تأثیر سامانه‌های مختلف خاک¬ورزی بر شاخص‌های مهم تولید پایدار گندم و انتخاب مناسب‌ترین سامانه بر مبنای مدل TOPSIS

علی میرزا زاده [۱*]، راضیه پوردربانی [۲] و سلمان فکری [۳]

۱. عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی و فناوری کشاورزی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی. (Ali.Mirzazadeh@uma.ac.ir)
۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. کارشناس علوم خاک و رئیس اداره زراعی ۷ شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان

چکیده

در بین عملیات مختلف کشاورزی، خاک¬ورزی به‌تنهایی ۶۰ درصد از انرژی مصرفی در کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهد. دغدغه‌های دیگری ازجمله فشردگی خاک، مدیریت زمان، مسائل اقتصادی، کاهش خلل و فرج، ظرفیت ذخیره رطوبت و همچنین افزایش ۲۵ درصدی فرسایش آبی و بادی تکاپوی بهبود روش‌های خاک¬ورزی را بیشتر کرده است. به همین علل خاک¬ورزی حفاظتی موردتوجه کارشناسان این حوزه می‌باشد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی شاخص‌های مهم تولید گندم در روش‌های مختلف خاک¬ورزی انجام شد. در این راستا دو قطعه از مزارع گندم شرکت مغان انتخاب و هرکدام به چهار قسمت مساوی ۲/۸ هکتاری تقسیم گردید. آزمایش‌ها به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی و شامل چهار روش خاک¬ورزی ازجمله مرسوم، خاک¬ورزی ۱، خاک¬ورزی ۲ و کشت مستقیم بود که طی آن دو رقم متداول در کرت‌های آزمایشی کشت شدند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر هر چهار روش خاک¬ورزی روی شاخص‌های مهم در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار بوده و بهبود شاخص‌هایی ازجمله میزان مصرف سوخت، بهره‌وری سوخت، تعداد تردد سر مزرعه، زمان آماده‌سازی زمین و هزینه آن به ازای هر هکتار، عملکرد محصول، تراکم بوته و تعداد پنجه-زنی نیز در روش نوتیلج و کم خاک¬ورزی ۲ (خاک‌ورز مرکب و کمبینات) بهبودی نشان دادند. همچنین نتایج با استفاده از روش تاپسیس مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت و سیستم بی خاک‌ورزی با CL*=۰/۹۸ (نزدیکی نسبی گزینه به راه‌حل ایده آل) به‌عنوان بهترین روش انتخاب گردید. لذا کشت مستقیم می‌تواند جایگزین مناسب بجای خاک¬ورزی مرسوم در تولید پایدار محصول گندم باشد.

کلمات کلیدی: *شاخص‌های تولید، خاک¬ورزی حفاظتی، گندم و مدل تاپسیس*

*نویسنده مسئول: Ali.Mirzazadeh@uma.ac.ir

تأثیر سامانه‌های مختلف خاک¬ورزی بر شاخص‌های مهم تولید پایدار گندم و انتخاب مناسب-ترین سامانه بر مبنای مدل TOPSIS

