

## مقایسه برخی شاخص‌های فنی در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم

الیاس دهقان<sup>۱\*</sup> و مرتضی الماسی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۲۴)

## چکیده

مدیریت عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت محصولات مختلف در مناطق گوناگون نیازمند دسترسی به شاخص‌ها و اطلاعاتی در مورد شرایط، چگونگی، مزایا و معایب انجام روش‌های گوناگون خاک‌ورزی است. این تحقیق در تابستان سال ۱۳۸۲ در یک خاک رسی حاوی بقایای گندم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور واقع در شمال اهواز اجرا شد. آزمایش‌ها به صورت بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و با شش تیمار انجام شد. تیمارها شامل روش‌های خاک‌ورزی مرسوم به صورت شخم برگردان به عمق ۲۰ cm + دوبار دیسک + ماله (T1)، دوبار دیسک سبک به عمق ۱۰ cm - ۸ + ماله (T2)، دوبار دیسک سنگین به عمق ۱۵ cm - ۱۲ + ماله (T3)، کولتیواتور به عمق ۱۰ cm + ماله (T4)، کولتیواتور به عمق ۱۵ cm + ماله (T5) و گاواهن دوار به عمق ۱۵ cm (T6) بود. نتایج نشان داد که میزان مصرف سوخت در روش‌های T2 تا T6 به ترتیب به میزان ۵۷، ۵۱، ۶۷، ۵۴ و ۶۹ درصد نسبت به روش مرسوم، با ۴۹ لیتر در هکتار، کاهش یافت. کل زمان مورد نیاز در سیستم‌های خاک‌ورزی T2 تا T6 به ترتیب به میزان ۴۲، ۴۶، ۴۲، ۵۴ و ۴۴ درصد نسبت به روش مرسوم، با ۴/۴۱ ساعت بر هکتار، کاهش یافت. ظرفیت مزرعه‌ای در روش‌های T2 تا T6 نسبت به روش مرسوم، با ۲۲۷/۰ هکتار بر ساعت، به ترتیب به میزان ۲/۴، ۲/۲، ۲/۴، ۱/۸ و ۲/۳ برابر افزایش یافت. قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (MWD) در T2 تا T5 نسبت به روش مرسوم با میانگین ۱/۹۲ سانتی‌متر، به ترتیب به میزان ۲۹، ۲۱، ۱۰ و ۵ درصد بیشتر و در T6 به میزان ۶ درصد کمتر شد. هزینه خاک‌ورزی T2 تا T6 نسبت به روش مرسوم با هزینه ۵۰۰۰۰۰ ریال بر هکتار، به ترتیب به میزان ۴۰، ۳۲، ۵۴، ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش نشان داد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی، دیسک، کولتیواتور، گاواهن دوار

## مقدمه

زمین باعث شده تا درجه مکانیزاسیون برای خاک‌ورزی در اکثر مناطق ۱۰۰٪ است (۱). طبق تحقیقات انجام شده در حدود ۶۰٪ از انرژی مکانیکی در کشاورزی مکانیزه برای عملیات خاک‌ورزی مصرف می‌گردد (۱۳). هم‌چنین خاک‌ورزی، سهم قابل توجهی در هزینه تولید محصولات کشاورزی دارد. بر اساس آمار وزارت کشاورزی، سهم هزینه آماده‌سازی زمین از کل هزینه‌های تولید محصول در خوزستان در سال ۸۶-۱۳۸۵

روش خاک‌ورزی غالباً بیان‌کننده نوع ماشین‌ها و ادوات به کار رفته بوده و دارای روش‌های تعریف شده و گاه تعریف نشده‌ای است که بسته به شرایط آب و هوایی و فیزیکی و شیمیایی خاک، نوع محصول، هدف تولید، زمان و نوع ماشین‌ها و ادوات در اختیار، دارای آثار سودمند و گاه زیانبار است.

سختی انجام کار و انرژی‌خواه بودن عملیات آماده‌سازی

۱. عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. استاد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: elyas\_dehghan@yahoo.com

روشن نمود که بیشترین بازده مصرف سوخت و انرژی به ترتیب از دیسک، رتیواتور، گاوآهن بشقابی و گاوآهن برگردان‌دار به‌دست آمد (۱۵). ولی مقایسه روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی توسط برخی دیگر از پژوهشگران نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی در برخی مناطق از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست (۱۰، ۱۴ و ۲۲).

دهقان و الماسی با مقایسه اثر روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، دوبار دیسک، کولتیواتور و گاوآهن دوار (به عمق ۵ سانتی‌متر) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در منطقه شاوور خوزستان، گزارش نمودند که روش‌های خاک‌ورزی مورد بررسی از نظر عملکرد شلتوک تفاوت معنی‌دار نداشتند (۵).

سکینه و آنیل با بررسی اثر سه روش خاک‌ورزی ۱- شخم برگردان + دوبار دیسک، ۲- خاک‌ورزی سطحی با خاک‌ورز دوار + یکبار دیسک و ۳- دوبار دیسک، بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و عملکرد گندم در یک خاک رسی لومی در ترکیه گزارش نمودند که بیشترین مقدار MWD به ترتیب توسط خاک‌ورزی با دوبار دیسک، خاک‌ورزی با شخم برگردان + دوبار دیسک و خاک‌ورز دوار + یکبار دیسک به‌دست آمد. آنها همچنین گزارش نمودند که افزایش MWD و زمختی کلوخه‌ها باعث کاهش جوانه‌زنی بذرها می‌گردد (۱۷). روزبه و لغوی نیز با بررسی روش‌های خاک‌ورزی اولیه با گاوآهن‌های برگردان‌دار و بشقابی و ثانویه با دیسک و خاک‌ورز دوار در داراب، گزارش نمودند که اندازه قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در روش‌های خاک‌ورزی ثانویه با سه بار دیسک و یکبار خاک‌ورز دوار برابری می‌کند (۶).

