرعت پیشروی تاکید شد (پاندی و همکاران، ۲۰۲۳). هوم (۲۰۰۳) گزارش داد که افزایش سرعت کار در حین عملیات با تیغه‌های بیلچه‌ای در بین ردیف‌ها، منجر به آسیب به محصول به دلیل جابجایی بیشتر خاک می‌شود. این تیغه‌ها باید طوری طراحی شوند که

علف‌های هرز را بدون ریختن خاک به داخل ردیف و روی محصول اصلی، ریشه‌کن یا مدفون نمایند. البته سیرو جدا و همکاران (۲۰۰۳) معتقد بودند که سرعت کار بالاتر تیغه‌های بیلچه‌ای، اگرچه باعث جابجایی بیشتر خاک می‌شود، اما راندمان کنترل علف‌های هرز را افزایش نمی‌دهد. کولتیواتورهای بین ردیفی به طور عمده می‌توانند با جابجایی و ریختن خاک روی علف‌های هرز، آن‌ها را کنترل کنند؛ زیرا دفن کامل یا جزیی علف‌های هرز با خاک، رشد آن‌ها را محدود می‌کند (سیرو جدا و همکاران، ۲۰۰۳؛ یانگ و پیرس، ۲۰۱۴؛ ژانگ و چن، ۲۰۱۷). با این حال، احتمال دفن گیاه زراعی اصلی نیز با ریختن بیش از حد خاک هنگام عبور کولتیواتور بین ردیفی، وجود دارد (جنسن و همکاران، ۲۰۰۴؛ راسموسن و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه دیگری، مقایسه کولتیواتورهای پنجه‌غازی و غلتان در مورد شاخص‌های عملکردی کولتیواتور بررسی شد. با سرعت‌های یکسان ۴-۲ کیلومتر بر ساعت، شاخص کنترل علف‌های هرز در کولتیواتورهای پنجه‌غازی و غلتان به طور متوسط ۸۹ و ۷۴ درصد گزارش شد. این در حالی بود که عمق کار با کولتیواتور پنجه‌غازی و غلتان به ترتیب ۳ و ۴/۵ سانتی‌متر بود. در این آزمایش، کنترل شیمیایی علف‌های هرز، ۹۰ درصد گزارش شد. نتایج کلی، برتری کارایی کولتیواتور پنجه‌غازی نسبت به غلتان را نشان داد (گاتکال و همکاران، ۲۰۲۵). این نتایج نشان می‌دهد که تعیین عمق برش خاک بین ردیف (جوی-های آبیاری)، عامل بسیار مهمی برای به حداکثر رساندن کنترل علف‌های هرز و به حداقل رساندن خسارت به محصول است. به طور خلاصه، یک سامانه کشت بین ردیفی باید علف‌های هرز را نزدیک به ردیف محصول کنترل کند (گرسوی و ازاسلان، ۲۰۲۱). در مناطقی که از علف‌کش، قبل از کاشت و فقط یک بار استفاده می‌شود (مانند علف‌کش تریفلورالین)، استفاده از روش‌های کنترل مکانیکی علف‌های هرز در طول دوره رویش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین به منظور موثر واقع شدن کنترل مکانیکی و سایر مزایای استفاده از کواتیواتور

مانند خاک‌دهی پای بوته، تهویه خاک و فرم‌دهی مجدد جوی و پشته‌ها، ترکیب استفاده از کولتیواتورهای مختلف و زمان استفاده از آن‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. نوع تیغه و سرعت پیشروی کولتیواتور، دو عامل مهم در جابجایی خاک از جوی-های آبیاری به طرف پشته محصول است. ملاندر و همکاران (۲۰۱۵) بر این عقیده بودند که انتخاب نوع تیغه، در موثر بودن کولتیواتورها برای وجین، سله شکنی و حرکت خاک در پای بوته مهم است. همچنین در انتخاب نوع تیغه برای کارکرد موثر کولتیواتورها در محصولات ردیفی از جمله پنبه، باید به بافت خاک، رطوبت خاک، نوع و مرحله رشدی محصول و مقاومت علف‌های هرز به ریشه‌کنی توجه نمود (فوگلبرگ و داک گاستاوسون، ۱۹۹۹). در تحقیقی، ترکیب تیغه‌هایی که هم درون ردیف و هم بین ردیف، عملیات کنترل علف‌های هرز را انجام می‌دادند، مورد مطالعه قرار گرفت. سرعت دورانی نسبت به سرعت پیشروی با توجه به کارکرد تیغه‌های انگشتی روی ردیف کاشت، ۱/۳: ۰/۸ و سرعت پیشروی تراکتور ۱/۸ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که کارایی کنترل علف‌های هرز ۸۸/۴ درصد (دفن و ریشه‌کن شده به ترتیب ۸/۵ و ۷۹/۹ درصد)، بود (چاندل و همکاران، ۲۰۲۱).

ملاندر و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی دو نوع تیغه دندان‌های ثابت و دوار در یک کولتیواتور را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که افزایش سرعت در هر دو نوع تیغه، باعث جابجایی بیشتر خاک می‌شود. همچنین افزایش عمق جوی‌ها (شیارهای بین ردیف‌های کاشت)، در تیغه دندان‌های ثابت در سرعت ۷/۸۲ کیلومتر بر ساعت به ۸ سانتی‌متر رسید. در این سرعت، عمق تیغه دوار حدود ۴ سانتی‌متر گزارش شد. حرکت بیشتر خاک از کف جوی‌ها، شاخص وجین کردن را نیز تا ۸۵ درصد افزایش داد. تحقیقات ژانگ و چن (۲۰۱۷) نیز نشان داد که افزایش حرکت خاک از بین ردیف‌های کاشت، شاخص وجین کردن را افزایش می‌دهد. تحقیقات تعدادی از محققان نشان داد که نوع تیغه به کار رفته در کولتیواتور، سرعت کاربری در این ماشین را تعیین می‌کند. پالن و کاول (۱۹۹۷) معتقد

بودند که در تیغه‌های دندان‌های، افزایش سرعت کولتیواتور، باعث افزایش کارایی می‌شود؛ در حالی که کانکال و همکاران (۲۰۱۴) سرعت‌های پایین در حدود ۱/۵ کیلومتر بر ساعت را در مورد تیغه‌های پنجه‌غازی برای مزایای استفاده از کولتیواتورها پیشنهاد نمودند. نوع تیغه‌های به کار رفته در کولتیواتورها تا حدودی سرعت پیشروی کا با این ماشین را تعیین می‌کند. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که در کولتیواتورهای با تیغه انگشتی و پیچشی، حداکثر سرعت پیشروی به ترتیب ۹/۶ و ۸/۱ کیلومتر بر ساعت است. این در حالی است که حداکثر عمق کار، ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شارما و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج کلی تحقیقات نشان می‌دهد که در جابجایی خاک (عمق ایجاد شده در بین ردیف‌های کاشت) و ارتباط آن با کارایی کنترل علف‌های هرز، نوع تیغه‌های استفاده شده در کولتیواتورها نقش اساسی دارد. در کشت‌های ردیفی و از جمله پنبه، علف‌های هرز بین ردیف‌ها به وسیله انواع تیغه‌های کولتیواتور (هلالی، پنجه‌غازی و دوار) کنترل می‌شوند (ملاندر و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاناکسی و تی، ۲۰۱۴؛ پاناکسی و همکاران ۲۰۱۷). علاوه بر تیغه‌ها برای استفاده از مزایای استفاده از کولتیواتور، زمان استفاده و هزینه کاربرد نیز باید مدنظر قرار گیرد. مقایسه یک بررسی در مورد استفاده و عدم استفاده از حسگرها در تیغه‌های مکانیکی برای کنترل علف‌های هرز نشان داد که شاخص کنترل علف‌های هرز در مورد استفاده از حسگرها در تیغه‌های دوار حدود ۹۰ درصد بود. این در حالی است که متوسط این شاخص در مورد کولتیواتورهایی با تیغه‌های پنجه‌غازی و دیسکی بدون حسگر نیز به طور متوسط ۹۰-۸۰ درصد گزارش شد.