مقدمه

خاک‌ورزی اولین گام در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد و به آن دسته از عملیات مکانیکی اطلاق می‌گردد که ضمن به هم زدن خاک، بستر مناسب رشد بذر را فراهم می‌کند [۸]. عملیات خاک¬ورزی در مقایسه با عملیات داشت و برداشت، نیازمند صرف انرژی زیادی است [۱۵] به‌گونه‌ای که در بین عملیات مختلف کشاورزی، عملیات خاک¬ورزی به‌تنهایی ۶۰ درصد از انرژی مصرفی در کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهد [۲]. ازجمله عمده‌ترین روش‌های خاک¬ورزی می‌توان به خاک¬ورزی مرسوم و خاک¬ورزی حفاظتی اشاره کرد. در خاک¬ورزی مرسوم با زیر و رو کردن خاک و قطع چرخه زندگی علف‌های هرز، حشرات و بیماری‌ها، سطح خاک عاری از بقایای گیاهی می‌ماند و بستر مناسبی برای رشد و نمو گیاه ایجاد می‌شود [۹]. ترافیک ناشی از حرکت تراکتور در مزرعه منجر به فشردگی بیشتر خاک شده و زیر و رو کردن آن نیز منجر به کاهش ماده آلی خاک می‌گردد [۱۶]. استفاده از ماشین‌های خاک¬ورزی مرسوم، علاوه برافزایش مصرف انرژی و طولانی شدن زمان آماده‌سازی زمین و کاشت، سبب افزایش تراکم و فشردگی خاک در لایه زیرین شخم نیز می‌شود [۵]. فشردگی خاک باعث افزایش جرم مخصوص خاک ظاهری خاک، کاهش خلل و فرج و نفوذپذیری آب در آن [۱۹] و موجب افزایش ۲۵ درصدی فرسایش آبی و بادی می‌شود. تراکم بالای خاک مانع گسترش و توسعه ریشه و نفوذ آن به عمق‌های پایین‌تر خاک می‌شود. رطوبت پایین خاک این تأثیرات را تشدید کرده و نهایتاً منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌گردد. یکی از مهم‌ترین روش‌های کنترل فشردگی خاک، کنترل تردد تراکتور و ماشین‌های کشاورزی در مزرعه است. بر این اساس، خاک¬ورزی حفاظتی به‌عنوان یک راهکار اصلی و اساسی موردتوجه است [۱] و نقش آن در به حداقل رساندن فرسایش خاک و بهبود کیفیت آن جای تردید ندارد و مورد تأکید بسیاری از محققان و کشاورزان نیز قرارگرفته است [۲۵]. سامانه‌های خاک¬ورزی حفاظتی به دلیل کاهش به هم خوردگی خاک در زمان انجام عملیات خاک¬ورزی ، بقایای گیاهی را روی خاک باقی گذاشته و پتانسیل فرسایش آبی و بادی، روان آب، تبخیر و تعرق از سطح خاک را کاهش داده و نفوذپذیری آب در خاک را افزایش و درصد رطوبت خاک، و ساختمان خاک را بهبود بخشیده و در بعضی حالات باعث سرکوبی یا تغییر در فلور علف‌های هرز نیز می‌شوند [۱۸ و ۲۳]. از علل دیگر افزایش گرایش به شیوه زراعت کم خاک‌ورزی می‌توان به کاهش هزینه آماده کردن زمین، کاهش کوبیده شدن خاک زراعی براثر تردد کمتر ماشین‌آلات سنگین کشاورزی، تسریع در عملیات کشت و کاهش استهلاک و انرژی مصرفی اشاره نمود [۱۷]. نتایج پژوهش انجام‌یافته توسط ناصری [۲۱] طی سال‌های زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۲ و ۲۰۱۴-۲۰۱۳ در شمال غرب ایران، با موضوع "آنالیز انرژی و اقتصادی تولید گندم به روش خاک¬ورزی حفاظتی و آبیاری بارانی "نشان از بهره‌وری بالاتر تولید این محصول به روش یادشده داد. اسدی و همت [۳] اثرات سیستم‌های مختلف خاک¬ورزی بر روی محصول گندم آبی و پارامترهای عملکردی آن‌ها را مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که در منطقه‌ی اصفهان و در یک خاک با بافت لومی رسی استفاده از گاوآهن قلمی برای شخمی به عمق ۱۵ سانتی‌متر به علت برابر بودن سوخت مصرفی تراکتور و عملکرد محصول یکسان و افزایش ظرفیت ۴۴درصد در مقایسه با شخم با گاوآهن برگردان‌دار می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین عملیات خاک‌ورزی مرسوم پیشنهاد گردد. پاترسون [۲۲] اثرات سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم،کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی را بر عملکرد گندم در زراعت بدون آبیاری ارزیابی کردند. طبق این پژوهش، هنگامی‌که آزمایش تحت شرایط مناسب رطوبتی انجام گیرد، تمام روش‌ها، مقدار محصول نهایی مشابهی را تولید نمودند. یانگر [۲۶]