انتخاب روش خاک‌ورزی و مدیریت و برنامه‌ریزی عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت محصولات مختلف در مزرعه نیازمند دسترسی به شاخص‌ها و اطلاعاتی در مورد شرایط، چگونگی، مزایا و معایب انجام روش‌های گوناگون خاک‌ورزی است. در بررسی روش‌های خاک‌ورزی، بسته به اهداف و شرایط، شاخص‌های گوناگونی مانند هزینه عملیات، میزان مصرف سوخت و انرژی، فشردگی خاک، وزن مخصوص

برای گندم، جو، ذرت و برنج به ترتیب برابر ۱۱/۵، ۱۱/۸، ۱۲/۴۴ و ۱۳/۲۲ درصد بود (۳). گستردگی عملیات خاک‌ورزی و هزینه بالای آن از یک طرف و از طرف دیگر آثار زیانبار خاک‌ورزی بیش از حد و نامناسب، نشان‌دهنده ضرورت بررسی و بازنگری در روش‌های آماده‌سازی زمین است.

استفاده از ماشین‌ها و ادوات گوناگون خاک‌ورزی آثار متفاوتی روی خاک، گیاه و بقایای گیاهی بر جای می‌گذارد. در سیستم کم‌خاک‌ورزی بقایای گیاهی تا حدود زیادی در سطح خاک باقی می‌مانند، لذا وجود بقایا ممکن است در عملیات تهیه بستر و کاشت بذر اختلال ایجاد نمایند. یکی از ادوات مناسب برای کار در این گونه زمین‌ها کولتیواتور پنجه‌غازی است. کولتیواتورها سبک‌تر از چیزها هستند و برای کار در عمق کمتر و حدود ۱۲-۷ سانتی‌متر طراحی شده‌اند (۲). کولتیواتورها بیشتر بقایای گیاهی را در سطح خاک به‌جای گذاشته یا آنها را تا عمق چند سانتی‌متری با خاک سطحی مخلوط می‌کنند (۱۰). بررسی آثار دیسک بر فشردگی خاک در یک خاک رسی و مقایسه آن با سایر روش‌های خاک‌ورزی نشان داد که در خاک‌ورزی با دیسک، بدون این که لایه فشرده و سختی در زیر لایه شخم ایجاد گردد یک‌نواختی تراکم حجمی خاک حفظ می‌شود. هم‌چنین خاک‌ورزی با دیسک علاوه بر این که مانع فشردگی دوباره می‌شود، به‌نظر می‌رسد باعث جلوگیری از فرونشست دوباره در انواع خاک‌ها نیز می‌شود (۱۹). گاوآهن‌های دوار به‌طور هم‌زمان جای گاوآهن، دیسک و دیگر هرس‌ها را گرفته و پس از عبور از سطح خاک هیچ‌گونه شیار یا پشته‌ای بر جای نمی‌گذارند (۱۰).

نتایج پژوهش‌های انجام شده در دنیا روی روش‌های خاک‌ورزی برای محصولات گوناگون نشان داده است که بسته به شرایط محلی، امکانات و اهداف، هر یک از روش‌های خاک‌ورزی مرسوم (۷، ۱۵، ۱۶ و ۲۰)، خاک‌ورزی کمینه (۴، ۱۱ و ۱۳) و یا بی‌خاک‌ورزی (۱۲)، می‌تواند بر دیگری برتری داشته باشد.

مقایسه روش‌های خاک‌ورزی توسط خیرالله و همکاران

سانتی‌متر + دو بار دیسک عمود بر هم + ماله (T1).

۲- دو بار دیسک سبک عمود بر هم به عمق ۱۰-۸ سانتی‌متر + ماله (T2).

۳- دو بار دیسک سنگین عمود بر هم به عمق ۱۵-۱۲ سانتی‌متر + ماله (T3).

۴- یک بار کولتیواتور بیلچه‌ای به عمق ۱۰ سانتی‌متر + ماله (T4).

۵- یک بار کولتیواتور بیلچه‌ای به عمق ۱۵ سانتی‌متر + ماله (T5).

۶- یک بار گاواهن دوار (رتیواتور) به عمق ۵ سانتی‌متر (T6).

ویژگی‌های ماشین‌ها و ادوات مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است که تیمار خاک‌ورزی با رتیواتور به عمق ۵ سانتی‌متر به منظور بررسی امکان ایجاد یک بستر مختصر با مصرف انرژی به مقدار کم انتخاب شد. هم‌چنین دلیل انتخاب دو عمق ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر در هر کدام از تیمارهای خاک‌ورزی با کولتیواتور و دیسک، ایجاد امکان ارزیابی تأثیر عمق کار این ادوات بر شاخص‌های مورد بررسی بود. دلیل استفاده از ماله در تیمارهای T2 تا T5 نیز حذف ناهمواری‌های ناشی از جوی‌پشته‌ها، نهرها و مرزهای برجای مانده از کشت قبلی بود.

شاخص‌های مورد بررسی در این تحقیق عبارت بودند از هزینه خاک‌ورزی در هکتار، مقدار مصرف سوخت در هکتار، زمان مورد نیاز برای انجام کار، ظرفیت مزرعه‌ای سیستم، میزان خرد شدن کلوخه‌ها و وزن مخصوص ظاهری خاک. هر روش خاک‌ورزی در قطعاتی به ابعاد ۱۲۰×۵۰ متر مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر قطعه یک نوار به عرض ۵ متر برای انجام تنظیمات عمق کار و تعیین شرایط کاری مناسب از نظر دنده و سرعت پیشروی تراکتور و درصد لغزش چرخ‌ها و فاصله ۱۰ متر از سر و ته هر قطعه به عنوان فضای دور زدن تراکتور و رسیدن به سرعت مناسب در نظر گرفته شد. پس از مآخار زمین (مآخار عبارت است از آبیاری زمین قبل از خاک‌ورزی با هدف کاهش مقاوت خاک در برابر عملیات تهیه زمین)، برای تعیین

ظاهری و مقاوم نفوذی خاک، فرسایش بادی و آبی، درصد برگردان بقایای گیاهی، میزان خرد شدن خاک، زمان مورد نیاز در واحد سطح، ظرفیت و بازده مزرعه‌ای، میزان سرمایه‌گذاری، آلودگی‌های زیست محیطی و غیره مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این تحقیق نیز به منظور دستیابی به اطلاعات کمی پایه در مورد برخی شاخص‌های فنی، برای استفاده در شرایط کاری مشابه اجرا شد.