با محاسبات انجام شده، هزینه استفاده از کولتیواتور با تیغه‌های دارای حسگر، ۱/۳ برابر کولتیواتورهای بدون حسگر بود (سانچز و گالاند، ۲۰۲۰). پژوهش‌های انجام شده، نشان می‌دهد که در کاشت ردیفی پنبه، کنترل علف‌های هرز با روش شیمیایی، مکانیکی و تلفیقی باید در ۳ تا ۸ هفته پس از کاشت انجام شود. عدم مبارزه مکانیکی در این بازه زمانی، احتمال کاهش عملکرد محصول تا ۷۶ درصد را به دلیل عدم دفن علف‌های هرز با خاک جابجا شده به دنبال خواهد داشت (علی و همکاران، ۲۰۱۳؛ غاردی و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با کولتیواتورها، بیشتر به کنترل علف‌های هرز پرداخته شده و به سایر مزایای استفاده از این ماشین‌ها مانند خاک‌دهی پای بوته، عمق و حجم خاک جابجا شده که تاثیر مستقیمی بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد محصول پنبه دارند، اشاره نشده است. بنابراین، این تحقیق با هدف تاثیر سه نوع تیغه کولتیواتور بر رفتار فیزیکی خاک و تعیین مناسب‌ترین تیغه در عملیات داشت و ارتباط آن با عملکرد محصول پنبه در زمان‌های متفاوت کاربرد، انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق انجام شده در یک خاک لومی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب در استان فارس انجام شد. تیغه‌های به کار رفته در کولتیواتور از نوع هلالی، پنجه‌غازی و غلتان بود که در هفته‌های ششم و هشتم پس از کاشت پنبه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار به اجرا در آمد. مشخصات کولتیواتورها در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی کولتیواتورهای مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نوع دستگاه	مشخصات
۱	کولتیواتور هلالی	۴ ردیفه - عرض کار ۳۰۰ سانتی‌متر - فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر - سوارشونده، ساخت شرکت تراشکده
۲	کولتیواتور پنجه‌غازی	۴ ردیفه - عرض کار ۳۰۰ سانتی‌متر - فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر - سوارشونده، ساخت شرکت تراشکده
۳	کولتیواتور غلتان	۴ ردیفه - عرض کار ۳۰۰ سانتی‌متر - فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر - سوارشونده، ساخت شرکت تراشکده

نقطه از هر کرت، اندازه‌گیری و میانگین مشاهدات به عنوان عمق کار در هر کرت ثبت گردید. در هنگام انجام عملیات با کولتیواتور، ظرفیت موثر ماشین نیز از رابطه ۱، محاسبه شد:

$$C = \frac{A}{T_t} \quad (1)$$

C = ظرفیت موثر ماشین (هکتار بر ساعت)،
 A = مساحت کولتیواتور زده شده (هکتار)، T_t = کل زمان صرف شده برای عملیات (ساعت)

حجم خاک به هم خورده نیز با استفاده از ظرفیت موثر ماشین کولتیواتور و میانگین عمق عملیات کولتیواتورزنی با استفاده از رابطه ۲، به دست آمد:

$$V = 10000 Cd \quad (2)$$

V = حجم خاک به هم خورده (مترمکعب بر ساعت)، C = ظرفیت مزرعه‌ای ماشین (هکتار بر ساعت)، d = عمق متوسط عملیات (متر)

درصد خاک‌دهی پای بوته: به منظور ارزیابی کولتیواتورها برای خاک‌دادن پای بوته‌ها، ابتدا قبل از عملیات کولتیواتورزنی در ۳۰ نقطه از هر کرت، عمق کف شیار تا محل پشته ردیف بوسیله خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین این اعداد ثبت شد (عمق d_1). پس از عملیات کولتیواتورزنی نیز عمل فوق تکرار گردید (عمق d_2). سپس، درصد خاک‌دهی پای بوته از رابطه ۳، محاسبه شد:

$$\text{درصد خاک‌دهی پای بوته} = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100 \quad (3)$$

d_1 = میانگین عمق کف شیار تا پشته ردیف قبل از عملیات کولتیواتورزنی، d_2 = میانگین عمق کف شیار تا پشته ردیف بعد از عملیات کولتیواتورزنی

عملکرد محصول پنبه: در زمان برداشت، از چهار خط کاشته شده در هر کرت، خطوط کاشته شده اول و چهارم حذف و دو خط وسط نیز با حذف یک متر از ابتدا و انتهای کرت (حذف اثر حاشیه‌ای)، در دو چین برداشت و با ترازوی دیجیتالی برای هر کرت وزن شد.

استفاده از کولتیواتور هلالی یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T_1)، استفاده از کولتیواتور غلتان یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T_2)، استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی یک بار در هفته ششم پس از کاشت (T_3)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و کولتیواتور غلتان در هفته هشتم (T_4)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته هشتم (T_5)، استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته هشتم (T_6)، استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و هشتم (T_7)، استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و هشتم (T_8)، استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته ششم و هشتم (T_9)، کنترل تمام فصل علف‌های هرز (T_{10}) و عدم کنترل علف‌های هرز (T_{11})، به عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شد. تیمارهای T_{10} و T_{11} به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. عرض کار کولتیواتور برای هر سه نوع تیغه، سه متر (۴ خط کاشت پنبه به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۲۰ متر) بود. شاسی کولتیواتور از نوع سوارشونده و با قابلیت مانورپذیری مناسب با تراکتور در کرت‌های آزمایشی بود. عمق کار نیز برای کار با هر سه نوع تیغه هلالی، پنجه‌غازی و غلتان، با تغییر بازوهای روی شاسی به صورت عمودی، ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، خاک با علف‌کش تریفلورالین به مقدار ۲/۵ لیتر بر هکتار از ماده تجارتي ۴۶٪، سمپاشی گردید. بذر مورد استفاده رقم بختگان بود و کاشت با ردیف کار نیوماتیک تراشکده به مقدار ۳۵ کیلوگرم بر هکتار انجام شد.