اثرات سه روش خاک‌ورزی شامل پنجه غازی، دیسک و بی خاک‌ورزی را بر عملکرد گندم زمستانه تحت آبیاری شیاری مطالعه نمود. عملکرد دانه در شیوه‌ی خاک‌ورزی با پنجه غازی بیشترین و در حالت بی خاک‌ورزی کمترین بود. از علل کاهش عملکرد دانه در شیوه بی خاک‌ورزی می‌توان به پوشش کم بذر خاک به علت تجمع بقایای گیاهی در سطح خاک، تولید گیاهچه‌ی ضعیف و رشد زیادتر علف‌های هرز اشاره نمود. علاوه بر بحث کشاورزی پایدار و حفاظت از خاک به‌عنوان منبع اصلی تولید کشاورزی، کشت دو محصول در یک سال زراعی در بعضی از مناطق کشور همانند منطقه حاصلخیز مغان و هم‌زمانی آن با شروع بارندگی‌های فصلی در زمان پاییز و درنتیجه کشیده شدن زمان برداشت محصول کشت دوم به سال زراعی آتی، فرصت محدودتری را برای آماده‌سازی زمین و کشت مجدد محصولات پاییزه، بالأخص گندم و جو فراهم می‌آورد. از ۱۲ میلیون هکتار سطح زیر کشت در ایران، بالای ۵۰ درصد آن به کشت گندم اختصاص دارد که از این میزان نیز بالای ۵۰ درصد (چیزی بیش از ۳ میلیون هکتار) به‌صورت دیم کشت می‌شود. در بعضی از سال‌های زراعی میزان عملکرد اراضی دیم هزینه‌های تولید محصولات و بهاء زمین را پوشش نمی‌دهد. در چنین وضعیتی کاهش هزینه‌های تولید ازجمله کاهش هزینه‌های آماده‌سازی زمین برای کشت این محصولات می‌تواند در افزایش بهره‌وری اراضی دیم کشور بسیار مثمر ثمر باشد. تصمیم‌گیری در این خصوص نیازمند توجه به ابعاد متنوعی است، به‌عبارت‌دیگر تصمیم‌گیری در این خصوص تحت تأثیر عوامل مختلف کمّی و کیفی قرار دارد که اغلب این عوامل با یکدیگر در تعارض هستند و بایستی از بین چندین گزینه موجود، بهترین گزینه انتخاب گردد. اشتباه و عدم دقت در تصمیم‌گیری مناسب، مستلزم پرداخت هزینه‌ی خطا است [۱۰]. به همین دلیل روش‌هایی تحت عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] توسعه داده‌شده‌اند که به حل مسائل مزبور کمک می‌کنند [۱۴]. در حیطه‌های خارج از کشاورزی، تحقیقات متعددی با استفاده از روش‌های ماتریس تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام‌شده است. دراین‌بین در حوزه کشاورزی تحقیقات کمتری انجام‌شده است. کلاین و همکاران [۲۰] با استفاده از سامانه خبره تصمیم‌گیری بر اساس برنامه‌ریزی خطی به‌منظور تعیین تعداد و اندازه مناسب ماشین‌های کشاورزی استفاده کرده و زمان تعویض ماشین‌ها را به‌منظور حداکثر سازی بهره‌وری تعیین کردند. نتیجه تحقیقات انجام‌یافته توسط سوگارد و سورنسن [۲۴] نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مدل ارائه‌شده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی مختلط و داده-های واقعی وجود ندارد. سرخیل و نوید [۷] از بین چهار نوع تراکتور به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محدوده توان ۹۰-۳۰ کیلووات به ارزیابی و انتخاب تراکتور پرداختند و با در نظر گرفتن معیارهایی چون خدمات، امکانات، قیمت، ایمنی و استفاده آسان از آن، تراکتور ITMco را به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه تعیین کردند. لک و برقعی [۱۱] نیز با مدنظر قرار دادن نه معیار و یازده گزینه پیش رو، از روش TOPSIS به‌منظور انتخاب تراکتور مناسب در استان همدان استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد با در نظر گرفتن جمیع جهات، تراکتور U450 به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای این استان می‌باشد. کومله و همکاران [۶] نیز با استفاده از مدل‌های TOPSIS و SAW با در نظر گرفتن شاخص‌های مقدار تلفات برداشت، انرژی مصرفی عملیات برداشت، ارزش ریالی سامانه، راحتی و ایمنی از دید کاربر، میزان آموزش موردنیاز به کاربر، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و ظرفیت مزرعه‌ای ماشین به ارزیابی سه روش برداشت ذرت بذری شامل برداشت دومرحله‌ای (با استفاده از ذرت چین-پوست کن)، کمباین غلات و ینتراشتایگر پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که در هر دو مدل تصمیم‌گیری، سامانه ذرت چین-پوست‌کن مناسب‌ترین گزینه است.