اطلاعات به دست آمده در این پژوهش می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی ناوگان ماشین‌های خاک‌ورزی در سطوح اجرایی مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، در آزمایش‌هایی نیز که در آینده، در شرایط مشابه این تحقیق، برای مقایسه اثر روش‌های خاک‌ورزی روی محصولات مختلف اجرا خواهند شد، می‌توان تنها عملکرد و شاخص‌های مرتبط با گیاه را اندازه‌گیری نموده و از نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری شاخص‌های فنی در این آزمایش استفاده کرده و از تکرار آنها برای محصولات گوناگون خودداری نمود.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۸۲ در یک خاک رسی حاوی بقایای گندم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور در فاصله ۷۰ کیلومتری ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور در شمال اهواز واقع شده است. خاک‌های این منطقه غالباً از نظر مواد آلی و ازت فقیر هستند. از نظر آب و هوایی نیز این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و میانگین سالیانه دما و بارندگی آن به ترتیب ۲۳ درجه سلسیوس و ۲۴۴ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق روش خاک‌ورزی مرسوم و پنج روش کم‌خاک‌ورزی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. تیمارهای خاک‌ورزی عبارت بودند از:

۱- روش مرسوم یک بار گاواهن برگردان‌دار به عمق ۲۰

جدول ۱. مشخصات خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور

OC (%)	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	EC (ds.m <sup>-1</sup> )	PH	عناصر میکرو و قابل جذب (mg.kg <sup>-1</sup> )				بافت خاک	عمق خاک (cm)
					Fe	Mn	Zn	Cu		
۰/۸	۷/۵	۲۲۰	۳/۱	۷/۲	۹	۴	۱	۱/۵	رسی	۰-۳۰

جدول ۲. ویژگی‌های ماشین‌ها و ادوات مورد استفاده در آزمایش

سرعت پیشروی (km/h)	چگونگی تنظیم عمق	عرض کار تنوریک (cm)	نوع اتصال	شرح	شرکت سازنده و مدل	نام دستگاه
۴-۶	بازوهای هیدرولیک تراکتور	۱۰۵	سوار	۳ خیش	شرکت سهامی قطعات آهنگری خراسان (GAK)	گاواهن برگردان دار
۶-۷	چرخ تنظیم عمق هیدرولیک	۲۵۰	کششی	۲۴ پره (گروه جلویی ۱۲ بشقاب لبه کنگره‌ای، گروه عقبی ۱۲ بشقاب لبه صاف)	جان‌دیر (John Deere)	دیسک افست
۵-۷	بازوهای هیدرولیک تراکتور	۱۸۵	سوار	۸ تیغه فعال (یک تیغه کناری شکسته)، فاصله تیغه‌ها ۲۲۹ میلی‌متر	گروه تولیدی ماشین روستا مشهد	کولتیواتور بیلچه‌ای
۴-۵	کفشک‌های تنظیم عمق	۱۵۰	سوار	۷ فلانچ، ۳۶ تیغه L شکل. نسبت گردش محور فلانچ‌ها به محور تواندهی تراکتور ۱ به ۳.	شرکت اسنو پارس ایران (SNOW PARS)	گاواهن دوار
۶-۷	اهرم‌های دستی	۳۵۰	کششی	چهار چرخ، فاصله محورهای عقب و جلو ۶ متر	-	ماله
۶ سیلندر، ۱۲ دنده (جلو ۸ و عقب ۴ دنده)، وزنه افزوده شده در جلو تراکتور ۱۷۲ کیلوگرم، فاصله محورهای عقب و جلو ۲۶۰cm، لاستیک‌ها نو با عاج ۱۰۰٪، شماره لاستیک عقب 18.4-34/15-34 و جلو 750-18، عمر ۱۰ سال.						
					جان‌دیر ۳۳۵	تراکتور

می‌شد. هنگامی که خاک گاورو شده و شرایط آن برای شخم مناسب گردید، عملیات شخم در تیمار مربوطه انجام و رطوبت خاک به عنوان رطوبت مناسب زمان شخم (متوسط ۱۹٪) در نظر گرفته و ثبت شد.

روش اندازه‌گیری و برآورد شاخص‌های مورد بررسی در آزمایش به شرح زیر بود:

#### اندازه‌گیری مصرف سوخت

برای تعیین مقدار سوخت مصرف شده از روش باک پر استفاده

زمان مناسب خاک‌ورزی، نمونه‌برداری از خاک از عمق‌های ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متر انجام و درصد رطوبت خاک بر مبنای وزن خاک خشک محاسبه شد. درصد رطوبت خاک در زمان اعمال تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم (شخم)، دیسک، کولتیواتور و گاواهن دوار به ترتیب ۱۹، ۱۹/۳، ۱۶/۶ و ۱۸/۵ درصد بود. با توجه به نبود اطلاعات قبلی در مورد درصد رطوبت مناسب خاک برای شخم برگردان، به صورت یک روز در میان یک نوار از زمین را توسط گاواهن شخم زده و هم‌زمان از خاک نیز نمونه‌گیری تصادفی انجام و رطوبت آن معین

هر تیمار، ابتدا نمونه‌های حجمی از خاک، در محدوده کادر ۵۰×۵۰ و از سطح تا عمق خاک‌ورزی، به صورت عمودی، برداشته شده و سپس نمونه‌ها را از الک‌هایی متوالی که قطر روزنه آنها ۱/۲۷، ۲/۵۴، ۳/۸۱، ۵/۰۸، ۶/۳۵، ۷/۶۲ و ۸/۸۹ سانتی‌متر و به ترتیب از قطر کوچک‌تر به بزرگ‌تر و از پایین به بالا روی هم چیده شده بودند گذرانده و وزن کلوخه‌های باقی‌مانده روی هر الک و همچنین وزن کلوخه‌های عبور کرده از الک آخر (با کمترین قطر روزنه) تعیین و با استفاده از رابطه ۲ مقدار MWD محاسبه شد (۵).

$$MWD = \sum_{i=1}^n \frac{D_i \cdot W_i}{W_t} \quad [2]$$

در اینجا:

MWD = قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (cm)

$D_i$  = میانگین قطر دانه‌های خاک در هر محدوده الک (cm)

$W_i$  = وزن خاک عبور کرده از الک مربوطه که روی الک زیرین

آن باقی مانده است (g)