متغیرهای قابل اندازه‌گیری

عمق خاک بریده شده و حجم خاک به هم خورده توسط کولتیواتورها: با توجه به این که مقدار خاک بریده شده و حجم خاک به هم خورده توسط کولتیواتورها، می‌تواند شاخصی از کارایی این ماشین در تهویه خاک و کنترل مناسب علف‌های هرز باشد، این پارامتر بعد از عملیات کولتیواتورزنی در هر کرت با فروکردن خط‌کش تا محل واقعی کار در طول ۲۰ متر در محل‌هایی که کولتیواتور زده شده بود و در ۳۰

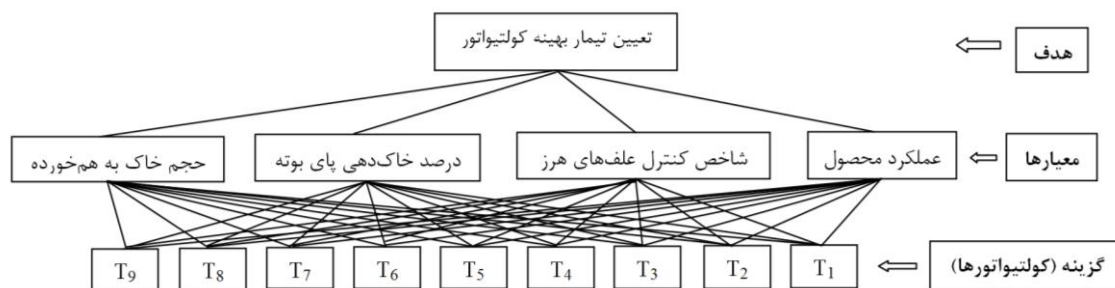
حداکثر اهمیت و عدد ۵، با پنج علامت مثبت (+++++)، در نرم‌افزار تعیین شد. اگر درجه اهمیت متغیرها با هم تفاوت داشته باشد، تابع مطلوبیت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D = (d_1^{r_1} \times d_2^{r_2} \times \dots \times d_n^{r_n})^{\frac{1}{\sum r_i}} = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{r_i} \right)^{\frac{1}{\sum r_i}} \quad (4)$$

D = تابع هدف مطلوبیت، d = مطلوبیت هر کدام از متغیرها، r = مقدار اهمیت هر متغیر، n = تعداد متغیرها

در حالتی که همه متغیرها دارای اهمیت یکسانی باشند، تابع هدف مطلوبیت، به تابع نرمال تبدیل می‌شود.

بهینه‌سازی و مطلوبیت تیمارها: با استفاده از روش تجزیه واریانس، صفات اندازه‌گیری شده (متغیرها)، در مورد هر تیمار (کولتیواتور و زمان استفاده شده)، بررسی و بیشینه هر صفت برای یک تیمار به خصوص به دست آمد. از طرفی، در عمل نیاز است که یک تیمار بهینه، که از نظر تمام صفات اندازه‌گیری شده مطلوبیت داشته باشد، معرفی گردد (شکل ۱). بنابراین با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7.0 و با توجه به تابع هدف، تیمار بهینه و مطلوبیت حاصل از تمام صفات، تعیین گردید. در تابع هدف، اولویت (مقدار اهمیت)، ابزاری برای تغییر نسبی رسیدن به هدف برای تمام متغیرها یا برخی از آن‌ها می‌باشد. مقدار اهمیت (r)، از حداقل ۱، با یک علامت مثبت (+)، تا



شکل ۱- ساختار تعیین تیمار بهینه بر اساس معیارها و گزینه‌های موجود

B_{ic} = اختلاف میانگین منافع تیمار i ام از میانگین منافع تیمار شاهد، B_i = میانگین منافع تیمار i ام، $\bar{B}_c$ = میانگین منافع تیمار شاهد
۲- محاسبه اختلاف میانگین هزینه هر یک از تیمارها از میانگین هزینه تیمار شاهد

$$\bar{C}_{ic} = \bar{C}_i - \bar{C}_c \quad (6)$$

C_{ic} = اختلاف میانگین هزینه تیمار i ام از میانگین هزینه تیمار شاهد، C_i = میانگین هزینه تیمار i ام، C_c = میانگین هزینه تیمار شاهد

۳- محاسبه نرخ سودآوری هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد

$$r_{ic} = ((B_{ic} - C_{ic}) / C_{ic}) \times 100 = (B_{ic} / C_{ic}) - 1 \times 100 \quad (7)$$

r_{ic} = نرخ سودآوری تیمار i ام نسبت به تیمار شاهد

روش تحلیل نهایی نسبت منفعت به هزینه^۱: به منظور تعیین مناسب‌ترین تیمار از بعد اقتصادی در بین تیمارهای مورد مطالعه و بررسی ارجحیت یا عدم ارجحیت آن‌ها نسبت به تیمار شاهد، به تحلیل نهایی نسبت منفعت به هزینه مبادرت گردید. در این روش برای انتخاب سودآورترین تیمار، ابتدا میانگین منافع و هزینه تیمارهای مختلف محاسبه شد. سپس، نسبت نهایی منفعت به هزینه هر تیمار (نرخ سودآوری هر تیمار نسبت به شاهد)، طی مراحل زیر محاسبه گردید:

۱- محاسبه اختلاف میانگین منافع هر یک از تیمارها از میانگین منافع تیمار شاهد

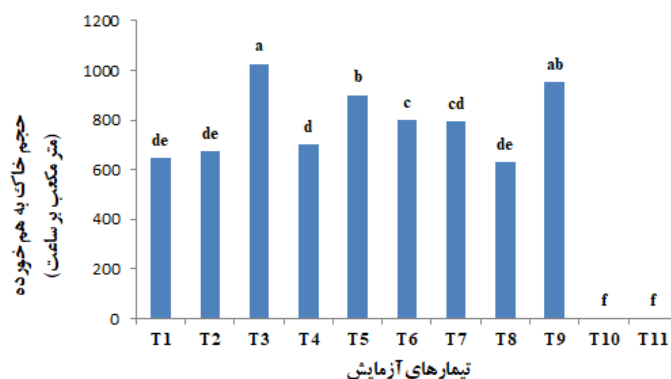
$$\bar{B}_{ic} = \bar{B}_i - \bar{B}_c \quad (5)$$

^۱. Marginal benefit cost ratio analysis method

پس از محاسبه نرخ سودآوری تیمارهای مختلف، تیماری که دارای بالاترین نرخ سودآوری است، به عنوان تیمار برتر انتخاب و بقیه تیمارها بر اساس میزان نرخ سودآوری رتبه بندی شدند.

نتایج و بحث

بررسی حجم خاک به هم خورده و عمق شیار: در بررسی استفاده از کولتیواتورها به صورت انفرادی و ترکیبی مشخص شد که بیشترین میزان حجم خاک به هم خورده (۱۰۲۶ مترمکعب بر ساعت) مربوط به تیمار استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته ششم (T₃) بود (شکل ۲).



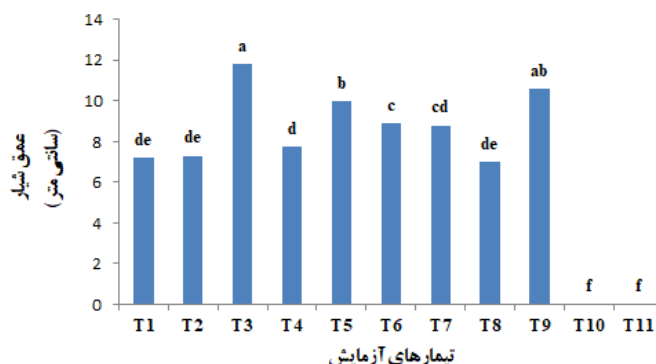
شکل ۲- مقایسه میانگین حجم خاک به هم خورده میانگین‌های با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪).