همان‌طوری در بررسی منابع اشاره شد، در اکثر پژوهش‌های انجام‌یافته به اثر مثبت روش‌های کم خاک¬ورزی و بی خاک‌ورزی روی خاک اشاره گردیده و این در حالی است که نگرانی از کاهش عملکرد محصول و به دنبال آن کاهش درآمد دلیل عدم توسعه این روش‌ها بیان‌شده است. لذا به جهت ضرورت این پژوهش با بررسی چهار روش خاک¬ورزی (مرسوم، کم خاک¬ورزی یک، کم

1 . Multiple Criteria Decision Making

خاک¬ورزی دو کشت بدون خاک‌ورزی) و تأثیر آن بر شاخص‌های مهم تولیدی دو رقم متداول گندم (رقم شیرودی و مروارید) ازجمله میزان عملکرد، تراکم بوته، نرخ پنجه‌زنی، میزان سوخت مصرفی، بهره‌وری سوخت، تعداد تردد در سر مزرعه، زمان آماده‌سازی زمین و کاشت و هزینه عملیات به ازای هر هکتار با استفاده از تحلیل‌های آماری و روش ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره بررسی و بهترین سیستم خاک¬ورزی برای تولید پایدار گندم معرفی شد. به‌عبارتی‌دیگر ویژگی بارز این پژوهش، مطالعه و بررسی تأثیر چهار روش عمده خاک¬ورزی روی شاخص‌های مهم تولید محصول گندم و درنهایت معرفی مناسب‌ترین روش خاک¬ورزی با در نظر گرفتن جمیع جهات در راستای تولید پایدار این محصول مهم و استراتژیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو قطعه مزرعه مجزا (برای دو رقم متداول گندم شامل شیرودی و مروارید) از مزارع شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان و هرکدام در چهار کرت ۲/۸ هکتاری و سه تکرار اجرا شد. محصول کشت سال قبلی تمامی کرت‌ها، ذرت دانه‌ای بود که به‌صورت مکانیزه برداشت‌شده بود که بقایای کشت قبلی با دستگاه ساقه خردکن به قطعات کوچک‌تر تبدیل و روی زمین پخش‌شده بود. یکنواختی کرت‌های آزمایشی در هردو مزرعه ازنقطه‌نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آزمایش نشان از یکنواختی خاک این قطعات داشت (جدول ۱). فاکتورهای آزمایشی برای هر دو رقم گندم شامل انواع روش‌های خاک¬ورزی (مرسوم، کم خاک¬ورزی یک، کم خاک¬ورزی دو کشت مستقیم) به‌صورت ذیل انجام شد:

۱- خاک¬ورزی مرسوم: مطابق روال، ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. سپس جهت خرد کردن کلوخ‌ها و لایه‌های شخم، سه بار عملیات دیسک زنی اجرا گردید و در ادامه به‌منظور کاهش ناهمواری سطح زمین ناشی از عملیات شخم، عملیات لولرزنی و کودپاشی و در انتها توسط دستگاه خطی‌کار کشت انجام شد.

۲-کم خاک¬ورزی یک: عملیات کم خاک¬ورزی اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار دوطرفه و سپس عملیات دیسک زنی و در ادامه کاشت با دستگاه کمبینات نیوماتیک انجام شد.

۳-کم خاک¬ورزی دو: جهت آماده‌سازی زمین به روش کم خاک¬ورزی دو هم از خاک ورز مرکب و به دنبال آن جهت انجام عملیات کاشت از دستگاه کمبینات نیوماتیک استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری)

خصوصیات خاک	عمق خاک زراعی
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱/۲
اسیدیته خاک (PH)	۷/۸
رس (درصد)	۶۲
سیلت (درصد)	۲۸
شن (درصد)	۱۰
کلاس بافت	لومی - رسی

۴-کشت مستقیم (بی خاک‌ورزی): برای انجام عملیات کاشت به روش کشت مستقیم از دستگاه بی خاک‌ورزی استفاده شد.