$W_t$  = وزن کل نمونه خاک (g)

### وزن مخصوص ظاهری خاک

وزن مخصوص ظاهری معیاری برای اندازه‌گیری فشردگی خاک می‌باشد. برای تعیین این شاخص در عمق هر کدام از روش‌های خاک‌ورزی، قبل از خاک‌ورزی و بعد از آبیاری اول، نمونه دست نخورده خاک از سه نقطه تصادفی، به وسیله مته نمونه‌برداری از خاک برداشت گردید و در ظرف‌های استوانه‌ای با حجم و وزن مشخص، نگهداری و پس از خشک کردن نمونه در آزمایشگاه و تعیین وزن خالص خاک، وزن مخصوص ظاهری نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [3]$$

در اینجا:

$\rho$  = وزن مخصوص ظاهری ( $\text{g/cm}^3$ )

$M$  = وزن خاک خشک (g)

$V$  = حجم خاک یا استوانه نمونه‌برداری ( $\text{cm}^3$ )

شد. در روش باک پر، قبل از شروع عملیات مخزن سوخت تراکتور را کاملاً پر و لبریز کرده و پس از پایان عملیات نیز مخزن سوخت دوباره لبریز می‌گردد. مقدار سوخت مورد نیاز برای پر کردن مجدد مخزن سوخت در پایان عملیات، برابر مقدار سوخت مصرفی در مساحت یا مدت انجام کار توسط ماشین است.

### اندازه‌گیری کل زمان مورد نیاز سیستم خاک‌ورزی

برای تعیین کل زمان مورد نیاز برای هر سیستم خاک‌ورزی، ابتدا مجموع زمان‌های مفید و دور زدن ماشین در ابتدا و انتهای مزرعه برای هر کدام از عملیات پیش‌بینی شده در سیستم، توسط زمان‌سنج به‌طور جداگانه محاسبه شده و سپس با جمع کردن زمان انجام مراحل مختلف خاک‌ورزی کل زمان مورد نیاز سیستم محاسبه شد.

### ظرفیت مزرعه‌ای

کار انجام شده (بر حسب سطح یا ماده) توسط ماشین در زمینه خاک‌ورزی، کاشت، داشت و برداشت را در مدت یک ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای می‌گویند (۱). در این آزمایش ظرفیت مزرعه‌ای هر سیستم از معکوس مجموع کل زمان‌های مفید و غیر مفید مصرف شده برای انجام عملیات در سطح یک هکتار (در شرایط مزرعه) و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$C_a = \frac{A}{T} \quad [1]$$

در اینجا:

$C_a$  = ظرفیت مزرعه‌ای (ha/h)

$A$  = مساحت مورد عملیات (ha)

$T$  = کل زمان (مفید و تلف شده) (h)

### میزان خرد شدن خاک

قطر متوسط وزنی (Mean Weight Diameter) (MWD) شاخصی است که عموماً برای تعیین میزان خرد شدن خاک استفاده می‌شود (۸). در این روش پس از انجام خاک‌ورزی در

## هزینه خاک‌ورزی

دارد.

مقدار لغزش مثبت بین ۱۵-۱۰ درصد علاوه بر ایمنی موتور و جعبه دنده، برای ایجاد تغییر فرم برشی خاک و افزایش کشش تراکتور لازم است، ولی افزایش بیش از حد آن باعث اتلاف انرژی می‌شود (۱). در روش مرسوم، افزایش بیش از حد درصد لغزش چرخ محرک تراکتور برای عملیات دیسک و ماله روی خاک شخم خورده نسبت به عملیات مشابه در تیمار دیسک سبک، باعث شده است که مقداری از سوخت مصرفی و انرژی رها شده برای برش حجم بیشتری از ذرات خاک به‌کار رود. هم‌چنین کاهش سرعت پیشروی برای دیسک در روش مرسوم باعث کاهش ظرفیت و بازده مزرعه‌ای و افزایش مدت کار کردن موتور تراکتور برای انجام کار معین شده است. این عوامل روی هم رفته باعث افزایش معنی‌دار مصرف سوخت در تیمار خاک‌ورزی مرسوم نسبت به دیگر تیمارها شده است (جدول ۵).

حذف عملیات شخم برگردان در تیمارهای خاک‌ورزی با دیسک سبک و سنگین باعث کاهش شدید مصرف سوخت نسبت به روش مرسوم شده است. دلیل افزایش معنی‌دار مصرف سوخت در تیمار خاک‌ورزی با دیسک سنگین نسبت به دیسک سبک، افزایش عمق خاک‌ورزی از ۱۰ به ۱۵ سانتی‌متر و افزایش کل مقاومت کششی دیسک و نیاز به‌کار در دنده پایین‌تر و سرعت کمتر بوده است، این وضعیت در مقایسه تیمارهای خاک‌ورزی با کولتیواتور به عمق ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر نیز به‌خوبی دیده می‌شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که در عمق کار یکسان برای کاربرد یک بار دیسک و کولتیواتور بر روی زمین شخم نخورده، مقدار مصرف سوخت در دیسک ۴۰٪ کمتر از کولتیواتور بود (جدول ۵). این امر می‌تواند به‌دلیل بیشتر بودن مقاومت کششی کولتیواتور نسبت به دیسک باشد، زیرا در کولتیواتور با وجود این که عرض کار آن کمتر از دیسک بود، برای انجام عملیات به دنده سنگین‌تری نیاز بوده و سرعت پیشروی نیز کمتر بود. اما استفاده از دوبار عملیات دیسک‌زنی در تیمار

در شرایط یکسان از نظر قابلیت تولید محصولات مختلف و نهاده‌های مصرفی مانند کود و حشره‌کش‌ها، هزینه انجام عملیات خاک‌ورزی کلید تعیین سودمندی آنهاست (۱۸). در این پژوهش، میانگین هزینه عملیات تهیه زمین بر اساس اجرت محلی و با مراجعه به شش نفر از افراد سرشناس در ارائه خدمات مکانیزه خاک‌ورزی به‌صورت اجاره‌ای و هم‌چنین تنها شرکت خدمات مکانیزه مستقر در منطقه (شرکت عبدالخان شمالی)، به‌صورت ریال بر هکتار محاسبه شد. پس از انجام آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها انجام شده و میانگین صفات به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شد.