کولتیواتور در مرتبه دوم، باعث شده که حجم خاک به هم خورده بیشتری (۹۰۰، ۷۹۲ و ۷۰۲ مترمکعب بر ساعت) در کرت‌ها نسبت به استفاده از یک بار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم (T₁)، با ۶۴۸ مترمکعب بر ساعت، به دست آید. در این مورد با توجه به شکل ۲، در تیمارهایی که در هفته ششم یکی از انواع تیغه‌های هلالی، پنجه‌غازی و غلتان استفاده شده و پس از آن در هفته هشتم با کولتیواتور پنجه‌غازی عملیات کولتیواتورزنی صورت گرفته است (T₅، T₆ و T₉) نیز، حجم قابل توجهی از خاک جابجا شده است (۹۰۰، ۸۰۱ و ۹۵۴ مترمکعب بر ساعت). دلیل این امر را می‌توان به سست شدن خاک در استفاده از تیغه‌های کولتیواتور در هفته ششم و استفاده از تیغه پنجه‌غازی با ایجاد بیشترین عمق، نسبت داد. یکی از عواملی که روی میزان حجم خاک به هم خورده تاثیر دارد، عمق ایجاد شده توسط تیغه‌های کولتیواتور است (رابطه ۱). شکل ۳، مقایسه میانگین‌های عمق کار بر حسب سانتی‌متر را در تیمارهای مختلف استفاده از کولتیواتور به صورت انفرادی و ترکیبی نشان می‌دهد.

در بین کرت‌هایی که عملیات کولتیواتورزنی در آن‌ها صورت گرفت، کمترین میزان به هم خوردگی خاک را تیمار استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و هشتم (T₈) و به مقدار ۶۳۰ مترمکعب بر ساعت به خود اختصاص داد و کمترین عمق ایجاد شده (۷ سانتی‌متر) نیز، مربوط به این تیمار بود. از نظر عملکرد کولتیواتورها، کولتیواتور غلتان خراشی در کف خاک ایجاد نمود و حجم خاک به هم خورده در این کولتیواتور نسبت به سایر کولتیواتورها کمتر بود. کارکرد تیغه غلتان باعث می‌شود که ارتفاع بین سطح پشته تا کف جوی کم شده و با توجه به رابطه ۱، حجم خاک به هم خورده کمی توسط این کولتیواتور ایجاد شد. نتایج یک تحقیق نشان داد که در کولتیواتورهای دوار و دندانه‌ای، عمق خاک بریده و جابجا شده بین ردیف‌های کاشت کم است (ملاندر و همکاران، ۲۰۱۵). در مورد تیمارهایی که کولتیواتور هلالی ابتدا در هفته ششم و یکی از انواع کولتیواتورهای غلتان، پنجه‌غازی و هلالی در هفته هشتم استفاده شد (T₅، T₇ و T₄)، استفاده از

هفته‌های ششم و هشتم (T_9) و عمق ۱۰/۶ سانتی‌متر نشان نداد. انجام یک نوبت آبیاری بین هفته‌های ششم و هشتم و سله بستن خاک، از دلایل کم شدن عمق ایجاد شده با این تیمار بود که نفوذ تیغه‌ها را در خاک کم نمود.

عمق‌های ایجاد شده در بین ردیف‌های کاشت توسط کولتیواتور با تیغه‌های هلالی، پنجه‌غازی و غلتان با یکدیگر متفاوت است. در بین تیغه‌ها، تیمار تیغه پنجه‌غازی در هفته ششم (T_3)، عمقی معادل ۱۱/۸ سانتی‌متر ایجاد نمود. این تیمار اختلاف معنی‌داری را با تیمار دو بار استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی در



شکل ۳- مقایسه میانگین عمق شیار (جوی‌های آبیاری)

میانگین‌های با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪).

درصد خاک‌دهی پای بوته: میزان خاک‌دهی پای بوته توسط تیغه کولتیواتورهای مختلف متفاوت است. این تفاوت از نوع ماشین و کاربرد انفرادی و ترکیبی این ادوات ناشی می‌شود. این مورد را سایر محققان نیز تایید نموده‌اند (گورسوی و چن، ۲۰۱۷). جدول ۲، میانگین میزان خاک‌دهی پای بوته را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های درصد خاک‌دهی پای بوته

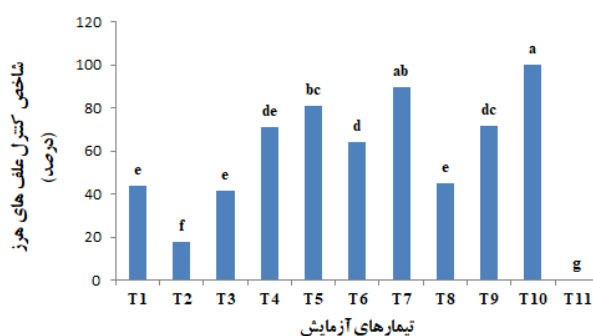
تیمار	خاک دهی پای بوته (درصد)
T ₁	۳۶/۶±۵۱/۰۹ ^c
T ₂	۱۸/۴±۷۶/۱۹ ^{de}
T ₃	۱۹/۴±۲۴/۰۳ ^{abc}
T ₄	۱۲/۳±۶۳/۱۲ ^{de}
T ₅	۳۸/۷±۴۵/۲۳ ^a
T ₆	۳۲/۴±۱۶/۳۲ ^a
T ₇	۵/۱±۷۱/۰۱ ^{dc}
T ₈	۱۲/۲±۳۱/۱۸ ^{de}
T ₉	۲۸/۴±۰۸/۳۹ ^a
T ₁₀	۰±۰/۰۰ ^{bcd}
T ₁₁	۰±۰/۰۰ ^{bcd}

میانگین‌های با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪).

کولتیواتور هلالی در زمان کاربرد، مقداری از خاک را بریده و ارتفاع کف شیار تا سطح پشته در عمل کاهش می‌یابد. کولتیواتور غلتان نیز در هنگام انجام عملیات، خاک را خراش داده و شیارهای کم عمقی در سطح خاک ایجاد می‌کند. همانطور که در شکل ۳، مشاهده می‌شود، تیمارهای T_1 و T_7 ، که در آن‌ها کولتیواتور هلالی یک یا دو بار استفاده شده، به‌ترتیب عمق‌های ۷/۲ و ۸/۸ سانتی‌متر را ایجاد نمود که اختلاف معنی‌داری را نیز نشان نداد. استفاده از کولتیواتور غلتان یک بار در هفته ششم (T_2) و دو بار در هفته ششم و هشتم (T_8)، به‌ترتیب عمق‌های ۷/۳ و ۷/۷ سانتی‌متر را ایجاد نمود. کاهش عمق ایجاد شده در حدود ۴ سانتی‌متر، با کاربرد کولتیواتور دوار توسط ملاندر و همکاران (۲۰۱۵)، نیز گزارش شده است. تیمارهایی که در آن‌ها کولتیواتور هلالی و غلتان یک بار استفاده و سپس کولتیواتور پنجه‌غازی برای بار دوم استفاده شده است (T_5 و T_6)، عمق‌های بیشتری را در بین ردیف‌ها (کف جوی‌ها تا پشته ردیف کاشت) ایجاد نموده است (به‌ترتیب ۱۰ و ۸/۹ سانتی‌متر). بنابراین از نظر برش خاک و عمق خاک جابجا شده، به ترتیب تیغه‌های پنجه‌غازی، هلالی و غلتان قرار دارند.