۵-عملیات داشت: در تمامی قطعات آزمایشی به‌منظور کنترل علف‌های هرز از علف‌کش استفاده شد. هم‌چنین جهت مبارزه با بیماری‌های زنگ زرد و فوزاریوم سنبله گندم از قارچ‌کش به مقدار یک لیتر در هکتار در تمامی قطعات آزمایشی استفاده شد. آبیاری تمامی قطعات هم‌زمان توسط دستگاه سنتر پیوت در زمان‌های یکسان در سه دوره انجام شد.

روش‌های اندازه‌گیری متغیرهای پژوهش

به‌منظور اندازه‌گیری میزان سوخت مصرفی در عملیات خاک¬ورزی و کاشت، از روش باک پراستفاده گردید. بدین ترتیب که قبل و بعد از انجام هر عملیاتی، تراکتور در سطح تراز قرارگرفته و مخزن آن پر شد، سپس میزان سوخت مصرفی با اندازه‌گیری میزان سوخت اضافه‌شده تعیین گردید. از تراکتور کلاس Axion850 برای انجام عملیات خاک¬ورزی (برگردان دار و خاک ورز مرکب)، دیسک و کاشت (کمبینات و نوتیلج) و نیز از تراکتور شش سیلندر MF399 جهت انجام عملیات مختلف مکانیزه ازجمله چاپرزنی روی بقایای کشت قبلی، لولرزنی، کودپاشی و کاشت (خطی کار در روش مرسوم) استفاده شد. شاخص بهره‌وری انرژی سوخت مصرفی مطابق رابطه ۱ محاسبه شد [۱۲]:

$$P = \frac{Y}{F} \quad (۱)$$

که در آن: P، شاخص بهره‌وری انرژی سوخت (کیلوگرم بر لیتر)؛ Y، عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)؛ F، میزان سوخت مصرفی (لیتر بر هکتار) است.

برای اندازه‌گیری تراکم بوته، قاب مربعی ۰/۵×۰/۵ از جنس تخته چوب ساخته شد. سپس در شش نقطه از هر قطعه مزرعه و به‌دوراز حاشیه کرت‌ها، به‌صورت تصادفی، قاب چوبی روی زمین پرت شده و تعداد بوته‌های موجود شمارش گردید و میانگین آن‌ها به‌عنوان متوسط تعداد بوته در واحد سطح (مترمربع) هر قطعه در نظر گرفته شد (شکل ۱).

شکل ۱- اندازه‌گیری تراکم بوته

به‌منظور اندازه‌گیری تعداد پنجه‌زنی نیز، همانند روش اندازه‌گیری تراکم بوته، در شش نقطه از هر قطعه مزرعه و به‌دوراز حاشیه‌ها، به‌صورت تصادفی، قاب چوبی پرت شده و تعداد پنجه‌های اضافه‌شده به بوته اصلی شمارش و میانگین آن به‌عنوان تعداد پنجه‌زنی ثبت گردید. برای به دست آوردن عملکرد هر قطعه، دو روز قبل از برداشت توسط کمباین و نزدیک رطوبت ۱۴ درصد، به‌دوراز حاشیه هر کرت (برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای بر روی عملکرد)، کادر چوبی مربعی ۰/۵×۰/۵ مترمربع در شش نقطه از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و سپس وزن دانه‌های هرکدام از نمونه‌های هر قطعه از خوشه جدا و متوسط این نمونه‌ها به‌عنوان عملکرد دانه گندم بر اساس

رطوبت ۱۴٪ محاسبه شد. عملکرد محصول در حین برداشت با کمباین نیز اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه زمان مفید انجام عملیات مختلف روی قطعات آزمایشی، ابتدا فاصله ۱۰۰ متری در داخل هر قطعه و به‌دوراز ابتدا و انتهای قطعه نشانه‌گذاری گردید. سپس از اپراتور خواسته شد بدون توجه به علائم نشانه‌گذاری شده مشغول انجام عملیات با سرعت معمول خود شود. در این حین زمان انجام عملیات زراعی ثبت گردید. با در نظر گرفتن عرض کاری دستگاه (w) و مسافت ۱۰۰ متری و با فرض انجام این عملیات در t دقیقه، می‌توان از رابطه ۳-۲ متوسط زمان مفید انجام عملیات (T_1) برحسب دقیقه بر هکتار محاسبه کرد.

$$T_1\left(\frac{min}{ha}\right) = \frac{100 \times t_{(min)}}{w_{(m)}} \quad (۲)$$