## نتایج و بحث

## مصرف سوخت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از نظر میزان مصرف سوخت، بین روش‌های خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود داشت (جدول ۳). روش خاک‌ورزی مرسوم با مجموع ۴۹/۰۵۹ لیتر بر هکتار و خاک‌ورزی با گاوآهن دوار با مصرف ۱۵/۳۴۹ لیتر بر هکتار، به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار مصرف سوخت بودند (جدول ۴).

افزایش عمق خاک‌ورزی و شخم اثر بسیار چشم‌گیری بر مصرف سوخت دارد. به ازای هر یک سانتی‌متر افزایش عمق خاک‌ورزی مقدار خاکی که باید جابه‌جا یا برگردانده شود حدود ۱۵۰ تن در هکتار افزایش می‌یابد، این کار بدون افزایش قابل ملاحظه در هزینه سوخت امکان‌پذیر نخواهد بود (۹). افزایش زیاد مقدار مصرف سوخت در خاک‌ورزی مرسوم نسبت به دیگر روش‌ها، به‌دلیل برگرداندن خاک و زیاد بودن عمق خاک‌ورزی و دفعات تردد ماشین‌ها و ادوات است. در سیستم خاک‌ورزی مرسوم، ۴۶٪ از کل سوخت مصرفی تنها برای شخم برگرداندن خاک مصرف شده است (جدول ۵). این نتایج با یافته‌های ینگ (۲۱) و خیرالله و همکاران (۱۵) مطابقت

جدول ۳. تجزیه واریانس مربعات اثر روش‌های خاک‌ورزی بر شاخص‌های فنی مورد بررسی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مقادیر مربعات			
		مصرف سوخت	کل زمان مورد نیاز سیستم	ظرفیت مزرعه‌ای سیستم	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها
تکرار	۲	۰/۴۳۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
روش خاک‌ورزی	۵	۴۶۰/۰۳۹**	۲/۹۹۰**	۰/۰۴۳**	۰/۱۹۴**
خطای آزمایشی	۱۰	۰/۳۲۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۷
(C.V) ضریب تغییرات		٪۲/۳۰	٪۳/۷۰	٪۵/۱۲	٪۶/۱۵
		** تفاوت معنی‌دار در سطح ٪۱			
		n.s: تفاوت معنی‌دار نیست.			

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های فنی مورد بررسی در سطوح مختلف روش خاک‌ورزی

روش خاک‌ورزی	سوخت مصرف شده (l/ha)	کل زمان مورد نیاز سیستم (h/ha)	ظرفیت مزرعه‌ای سیستم (ha/h)	قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )
مرسوم (T1)	۴۹/۰۵۹ <sup>a</sup>	۴/۴۱ <sup>a</sup>	۰/۲۲۷ <sup>c</sup>	۱/۹۲ <sup>cd</sup>	۱/۳۴ <sup>a</sup>
دیسک سبک (T2)	۲۱/۰۶۳ <sup>d</sup>	۱/۸۶ <sup>c</sup>	۰/۵۳۷ <sup>a</sup>	۲/۴۸ <sup>a</sup>	۱/۳۳ <sup>a</sup>
دیسک سنگین (T3)	۲۴/۰۳۹ <sup>b</sup>	۲/۰۱ <sup>c</sup>	۰/۵۰۰ <sup>a</sup>	۲/۳۳ <sup>ab</sup>	۱/۲۷ <sup>b</sup>
کولتیواتور ۱۰cm (T4)	۱۶/۴۲۶ <sup>e</sup>	۱/۸۶ <sup>c</sup>	۰/۵۳۷ <sup>a</sup>	۲/۱۲ <sup>bc</sup>	۱/۳۴ <sup>ab</sup>
کولتیواتور ۱۵cm (T5)	۲۲/۷۳۵ <sup>c</sup>	۲/۴۰ <sup>b</sup>	۰/۴۱۷ <sup>b</sup>	۲/۰۱ <sup>cd</sup>	۱/۲۹ <sup>ab</sup>
گاواهن دوار ۵cm (T6)	۱۵/۳۴۹ <sup>f</sup>	۱/۹۵ <sup>c</sup>	۰/۵۱۳ <sup>a</sup>	۱/۸۱ <sup>d</sup>	۱/۲۹ <sup>ab</sup>

\*: در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست.

کاهش معنی‌دار کل مصرف سوخت در تیمار خاک‌ورزی با گاواهن دوار نسبت به دیگر روش‌های خاک‌ورزی به دلیل کاهش عمق خاک‌ورزی به ۵ سانتی‌متر، کاهش درصد لغزش به حدود صفر، کاهش رفت‌وآمد ماشین‌ها و ادوات و انجام همه عملیات خاک‌ورزی در یک بار عبور است.

#### کل زمان مورد نیاز

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر کل زمان مورد نیاز برای انجام مجموعه

خاک‌ورزی با دیسک در مقایسه با تیمار یکبار کولتیواتور باعث شده است که مجموع سوخت مصرف شده در این تیمار نسبت به تیمار خاک‌ورزی با کولتیواتور افزایش یابد (جدول ۴). در خاک‌ورزی با کولتیواتور پنجه‌غازی به عمق ۱۰ سانتی‌متر (T4)، علی‌رغم این که زمان مورد نیاز برای یک پاس کولتیواتور نسبت به یک پاس دیسک افزایش یافته، بنابراین در این سیستم به علت بسنده شدن به یک پاس کولتیواتور، مجموع کل زمان مورد نیاز کاهش یافته و در حدود عملیات با دیسک (T2 و T3) و رتیواتور (T6) قرار گرفته است.