چرا که با توجه به ساختمان این نوع کولتیواتور، خاک به خوبی از کف شیار بریده شده و روی پشته‌ها هدایت می‌شود. کولتیواتور غلتان با خراشی که در سطح جوی‌ها ایجاد می‌کند، مقداری از خاک را کنده و با افزایش حجم خاک در محل مورد عملیات، عمق ثانویه را در نقطه مورد نظر کم نموده و در عمل خاکی روی پشته و کنار بوته‌ها نمی‌دهد. در نهایت کولتیواتور هلالی وجود دارد که خاک را در جای خود بریده و به مقدار زیاد (بیشتر از کولتیواتور غلتان)، خاک را بالا می‌آورد. در نتیجه این کولتیواتور نیز در عمل خاکی پای بوته‌ها نمی‌دهد. اثربخشی کولتیواتورها بین ردیفی در جابجایی خاک و خاک دادن پای بوته بر اساس ویژگی‌های طراحی و پارامترهای سرعت و عمق کار، در پژوهش‌های سایر محققان نیز دیده می‌شود (افضلی نیا و همکاران، ۲۰۰۸؛ گورسوی و چن، ۲۰۱۷).

کنترل علف‌های هرز: داده‌های به دست آمده از کاربرد تیغه‌های هلالی، پنجه‌غازی و غلتان نشان داد که بیشترین مقدار کنترل علف‌های هرز با کاربرد دو بار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و هشتم (T_7) و به مقدار ۸۹/۶۴ درصد به دست آمد. این تیمار، تفاوت معنی‌داری را با کنترل تمام فصل علف‌های هرز (T_{10}) نداشت (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص کنترل علف‌های هرز

میانگین‌های با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪).

سایر محصولات مانند چغندر قند تایید نموده‌اند (افضلی نیا و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم (T_5)، نیز با ۸۰/۷۹ درصد کنترل علف‌های هرز و عدم

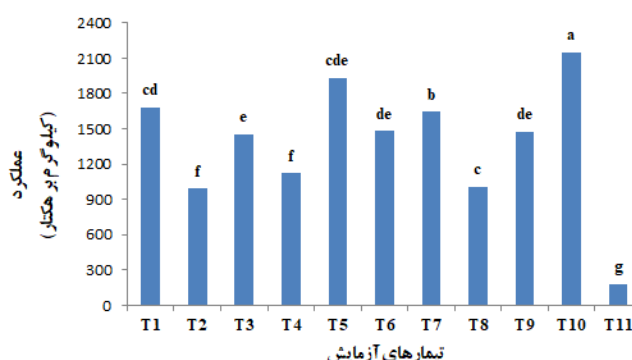
همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود، تیمارهای T_5 ، T_6 ، T_9 و T_3 ، به ترتیب با ۳۸/۴۵، ۳۲/۱۶، ۲۸/۰۸ و ۱۹/۲۴ درصد، بیشترین میزان‌های خاک‌دهی پای بوته را داشته و بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نسبت به سایر تیمارها قرار گرفته‌اند. این تیمارها آن‌هایی هستند که در آن‌ها کولتیواتور پنجه‌غازی به کار رفته است. افزایش درصد خاک‌دهی پای بوته توسط سایر تیمارهای کولتیواتور ترکیبی (T_5 ، T_6 و T_9)، نسبت به تیمار یک بار استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی (T_3)، را می‌توان به کاربرد یکی از انواع کولتیواتورهای غلتان، هلالی و پنجه‌غازی در هفته ششم و قبل از کاربرد کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته هشتم مرتبط دانست که دلیل آن سست نمودن خاک توسط این کولتیواتورها در هفته ششم است. سایر تیمارهای استفاده از کولتیواتور، چه به صورت انفرادی و چه به صورت ترکیبی، مربوط به تیمارهایی است که میزان خاک‌دهی پای بوته در آن‌ها منفی است (T_1 ، T_2 ، T_4 ، T_7 و T_8). منفی بودن درصد این پارامتر در این تیمارها، از آنجا ناشی می‌شود که عمق ثانویه بعد از عملیات با کولتیواتورها در این تیمارها، کمتر از عمق اولیه است. بنابراین طبق رابطه ۳، این پارامتر منفی شده است. به طور کلی از نظر خاک‌دهی پای بوته، کولتیواتور پنجه‌غازی بهترین عملکرد را دارد؛

این نتیجه بیانگر این مطلب است که استفاده از کولتیواتور می‌تواند جایگزین روش دستی شود و سایر مزایای استفاده از این ماشین را نیز داشته باشد. سایر محققان نیز جایگزینی روش دستی با کولتیواتور را در

می‌دهد. تیغه پنجه‌غازی با حرکت خود در درون جوی، خاک را بریده و به دو طرف ردیف کناری هدایت کرده و تعدادی از علف‌های هرز از کناره‌های این تیغه بدون قطع شدگی یا ریشه‌کن شدن، باقی می‌مانند. کمترین کارایی کنترل علف‌های هرز، مربوط به تیغه غلتان است که با حرکت خود در شیارهای بین ردیف کاشت، فقط خاک را خراش داده و بعضی از علف‌های هرز به وسیله دندانه‌های انحنا دار این تیغه در هنگام دوران بریده می‌شود. نتایج کاربرد کولتیواتور غلتان در کارایی کمتر کنترل علف‌های هرز نسبت به کولتیواتور هلالی و پنجه‌غازی در چغندر قند نیز در گزارش‌های سایر محققان آمده است (افضلی نیا و همکاران، ۲۰۰۸).

عملکرد محصول: در تیمارهایی که عملیات کولتیواتورزنی انجام شد، بیشترین عملکرد و ش مربوط به تیمار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم (T_5) با ۱۹۳۴ کیلوگرم بر هکتار بود (شکل ۵). این تیمار از نظر شاخص کنترل علف‌های هرز نیز با ۸۰/۷۹ درصد، بیشترین کنترل علف‌های هرز را به خود اختصاص داد. از طرفی حجم خاک به هم خورده در این تیمار ۷۹۲ مترمکعب بر ساعت به دست آمد. افزایش عملکرد محصول با شکستن لایه‌های خاک و نفوذ آب در خاک توسط کولتیواتور پنجه‌غازی، در تحقیقات سایر محققان نیز تایید شده است (بوساری و همکاران، ۲۰۱۵).