همچنین جهت محاسبه زمان دور زدن سر مزرعه T_2 در عملیات مختلف، زمان متوسط دور زدن سر و انتهای قطعه وسطی (به‌عنوان نماینده قطعات) ثبت گردید. برای محاسبه زمان غیرمفید (T_3) همانند خرابی و یا تنظیم جزئی دستگاه و یا انجام هر عمل دیگری به‌غیراز انجام عمل اصلی، از اپراتورهای انجام دهنده عملیات مختلف نظرخواهی و ثبت گردید. در انتها مطابق رابطه ۳ زمان کل انجام عملیات از مجموع زمان‌های مفید، دور زدن سر مزرعه و زمان غیرمفید محاسبه گردید.

$$T_{(\frac{min}{ha})} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (۳)$$

به‌منظور محاسبه هزینه انجام عملیات مکانیزه در هر تیمار، از قیمت‌های مصوب وزارت جهاد کشاورزی برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ استفاده گردید. برای محاسبه تعداد تردد سر مزرعه، تعداد عملیات مکانیزه انجام‌شده (عملیات آماده‌سازی خاک و کاشت) برای هر تیمار شمارش و ثبت گردید. همچنین پرسشنامه‌ای به‌منظور سنجش درجه تمایل کارشناسان امور زراعی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان به استفاده از سیستم‌های خاک¬ورزی از سطح خیلی کم تا سطح خیلی زیاد تهیه و توزیع گردید و نتایج آن مطابق جدول ۲ به پارامترهای کمّی تبدیل شد [۴]. داده‌های به‌دست‌آمده وارد نرم‌افزار Excel شده و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، آنالیز واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین آن‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. همچنین جهت انتخاب بهترین سامانه خاک¬ورزی از روش ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل تاپسیس استفاده شد. حل مسئله با استفاده از مدل اخیر مستلزم برداشتن هفت گام زیر است [۱۳]:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم (R) ۲- کمی کردن و بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم (N) ۳- به دست آوردن ماتریس بی مقیاس موزون (V) ۴- تعیین راه‌حل ایده آل مثبت و منفی ۵- به دست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایده آل‌های مثبت و منفی ۶- تعیین نزدیکی نسبی (CL*) هر گزینه به راه‌حل ایده آل و ۷- رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها. لذا در ادامه نحوه استفاده از این روش با در نظر گرفتن گزینه‌ها و شاخص‌های مدنظر پژوهش آورده می‌شود.

جدول ۳ ماتریس عددی میزان مطلوبیت هریک از گزینه‌ها را با توجه به معیارهای موردبررسی نشان می‌دهد. در ماتریس ایجادشده گزینه‌های A1، A2، A3 و A4 به ترتیب خاک¬ورزی مرسوم، خاک¬ورزی ۱، خاک¬ورزی ۲ و روش کشت مستقیم یا همان نوتیلج و شاخص‌های C1، C2، C3، C4، C5، C6، C7، C8 و C9 به ترتیب متوسط عملکرد (kg/ha)، متوسط زمان انجام عملیات (min/ha)، میانگین سوخت مصرفی (lit/ha)، تردد سر مزرعه، بهره‌وری سوخت مصرفی (kg/lit)، تراکم بوته (num/m^2)، پنجه‌زنی، هزینه (هکتار/ریال) و درجه تمایل به انواع روش خاک¬ورزی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که با توجه به ماهیت شاخص‌ها، C1، C5، C6، C7 و C9 شاخص‌های مثبت و بقیه شاخص‌ها منفی در نظر گرفته شدند.

جدول۲- تبدیل معیارهای کیفی به پارامترهای کمی

معیار کیفی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
معادل کمی	۱	۳	۵	۷	۹

جدول ۳- ماتریس تصمیم‌گیری (R) روش‌های مختلف خاک¬ورزی با توجه به معیارهای موردبررسی