جدول ۵. میانگین شاخص‌های مورد بررسی برای روش‌های گوناگون خاک‌ورزی به تفکیک نوع ادوات مورد استفاده در هر سیستم

سرعت پیشروی (km/h)	لغزش چرخ (%)	بازده مزرعه‌ای	ظرفیت مزرعه‌ای (ha/h)	کل زمان مورد نیاز (h/ha)	مصرف سوخت (l/ha)	نوع ادوات	روش خاک‌ورزی (سیستم)
۶/۰۵	۱۴/۹۹	۷۹/۰	۰/۵۰۶	۱/۹۵	۲۲/۶۲	گاواهن‌برگرداندار	مرسوم
۵/۵۵	۲۴/۷۹	۷۹/۸	۱/۰۷	۰/۹۰	۱۲/۰۷	دیسک اول	شخم برگردان به عمق ۲۰ cm (T1)
۵/۷۰	۱۷/۶۲	۸۲/۸	۱/۲۲	۰/۸۶	۸/۱۷	دیسک دوم	
۶/۷۶	۱۶/۱	۶۰/۸	۱/۴۴	۰/۷۰	۶/۲۰	ماله	
۷/۴۳	۱۰/۳۷	۸۴/۸	۱/۵۷	۰/۶۲	۷/۶۰	دیسک اول	دیسک سبک به عمق ۸-۱۰ cm (T2)
۷/۰۰	۱۲/۲۸	۸۱/۱	۱/۴۲	۰/۷۱	۸/۲۲	دیسک دوم	
۶/۸۳	۹/۴۳	۷۸/۵	۱/۸۸	۰/۵۳	۵/۲۵	ماله	
۶/۳۵	۱۱/۷۴	۷۶/۰	۱/۲۰	۰/۸۳	۱۱/۳۵	دیسک اول	دیسک سنگین به عمق ۱۲-۱۵ cm (T3)
۶/۲۲	۱۱/۷۴	۷۴/۱	۱/۲۹	۰/۷۷	۷/۹۱	دیسک دوم	
۷/۵۹	۱۶/۰۲	۹۱/۶	۲/۴۳	۰/۴۱	۴/۷۸	ماله	
۶/۳۸	۸/۸۴	۶۲/۲	۰/۷۳	۱/۴۳	۱۲/۶۳	بیلچه‌ای	کولتیواتور به عمق ۱۰ cm (T4)
۷/۷۲	۱۱/۳۴	۸۸/۰	۲/۳۸	۰/۴۳	۳/۸۰	ماله	
۴/۳۷	۹/۷۲	۶۶/۹	۰/۵۵	۱/۹۰	۱۸/۷۶	بیلچه‌ای	کولتیواتور به عمق ۱۵ cm (T5)
۷/۴۱	۱۱/۳۸	۷۶/۹	۱/۹۹	۰/۵۰	۴/۳۱	ماله	
۴/۸۷	۰/۷۸	۷۰/۳	۰/۵۱	۱/۹۵	۱۵/۳۵	رتیواتور	گاواهن‌دوار به عمق ۵ cm (T6)

و در صورت محدود بودن زمان مناسب کاری، نیازمند افزایش در ناوگان مکانیزه برای انجام به موقع عملیات است. کل زمان مورد نیاز در روش خاک‌ورزی مرسوم ۴/۴۱ ساعت بر هکتار بود که بیش از ۴۴٪ آن صرف انجام عملیات شخم برگردان شده است. کاهش معنی‌دار زمان مورد نیاز در روش‌های خاک‌ورزی با دیسک سبک (۱/۸۶ ساعت بر هکتار) و دیسک سنگین (۲/۰۱ ساعت بر هکتار) نسبت به روش مرسوم عمدتاً ناشی از حذف عملیات شخم بوده است.

با وجود نیاز به زمان بیشتر برای یک بار عبور کولتیواتور نسبت به یک بار عبور دیسک در عمق یکسان، بسنده شدن به یک بار عبور کولتیواتور در این تیمار باعث کاهش زمان مورد نیاز نسبت به دو بار عبور دیسک شده است.

عملیات پیش‌بینی شده در هر سیستم، اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ وجود داشت (جدول ۳). استفاده از روش‌های کم‌خاک‌ورزی باعث کاهش زمان مورد نیاز نسبت به روش مرسوم شد. این شاخص در سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی T2، T4، T6 و T3 نسبت به روش مرسوم با زمان ۴/۴۱ ساعت بر هکتار، به ترتیب به میزان ۵۸، ۵۴، ۵۸ و ۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های آمبوسا و همکاران که با مقایسه روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و بی‌خاک‌ورزی برای کاشت برنج، از نظر زمان مورد نیاز برای عملیات خاک‌ورزی و هزینه کارگری، روش بی‌خاک‌ورزی را از روش مرسوم برتر دانستند، هم‌خوانی دارد (۱۲).

افزایش زمان مورد نیاز برای اجرای یک سیستم نسبت به سیستم دیگر به معنای نیاز به روزهای کاری مناسب بیشتر بوده



کاهش در سرمایه‌گذاری مورد نیاز در این بخش نیز خواهد شد.

### قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (MWD)

از نظر MWD، بین روش‌های خاک‌ورزی اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت و تفاوت T1 با T2 و T3 معنی‌دار بود، ولی با T4 و T5 معنی‌دار نبود (جدول ۳). کمترین مقدار MWD به ترتیب از روش‌های خاک‌ورزی با رتیواتور، مرسوم، کولتیواتور و دیسک به دست آمد. مقدار MWD، نسبت به روش مرسوم با میانگین ۱/۹۲ سانتی‌متر، در T2 تا T5 به ترتیب به میزان ۲۹، ۲۱، ۱۰ و ۵ درصد افزایش و در T6 به میزان ۶ درصد کاهش یافت. گاوآهن‌دوار، تنها با یک بار تردد و مصرف کمترین مقدار سوخت و هزینه، بیشترین میزان خرد کردن خاک (کمترین مقدار MWD) را نسبت به دیگر روش‌ها ایجاد کرد. نتایج این تحقیق با یافته‌های سکینه و آنیل مبنی بر ایجاد بیشترین مقدار MWD به ترتیب توسط خاک‌ورزی با دوبار دیسک، خاک‌ورزی با شخم برگردان + دوبار دیسک و خاک‌ورزی دوار + یکبار دیسک (۱۷) و همچنین گزارش روزبه و لغوی مبنی بر برابری اندازه قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در روش‌های خاک‌ورزی ثانویه با سه بار دیسک و یکبار خاک‌ورزی دوار، هم‌آهنگی دارد (۶).