اختلاف معنی‌دار با تیمار دو بار استفاده از کولتیواتور هلالی در رده بعدی قرار داشت. این تیمار (T_5)، بیشترین مقدار خاک‌دهی پای بوته را نیز به خود اختصاص داد (جدول ۲). نتایج تحقیقات تعدادی از محققان نیز نشان داد که جابجایی خاک از جوی‌ها به سمت پشته‌های استقرار گیاه اصلی، علف‌های هرز را با دفن کامل یا جزئی، کنترل می‌کند (سیرو جدا و همکاران، ۲۰۰۳؛ یانگ و پیرس، ۲۰۱۴). همچنین افزایش شاخص وجین کردن تا ۸۵ درصد با کولتیواتور در اثر افزایش جابجایی خاک، توسط ژانگ و چن (۲۰۱۷)، تایید شده است. نتایج داده‌های به دست آمده نشان داد که کاربرد دو بار کولتیواتور در کنترل علف‌های هرز در هفته‌های ششم و هشتم، نتایج بهتری را نسبت به استفاده از یک بار کولتیواتور در هفته ششم به دنبال دارد. کمترین مقدار کنترل علف‌های هرز در یک بار استفاده از کولتیواتور هلالی، غلتان و پنجه‌غازی به ترتیب با ۴۳/۶۳، ۱۷/۵۴ و ۴۱/۶۲ درصد به دست آمد. استفاده از کولتیواتور با تیغه غلتان یک بار در هفته ششم (T_2) و دوبار در هفته ششم و هشتم (T_8)، به ترتیب با ۱۷/۵۴ و ۴۴/۷۳ درصد کنترل علف‌های هرز را در پی داشت. از نتایج چنین استنباط می‌شود که تیغه هلالی در کولتیواتورها با قطع کردن و در مواردی ریشه‌کنی علف‌های هرز بین ردیف‌ها (جوی‌های آبیاری)، کنترل علف‌های هرز را نسبت به دو تیغه دیگر به طور مناسب‌تری انجام



شکل ۵- مقایسه میانگین عملکرد محصول

میانگین‌های با حروف یکسان اختلاف معنی‌دار ندارند (دانکن ۵٪).

تیمار یک بار استفاده از کولتیواتور هلالی (T₁) نیز با ۱۶۸۳ کیلوگرم بر هکتار تولید و ش و ۴۳/۶۳ درصد کنترل علف‌های هرز نیز عملکرد قابل قبولی را بر جای گذاشت. تیمارهای استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی در هفته‌های ششم و هشتم (T₉) با ۱۴۷۸ کیلوگرم بر هکتار و ش پنبه و ۷۱/۵۲ درصد کنترل علف‌های هرز و نیز ۲۸/۰۸ درصد خاک‌دهی پای بوته، عملکرد پایین‌تری نسبت به استفاده از کولتیواتور هلالی داشت. دلیل این امر را می‌توان، به هم خوردگی زیاد خاک و کاهش رطوبت در استفاده از دو بار کولتیواتور پنجه‌غازی دانست. در استفاده از ولتیواتور غلتان در هفته ششم و هشتم (T₈)، ۱۰۱۱ کیلوگرم بر هکتار و ش تولید شد. مقدار خاک‌دهی پای بوته در این تیمار ۱۲/۳۱- درصد و حجم خاک به هم خورده ۶۳۰ مترمکعب بر هکتار بود. استفاده از کولتیواتورها با تیغه‌های مختلف، دارای مزایایی مثل کنترل علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته، حجم خاک جابجا شده و تهویه خاک و در نهایت افزایش عملکرد محصول است. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که تمام این مزایا در یک نوع تیغه خاص (هلالی، غلتان و پنجه‌غازی)، وجود ندارد. در تیمارهایی که از کولتیواتور غلتان در هفته هشتم استفاده شده است

(T₄ و T₈)، عملکرد و ش پایین و از یک بار استفاده از کولتیواتور هلالی و پنجه‌غازی نیز پایین‌تر است (شکل ۵). یک بار استفاده از کولتیواتور پنجه‌غازی پس از کولتیواتور هلالی و غلتان (T₅ و T₆)، عملکرد تیغه‌های هلالی و غلتان را افزایش داد. با توجه به عملکرد مطلوب تیغه هلالی در کنترل علف‌های هرز، استفاده از تیغه پنجه‌غازی پس از این تیغه، خاک‌دهی پای بوته و به هم خوردگی خاک را افزایش داده است.

بررسی تیمار بهینه و حد مطلوبیت تیمارها: با توجه به این که یک کولتیواتور برای انجام عملیات با حداکثر کارایی، باید از نظر شاخص کنترل علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته، حجم خاک به هم خورده و عملکرد محصول در حد بالایی باشد، امتیاز به اولویت‌بندی صفات اندازه‌گیری شده، در دو مرحله انجام گردید. ابتدا برای صفات اندازه‌گیری شده، اولویت ۵ انتخاب شد. پس از انجام محاسبات، بیشترین مطلوبیت برای تمام شاخص‌ها، در استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم به مقدار ۶۸ درصد (تیمار بهینه)، و کمترین مطلوبیت برای کولتیواتور غلتان در هفته ششم به مقدار ۱۲/۵ درصد به دست آمد (جدول ۳ و ۴).

جدول ۳- وضعیت بهینه‌سازی تیمارها بر اساس صفات اندازه‌گیری شده و اولویت‌های یکسان

اولویت	حد بالا	حد پایین	هدف	صفات اندازه‌گیری شده
۵	۲۱۷۵/۴۴	۳۴۹/۲۱	بیشینه	عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)
۵	۱۰۰	۵/۲۶	بیشینه	شاخص کنترل علف‌های هرز (درصد)
۵	۶۷/۵۰	-۵۱/۴۴	بیشینه	خاک‌دهی پای بوته (درصد)
۵	۸۹۷/۷۳	۱۱۷/۷۹	بیشینه	حجم خاک به هم خورده (مترمکعب بر ساعت)

جدول ۴- حد مطلوبیت حداکثر و حد اقل و انتخاب تیمار بهینه با اولویت‌های یکسان

حد مطلوبیت (درصد)	حجم خاک به هم خورده	درصد خاک‌دهی پای بوته	شاخص کنترل علف‌های هرز	عملکرد محصول	نوع و زمان استفاده از کولتیواتور
۶۸	۹۰۰	۳۸/۴۵	۸۰/۷۹	۱۹۳۴	کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی هفته هشتم
۱۲/۵	۶۵۰	-۱۸/۷۶	۱۷/۵۴	۸۳۲/۴۸	کولتیواتور غلتان

حصول حداکثر عملکرد بود، اولویت ۵ برای عملکرد، انتخاب و برای سایر صفات (شاخص کنترل علف‌های

در مرحله دوم، با توجه به این که تمام عملیات ماشینی از جمله استفاده از کولتیواتور، به منظور

هرز، خاک‌دهی پای بوته و حجم خاک به هم خورده)،
 اولویت ۴ تعیین شد. نتایج به دست آمده نشان داد که
 تفاوتی از نظر انتخاب نوع کولتیواتور با حداکثر و
 حداقل مطلوبیت، نسبت به مرحله قبل وجود ندارد.
 بنابراین با توجه به این که هرکدام از کولتیواتورها
 ازجمله کولتیواتور هلالی، از نظر بعضی از صفات،
 نسبت به بقیه در حد بالاتری قرار دارند، ولی تجزیه و
 تحلیل تیمار بهینه نشان داد که از نظر کل صفات،
 ممکن است تیمارهای دیگر ارجحیت داشته باشند.
 بنابراین در ارتباط با مطلوبیت حداکثر و انتخاب تیمار
 بهینه با اولویت‌های متفاوت نیز، تیمار کولتیواتور
 هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم
 (T_5)، بیشترین مطلوبیت را داشته و تیمار بهینه است
 (جدول ۵ و ۶).