گزینه	C_1^+	C_2^-	C_3^-	C_4^-	C_5^+	C_6^+	C_7^+	C_8^-	C_9^+
رقم شیرودی									
A1 (خـــــاک¬ورزی مرسوم)	۶۷۵۲	۴۰۰	۱۱۱/۹	۸	۶۰/۳	۴	۲۱۶	۳۳۵۶۰۰۰	۷
A2 (کـم خـاک¬ورزی ۱)	۴۱۷۶	۲۶۷	۷۴/۸	۴	۵۵/۸	۳	۲۰۳	۳۳۱۸۰۰۰	۵
A3 (کـم خـاک¬ورزی ۲)	۶۵۲۰	۱۵۸	۵۶	۳	۱۱۶/۴	۴/۳	۲۲۶	۳۱۷۱۰۰۰	۹
A4 (بی خاک‌ورزی)	۵۲۸۰	۱۰۳	۲۸	۲	۱۸۸/۶	۳	۲۴۳	۱۷۲۸۰۰۰	۹
رقم مروارید									
A1 (خـــــاک¬ورزی مرسوم)	۷۰۶۸	۴۰۰	۱۱۱/۹	۸	۶۳/۲	۴/۳	۱۹۱	۳۳۵۶۰۰۰	۷
A2 (کـم خـاک¬ورزی ۱)	۵۹۶۰	۲۶۷	۷۴/۸	۴	۷۹/۷	۳	۱۷۳	۳۳۱۸۰۰۰	۵
A3 (کـم خـاک¬ورزی ۲)	۷۱۶۸	۱۵۸	۵۶	۳	۱۲۸	۴/۷	۱۸۰	۳۱۷۱۰۰۰	۹
A4(بی خاک‌ورزی)	۶۷۲۰	۱۰۳	۲۸	۲	۲۴۰	۳/۳	۲۰۰	۱۷۲۸۰۰۰	۹

در اولین گام پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری (R) لازم است این ماتریس بی مقیاس گردد. بدین منظور از بی مقیاس سازی نورم (رابطه ۲) بهره گرفته شد

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}} \quad (۲)$$

که در آن nij مقدار بی مقیاس شده هریک از مطلوبیت‌ها و aij مقدار مطلوبیت هر گزینه است.

به‌منظور وزن دهی معیارها و تولید ماتریس بی مقیاس موزون از روش آنتروپی شانون استفاده شد. بر این اساس پس از تعیین وزن هریک از معیارها، ماتریس مربعی (Wn×n) (ماتریس اوزان) تعیین شد که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است. سپس با ضرب ماتریس مربعی در ماتریس بی مقیاس (N) ماتریس بی مقیاس موزون (V) برآورد شد (رابطه ۳).

$$V = N_D \times W_{n\times n} = N_D \times \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & W_{mj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1j} & V_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ V_{m1} & \cdots & V_{mj} & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

سپس ایده آل‌های مثبت و منفی برای هر شاخص به دست آمد. برای شاخصی با جنبه مثبت، ایده آل مثبت بزرگ‌ترین مقدار V و برعکس برای شاخصی با جنبه منفی، ایده آل مثبت، کوچک‌ترین مقدار ماتریس V است. همچنین، ایده آل منفی برای شاخص مثبت کوچک‌ترین مقدار ماتریس V و ایده آل منفی برای شاخص منفی بزرگ‌ترین مقدار ماتریس V خواهد بود. بر این اساس برای شاخص-های مورداستفاده در این پژوهش، ایده آل‌های مثبت و منفی طبق رابطه ۴ و ۵، به شرح زیر هستند:

$$A^{+} = [Max\ vi_1, Min\ vi_2, Min\ vi_3, Min\ vi_4, Max\ vi_5, Max\ vi_6, Max\ vi_7, Min\ vi_8, Max\ vi_9] \quad (۴)$$

$$A^{-} = [Min\ vi_1, Max\ vi_2, Max\ vi_3, Max\ vi_4, Min\ vi_5, Min\ vi_6, Min\ vi_7, Max\ vi_8, Min\ vi_9] \quad (۵)$$

که در آن A+ و A- به ترتیب ایده آل‌های مثبت و منفی می‌باشند و min و max نیز حداقل و حداکثر مقادیر ماتریس بی مقیاس‌اند. به‌منظور تعیین میزان فاصله هر گزینه از ایده آل مثبت و منفی از رابطه ۶ استفاده شد:

$$d_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{+}\right)^2}\ ; i = 1,2,\dots,m \quad و \quad d_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{-}\right)^2}\ ; i = 1,2,\dots,m \quad (۶)$$

که در آن di+ و di- به ترتیب فاصله گزینه iام از ایده آل مثبت و فاصله گزینه i ام از ایده آل منفی می‌باشد. نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده آل نیز با کمک رابطه ۷ تعیین شد.

$$Cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i-} + d_{i+}}; 0 \le Cl_{i+} < 1; i = 1,2,\dots,m \quad (۷)$$

مقدار CL* (نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده آل) همواره بین صفر و یک است و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، راه‌کار به جواب ایده آل نزدیک‌تر است و راه‌کار بهتری به شمار می‌رود. با مقایسه CL* های محاسبه‌شده می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد.