### وزن مخصوص ظاهری خاک

از نظر وزن مخصوص ظاهری خاک بعد از آبیاری اول، بین روش‌های خاک‌ورزی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳). بیشترین وزن مخصوص ظاهری به مقدار ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب از روش‌های خاک‌ورزی مرسوم و کولتیواتور بیلچه‌ای به دست آمد و کمترین آن نیز به مقدار ۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب از روش خاک‌ورزی با دیسک سنگین به عمق ۱۵-۱۲ سانتی‌متر حاصل شد (جدول ۴). این نتیجه نشان می‌دهد که تغییر ایجاد شده در وزن مخصوص ظاهری خاک ناشی از روش خاک‌ورزی، با آبیاری اول و احتمالاً در اثر فرونشست دوباره خاک، از میان می‌رود. لازم به ذکر است که

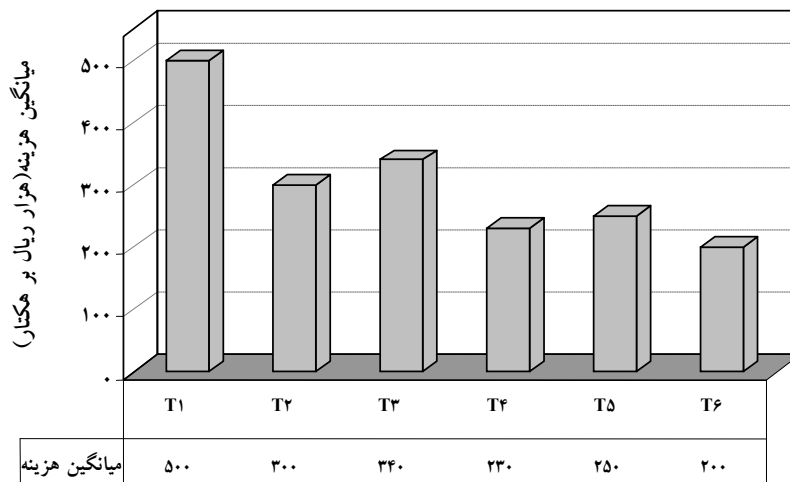
افزایش عمق خاک‌ورزی در تیمار کولتیواتور به عمق ۱۵ سانتی‌متر نسبت به کولتیواتور به عمق ۱۰ سانتی‌متر، باعث کاهش شدید در سرعت پیشروی و در نتیجه افزایش زمان مورد نیاز شده است (جدول ۵).

دهقان و الماسی با مقایسه اثر روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، دوبار دیسک، کولتیواتور و گاوآهن دوار بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در منطقه شاوور خوزستان، گزارش نمودند که روش‌های خاک‌ورزی مورد بررسی از نظر عملکرد شلتوک تفاوت معنی‌دار نداشتند و روش خاک‌ورزی با کولتیواتور به عمق ۵ سانتی‌متر را برای کشت برنج پیشنهاد نمودند (۵). در این تحقیق نیز با وجود این که زمان مورد نیاز برای یک بار عبور رتیواتور در تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن دوار، برابر با یک بار عبور برای شخم برگردان است، بنابراین حذف سایر عملیات از جمله دیسک و ماله در این تیمار باعث کاهش در کل زمان مورد نیاز شده است.

### ظرفیت مزرعه‌ای

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها روشن نمود که از نظر ظرفیت مزرعه‌ای تفاوت بین روش‌های خاک‌ورزی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). روش‌های خاک‌ورزی با دیسک سبک، دیسک سنگین، کولتیواتور به عمق ۱۰ سانتی‌متر و رتیواتور ضمن قرار گرفتن در یک گروه آماری، از روش‌های مرسوم و کولتیواتور به عمق ۱۵ سانتی‌متر برتر بودند. ظرفیت مزرعه‌ای در روش‌های کم‌خاک‌ورزی T2 تا T6 نسبت به روش مرسوم با ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۲۲۷، به ترتیب به میزان ۲/۴، ۲/۲، ۲/۴ و ۲/۳ برابر افزایش نشان داد (جدول ۴).

با توجه به وجود رابطه معکوس بین ظرفیت مزرعه‌ای و زمان مورد نیاز در واحد سطح، می‌توان نتیجه گرفت که هر عاملی که باعث کاهش زمان مورد نیاز برای انجام خاک‌ورزی در یک سطح معین شود می‌تواند باعث افزایش ظرفیت مزرعه‌ای آن سیستم یا ماشین شده و در نهایت باعث کاهش در تعداد تراکتور و ادوات مورد نیاز برای انجام به موقع عملیات و



روش خاک ورزی

شکل ۱. هزینه روش های مختلف خاک ورزی در منطقه شاو ور براساس اجر سه محلی در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۷

کاهش در هزینه روش های کم خاک ورزی با چیزل، دیسک و خاک ورز فعال (Power harrow) نسبت به روش خاک ورزی با شخم برگردان در تناوب زراعی گوجه-جو-علوفه در شرق کانادا (۱۸) همخوانی دارد.

در این تحقیق، تأثیر روش خاک ورزی بر تغییرات وزن مخصوص ظاهری خاک به مدت یک سال بررسی شده و ممکن است در بلندمدت نتایج متفاوت باشد، لذا بررسی روند این تغییرات در یک تحقیق چند ساله می تواند بسیار مفید باشد.

### نتیجه گیری

۱. در انتخاب روش خاک ورزی برای کشت یک محصول، علاوه بر شاخص های فنی، باید عملکرد محصول و درآمد خالص در واحد سطح نیز مورد توجه قرار گیرد. امولی در شرایط انجام این تحقیق، در صورت معنی دار نشدن تفاوت عملکرد محصول، می توان بر اساس شاخص های فنی مورد بررسی، هر یک از روش های کم خاک ورزی (سطحی) را، بسته به نوع ادوات و زمان در اختیار، جایگزین روش مرسوم نمود.

۲. کمترین مقدار مصرف سوخت، به ترتیب در روش های کم خاک ورزی با گاوآهن دوار به عمق ۵ سانتی متر، کولتیواتور به عمق ۱۰ سانتی متر، دیسک سبک، کولتیواتور به عمق ۱۵ سانتی متر، دیسک سنگین و روش مرسوم به دست آمد.