جدول ۵- وضعیت بهینه‌سازی تیمارها بر اساس صفات اندازه‌گیری شده با اولویت‌های متفاوت

اولویت	حد بالا	حد پایین	هدف	صفات اندازه‌گیری شده
۵	۲۱۷۵/۴۴	۳۴۹/۲۱	بیشینه	عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)
۴	۱۰۰	۵/۲۶	بیشینه	شاخص کنترل علف‌های هرز (درصد)
۴	۶۷/۵۰	-۵۱/۴۴	بیشینه	درصد خاک‌دهی پای بوته (درصد)
۴	۸۹۷/۷۳	۱۱۷/۷۹	بیشینه	حجم خاک به هم خورده (مترمکعب بر ساعت)

جدول ۶- حد مطلوبیت حداکثر و حداقل و انتخاب تیمار بهینه با اولویت‌های متفاوت

نوع و زمان استفاده از کولتیواتور	عملکرد محصول	شاخص کنترل علف‌های هرز	درصد خاک‌دهی پای بوته	حجم خاک به هم خورده	حد مطلوبیت (درصد)
کولتیواتور هلالی هفته ششم و پنجه‌غازی هفته هشتم	۱۹۳۴	۸۰/۷۹	۳۸/۴۵	۹۰۰	۶۸
کولتیواتور غلتان	۸۳۲/۴۸	۶/۳۷	-۱۸/۷۶	۶۵۰	۱۳

تجزیه و تحلیل اقتصادی: اطلاعات جدول ۷، حاکی از آن است که، یک بار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم (T_1) و کنترل تمام فصل علف‌های هرز (T_{10})، بیشترین نرخ سودآوری را در بین تیمارهای مورد مطالعه به خود اختصاص داده و پس از آن تیمارهای $T_3, T_5, T_2, T_{11}, T_7, T_6, T_8, T_9$ و T_4 قرار گرفته‌اند.

جدول ۷- پارامترهای اقتصادی تیمارهای مورد مطالعه (ریال)

تیمار	درآمد	هزینه متغیر	B_{ic}	C_{ic}	r_{ic}	رتبه
T_1	۴۲۰۴۷۷۷۰	۲۶۳۱۵۰	۳۷۴۶۵۷۷۰	۲۶۳۱۵۰	۸۷۳۰۰	۱
T_2	۲۴۷۷۳۷۹۰	۲۶۳۱۵۰	۲۰۱۹۱۷۹۰	۲۶۳۱۵۰	۴۶۴۴۰	۴
T_3	۳۶۳۵۱۲۲۰	۲۶۳۱۵۰	۳۱۷۶۹۲۲۰	۲۶۳۱۵۰	۷۳۶۸۰	۲
T_4	۲۸۱۰۶۶۱۰	۵۲۶۳۰۰	۲۳۵۲۴۶۱۰	۵۲۶۳۰۰	۲۶۶۲۰	۸
T_5	۴۸۳۱۸۳۹۰	۵۲۶۳۰۰	۴۳۷۳۶۳۸۹	۵۲۶۳۰۰	۵۰۷۷۰	۳
T_6	۴۱۱۴۸۰۸۰	۵۲۶۳۰۰	۳۶۵۶۶۰۷۰	۵۲۶۳۰۰	۴۲۱۰۰	۶
T_7	۴۲۴۴۷۲۳۰	۵۲۶۳۰۰	۳۷۸۶۵۲۳۰	۵۲۶۳۰۰	۴۳۳۴۰	۵
T_8	۳۶۹۵۰۸۳۰	۵۲۶۳۰۰	۳۲۳۶۸۸۳۰	۵۲۶۳۰۰	۳۷۱۵۰	۷
T_9	۳۶۹۲۵۸۴۰	۵۲۶۳۰۰	۳۲۳۴۳۸۴۰	۵۲۶۳۰۰	۳۷۱۵۰	۷
T_{10}	۴۲۰۴۷۷۷۰	۲۶۳۱۵۰	۳۷۴۶۵۷۷۰	۲۶۳۱۵۰	۸۷۳۰۰	۱
T_{11}	۲۴۷۷۳۷۹۰	۲۶۳۱۵۰	۲۰۱۹۱۷۹۰	۲۶۳۱۵۰	۴۶۴۴۰	۴

B_{ic} = اختلاف میانگین منافع تیمار $\bar{A}$ از میانگین منافع تیمار شاهد، C_{ic} = اختلاف میانگین هزینه‌های تیمار $\bar{A}$ از میانگین هزینه‌های تیمار شاهد، r_{ic} = نرخ سودآوری هر یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد (درصد)

نتایج این پژوهش نشان داد که مزایای کاربرد کولتیواتورها، با ترکیب استفاده از ترکیب مناسب تیغه‌های مختلف کولتیواتور به دست می‌آید. کولتیواتور هلالی، علف‌های هرز را به خوبی کنترل نموده، ولی دارای مزیت خاک‌دهی پای بوته نیست. کولتیواتور پنجه‌غازی در مقایسه با کولتیواتور هلالی، علف‌های هرز کمتری را کنترل کرده، اما خاک‌دهی پای بوته و به هم خوردن خاک و ترمیم جوی‌های آبیاری با این نوع تیغه، به خوبی انجام می‌شود. در بین تیغه‌های کولتیواتور مورد استفاده در مزرعه پنبه، کولتیواتور غلتان، از نظر عملکرد در خاک، کمترین کارایی را از خود نشان داد. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده از عملکرد مناسب ترکیب کولتیواتورهای مختلف و حد مطلوبیت تیمارها و نیز بررسی‌های اقتصادی، کاربرد کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم، برای کاربرد در مزارع پنبه، مناسب به نظر می‌رسد.

در استفاده ترکیبی از کولتیواتورها، ترکیب کولتیواتور هلالی و پنجه‌غازی (T₅)، مناسب‌ترین وضعیت اقتصادی را در بین تیمارها داشت (رتبه ۳) و استفاده از کولتیواتور هلالی و غلتان (T₄)، پایین‌ترین رتبه را از نظر اقتصادی به خود اختصاص داد (رتبه ۸). تیمار استفاده از کولتیواتور غلتان در هفته ششم و هشتم (T₈)، رتبه ۷ مزیت اقتصادی را در برداشت. همانطور که قبلاً نیز بیان شد، کولتیواتور غلتان کمترین کارایی را در بین کولتیواتورها، از خود به جای گذاشت. با توجه به مزایای ترکیب استفاده از کولتیواتورها در انجام عملیات داشت در سایر مطالعات انجام شده (افضلی نیا و همکاران، ۲۰۰۸)، و نیز تحقیق حاضر، تیمار استفاده از کولتیواتور هلالی در هفته ششم و پنجه‌غازی در هفته هشتم (رتبه ۳ مزیت اقتصادی)، تیمار مناسبی برای استفاده ترکیبی از کولتیواتورها در مزرعه پنبه است.