### هزینه خاک ورزی

مقایسه روش های مختلف خاک ورزی از نظر مبلغ هزینه مورد نیاز برای مجموع عملیات پیش بینی شده در هر کدام از سیستم های خاک ورزی نشان دهنده وجود اختلاف زیاد بین روش مرسوم با دیگر روش های خاک ورزی است (شکل ۱).

افزایش عمق خاک ورزی اثر بسیار چشم گیری بر هزینه ها و مصرف سوخت دارد (۹). به دلیل کاهش عمق خاک ورزی و حذف برخی عملیات و ترددها، کل هزینه خاک ورزی در روش های کم خاک ورزی T2 تا T6 به ترتیب به میزان ۴۰، ۳۲، ۵۴، ۵۰ و ۶۰ درصد نسبت به روش مرسوم، با هزینه ۵۰۰۰۰۰ ریال بر هکتار، کاهش یافته است. نتایج به دست آمده در این آزمایش با یافته های خیرالله و همکاران مبنی بر کسب بیشترین بازده مصرف سوخت و انرژی به ترتیب از دیسک، رتیواتور، گاوآهن بشقابی و گاوآهن برگردان دار (۱۵) و یافته سیجما و همکاران مبنی بر ۴۴-۶۰ درصد

۳. روش‌های کم‌خاک‌ورزی با کولتیواتور به عمق ۱۰ سانتی‌متر، دیسک سبک، گاوآهن دوار به عمق ۵ سانتی‌متر، دیسک سنگین، کولتیواتور به عمق ۱۵ سانتی‌متر و روش مرسوم، به‌ترتیب، دارای بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای و کمترین زمان مورد نیاز بودند.
۴. روش‌های کم‌خاک‌ورزی با گاوآهن دوار، کولتیواتور ۱۰cm، کولتیواتور ۱۵cm، دیسک سبک و دیسک سنگین به‌ترتیب، دارای کمترین هزینه عملیات در واحد سطح بودند.

### منابع مورد استفاده

۱. الماسی، م.، ش. کیانی و ن. لویمی. ۱۳۸۰. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. چاپ دوم. مؤسسه انتشارات حضرت معصومه (س)، قم.
۲. الماسی، م.، ع. برقی و ت. توکلی. ۱۳۷۹. فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی. جلد نهم، ماشین‌های کشاورزی. انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
۳. بی‌نام. ۱۳۸۷. هزینه تولید محصولات کشاورزی (متوسط هزینه تولید یک هکتار محصولات کشاورزی به تفکیک مراحل مختلف کشت در کل کشور در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵). وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
۴. خسروانی، ع.، م. زابلستانی، ا. شریفی، ا. محسنی‌منش، م. شهربانوژاد و ع. همت. ۱۳۸۲. بررسی امکان خاک‌ورزی سطحی در کشت گندم آبی. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ۱۷(۴): ۲۹-۴۵.
۵. دهقان، ا. و م. الماسی. ۱۳۸۵. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج به‌روش خشکه‌کاری در منطقه شاوور خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۲۹): ۸۹-۱۰۰.
۶. روزبه، م. و م. لغوی. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های مختلف تهیه بستر تحت شرایط خشک بر عملکرد ذرت دانه‌ای بعد از گندم. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ۷(۲۹): ۱۹-۳۲.
۷. روزبه، م.، ع. پوسکانی، م. شاکر و ا. ر. نیکزاد. ۱۳۷۹. تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد گندم در تناوب با ذرت. گزارش نهایی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۶۶.
۸. صلح‌جو، ع.، م. لغوی، ح. احمدی و م. روزبه. ۱۳۸۰. تأثیر درصد رطوبت خاک و عمق شخم بر میزان خرد شدن خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی ثانویه. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۲(۶): ۱-۱۲.
۹. کوچکی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۷۷. اصول و عملیات کشاورزی در مناطق خشک (ترجمه). نشر آموزش کشاورزی، کرج.
۱۰. منصوری‌راد، د. ۱۳۷۴. تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی. جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۱۱. همت، ع. و ا. اسدی خشویی. ۱۳۷۶. اثرات روش‌های مستقیم کاشت، بی‌برگردان‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بر عملکرد دانه گندم پاییزه آبی. مجله علوم کشاورزی ایران ۱: ۳۳-۱۹.
12. Ambassa-Kiki, R., Y. Abobaker and T. Boulama. 1996. Zero-tillage for rice production on Cameroon vertisols. Soil and Tillage Res. 39(1-2): 75-84.
13. Hemmat, A. and A. Eskandari. 2004. Tillage system effects upon productivity of dryland winter wheat-chickpea rotation in the northwest region of Iran. Soil and Tillage Res. 78(1): 37-52.
14. Kelemme, R. M. 1985. A stochastic dominance comparison of reduced tillage systems in corn and soybean production under risk. Amer. J. Agric. Econ. 67: 550-557.
15. Kheiralla, A., F. Azmiyahya and W. Ishak. 2004. Modeling of Power and energy requirement for tillage implements operating in Sardang Sandy clay loam, Malay Sia. Soil and Tillage Res. 78: 21-34.
16. Rashid, A. S. and De Datta, S. K. 1986. Reducing tillage techniques for wetland rice as affected by herbicides. Soil and Tillage Res. 6(4): 291-303.
17. Sakine, O. and C. Anil 2006. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. Soil and Tillage Res. 88 (1-2): 95-106.

18. Sijtsma, G. H., A. J., Campbell, N. B. McLaughlin and M. R. Carter. 1998. Comparative tillage costs for crop rotation utilizing minimum tillage on a farm scale. *Soil and Tillage Res.* 49: 223-231.
19. Tessier, S., B. Lachance, C. Lague, Y. Chen, L. Chi and D. Bachand. 1997. Soil compaction reduction with a modified one-way disker. *Soil and Tillage Res.* 42: 63-77.
20. Unger, P. W. 1977. Tillage effects on winter wheat production where the irrigated and dryland crops are alternated. *Agron. J.* 69: 944-950.
21. Ying, C., S. Tessier and B. Irvine. 2004. Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil and Tillage Res.* 77: 147-155.
22. Zenter, R. P., S. Tessier, M. Peru, F. B. Dyck and C. A. Campbell. 1991. Economics of tillage systems for spring wheat production in southwestern Saskatchewan (Canada). *Soil and Tillage Res.* 21: 225-242.