نتیجه‌گیری

منابع

1. Afzalnia, S., Niroomand-jahromi, M., and Mohammadi, D. 2008. The effect of row crop cultivator types on sugar beet yield and quality. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(2): 57-68.
2. Ali, H., Abid, S.A., Ahmad, S., Sarwar, N., Arooj, M., Mahmmod, A., and Shahzad, A.N. 2013. Integrated weed management in cotton cultivated in the alternate-furrow planting system. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(3,4): 1664-1669.
3. Amonov, M., Pulatov, A.S., and Colvin, T.S. 2006. Machine innovation for inter row cotton cultivation in Uzbekistan. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(5): 665-674.
4. Brodie, G., 2018. The use of physics in weed control. pp. 33–59. *In: Non-Chemical Weed Control*. Academic Press.
5. Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., and Dulazi, A.A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2): 119-129.
6. Chandel, N.S., Chandel, A.K., Roul, A.K., solanke, K.R. Mehta, C.R. 2021. An integrated row weeding system for row crops. *Crop Protection*, 145: 105642.
7. Chandel, N.S., Tripathi, H., and Tewari, V.K. 2015. Evaluation and adoption scope of rotary power weeder for weed management in vegetable Crops. *International Journal of Bio-resource Stress Management*, 6 (4): 534–538.
8. Chandel, A.K., Tewari, V.K., Kumar, S., Nare, B., and Agarwal, A. 2018. On-the-go position sensing and controller predicated contact type weed eradicator. *Current Science*, 114 (7): 1485–1494.
9. Cirujeda, A., Melander, B., Rasmussen, K., and Rasmussen, I.A. 2003. Relationship between speed, soil movement into the cereal row and intra-row weed control efficacy by weed harrowing. *Weed Research*, 43: 285–296.

10. Datta, A., Ullah, H., Tursun, N., Pornprom, T., Knezevic, S.Z., and Chauhan, B.S. 2017. Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop Protection*, 95: 60–68.
11. Farooq, A., Jabran, K., Cheema, Z.A., Wahid, A., and Siddique, K.H.M. 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Sciences*, 67: 493-506.
12. Fogelberg, F., and Dock Gustavsson, A.M. 1999. Mechanical damage to annual weeds and carrots by in-row brush weeding. *Weed Research*, 39: 469-479.
13. Fuentea, E.B., Suárez, S.A., Lenardis, A.E., and Poggio, S.L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 70: 47-52.
14. Gatkal, N.R., Nalawade, S.M., Shelke, M.S., Sahni, R.K., Walunj, A.A., Kadam, P.B., and Ali, M. 2025. Review of cutting-edge weed management strategy in agricultural systems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 18(1): 25-42.
15. Gharde, Y., Singh, P.K., Dubey, R.P., and Gupta, P.K. 2018. Assessment of yield and economic losses in Agricultural due to weed in India. *Crop Protection*, 107: 12-18.
16. Gursoy, S., and Chen, Y. 2017. Evaluation of inter-row sweeps with different working widths. *Applied Engineering in Agriculture*, 33(3): 307-312.
17. Gursoy, S., and Ozaslan, C. 2021. Evaluating the performance of rotary and tine inter-row cultivators at different working speeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(6): 1255-1267.
18. Home, M. 2003. An investigation into the design of cultivation systems for inter- and intra-row weed control. PhD. Thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.
19. Jensen, R.K., Rasmussen, J., and Melander, B. 2004. Selectivity of weed harrowing in lupin. *Weed Research*, 44: 245–253.
20. Kankal, U.S., Khmabalkar, V.P., Karale, D.S., and Nage, S.M. 2014. Effect of operating speed, moisture content of soil and approach angle of sweep on specific draft and weeding efficiency. *International Journal of Engineering and Science*, 3(6): 01-09.
21. Melander, B., Holts, N., Rasmussen, I.A., and Hansen, P.K. 2012. Direct control of perennial weeds between crops-implications for organic farming. *Crop Protection*, 40: 36-42.
22. Melander, B., Lattanzi, B., and Pannacci, E. 2015. Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection*, 72: 1-8.
23. Mohler, C.L., Staver, C.P., and Liebman, M. 2001. *Ecological management of agricultural weeds* (No. 632.58 E18e). Cambridge University Press, New York, US.
24. Nadeem, M.A., Idrees, M., Ayub, M., Tanveer, A., and Mubeen, K. 2013. Effect of different weed control practices and sowing methods on weeds and yield of cotton. *Pakistan Journal of Botany*, 45: 1321-1328.
25. Pandey, H.S., Tiwari, G.S., and sharma, A.K. 2023. Design and development of an e-powered inter-row weeder for small farm mechanization. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 82: 671-682.
26. Pannacci, E., and Tei, F. 2014. Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection*, 64: 51–59.
27. Pannacci, E., Lattanzi, B., and Tei, F. 2017. Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. *Crop Protection*, 96: 44-58.
28. Prabhu, G., Halepyati, A.S., Pujari, B.T., and Desai, B.K. 2012. Weed management in Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigation. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 25: 183-186.
29. Pullen, D.W.M., and Cowell, P.A. 1997. An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for use in high-speed inter-row weeding in arable crops. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67(1): 27– 34.
30. Rao, A.N., Singh, R.G., Mahajan, G., and Wani, S.P. 2020. Weed research issues, challenges, and opportunities in India. *Crop Protection*, p. 104451.

31. Rasmussen, J., Nielsen, H.H., and Gundersen, H. 2009. Tolerance and selectivity of cereal species and cultivars to post-emergence weed harrowing. *Weed Science*, 57: 338–345.
32. Sanchez, J., Gallandt, E.R. 2020. Functionality and efficacy of Franklin Robotics' Tertill robotic weeder. *Weed Technology*, 35(1): 166-170.
33. Sharma, H.C., and Pampapathy, G. 2006. Influence of transgenic Cotton on the relative abundance and damage by target and non-target insect pests under different protection regimes in India. *Crop Protection*, 25: 800–813.
34. Sharma, G., Shrestha, Kunwar, S., Tseng, T. 2021. Crop diversification for improved weed management: A review. *Agriculture*, 11(5): 461.
35. Shrinivasa, D.J., and Kumar, S. 2017. Development and evaluation of mechanical weeder for finger millet crop. *International Journal of Agriculture Environment and Biotechnology*, 10 (2): 217–221.
36. Tewari, V.K., Kumar, A.A., Nare, B., Prakash, S., and Tyagi, A. 2014. Microcontroller based roller contact type herbicide applicator for weed control under row crops. *Computer and Electronics in Agriculture*, 104: 40–45.
37. Turner, R.J., Davies, G., Moore, H., Grundy, A.C., and Mead, A. 2007. Organic weed management: a review of the current UK farmer perspective. *Crop Protection*, 26 (3): 377–382.
38. Young, S.L., and Pierce, F.J. 2014. *Automation: The future of weed control in cropping systems*. Springer, Newyork, USA.
39. Zhang, X., and Chen, Y. 2017. Soil disturbance and cutting forces of four different sweeps for mechanical weeding. *Soil and Tillage Research*, 168: 167–175.