تحلیل نتایج

تحلیل‌های آماری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به متوسط عملکرد، متوسط زمان انجام عملیات (min/ha)، میانگین سوخت مصرفی (lit/ha)، تردد سر مزرعه، بهره‌وری سوخت مصرفی (kg/lit)، بهره‌وری سوخت مصرفی (kg/lit) و هزینه آماده‌سازی زمین و کشت (هکتار/ریال) کرت‌های آزمایشی این پژوهش در جدول ۴ به تفکیک رقم و روش عملیات خاک‌ورزی نشان داده‌شده است. مطابق این جدول اثر هر چهار روش خاک¬ورزی روی شاخص‌های مهم تولید گندم بررسی‌شده در این پژوهش در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار شدند.

جدول ٤- آنالیز واریانس شاخص‌های موردبررسی در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
		متوسط عملکرد (kg/ha)	زمان انجام عملیات (min/ha)	سوخت مصرفی (lit/ha)	ترد د	شاخص بهره-وری انرژی سوخت	تراکم بوته (num/m^2)	پنجه زنی	هزینه (هکتار/ریال)
رقم شیرودی									
بلوک	۲	۲۵	۱۴۵/۶	۰/۰۳	/۰۰ ۰	۰/۰۰	۱۲/۳	/۰۰ ۰	۱۸۰۰۰۰۸۳۳۳
فاکتور	۳	۴۲۷۶۷۸***	/۱*** ۵۱۴۵۴	/۴*** ۳۶۹۹	*** ۲۰/۷	۱۱۵۳۷/۳***	۸۵۴***	*** ۱/۴	۱۸۳۰۰۹۴۵۲۷۷***
خطا	۶	۲۲۵	۴۸۹/۶	۵/۸	/۶۷ ۰	۱/۳	۶/۹	/۰۱ ۰	۳۶۲۵۹۵۲۷۷
رقم مروارید									
بلوک	۲	۱۰۰	۲۸۵/۷	۱۶/۰۳	/۰۰ ۰	۱	۱۶	/۰۱ ۰	۱۴۸۲۳۰۰۰۰۰
فاکتور	۳	۸۹۹۰۸۴***	*** ۵۱۵۶۶	/۸*** ۳۶۸۱	*** ۲۰/۷	۱۹۰۷۵/۶***	۴۲۶***	*** ۱/۹	۱۸۲۹۵۰۲۷۵۰***
خطا	۶	۱۰۰	۴۰۰/۷	۰/۰۳	/۶۷ ۰	۱	۱۲/۷	/۰۱ ۰	۱۴۸۲۳۰۰۰۰۰

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱

جدول ۵ مقایسه میانگین صفات موردبررسی در سیستم‌های مختلف خاک¬ورزی و کاشت با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات موردبررسی در سیستم‌های مختلف خاک¬ورزی و کاشت با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

فاکتورها	متوسط عملکرد (kg/ha)	زمان انجام عملیات (min/ha)	سوخت مصرفی (lit/ha)	تردد	شاخص بهره‌وری انرژی سوخت	ترا کم بوته (num/m^2)	پنج ه‌زنی	هزینه (هکتار/ریال)
رقم شیرودی								
خاک¬ورزی مرسوم	۶۷۵۲^{a}	۴۰۰^{a}	۱۱۱/۷^{a}	۸^{a}	۶۰/۳^{c}	۲۱۶^{c}	۴^{b}	۳۳۵۶۰۰۰^{a}
کم خاک¬ورزی ۱	۴۱۷۶^{d}	۲۶۷^{b}	۷۴/۸^{b}	۴^{b}	۵۵/۸^{d}	۲۰۳^{d}	۳^{c}	۳۳۱۸۰۰۰^{a}
کم خاک¬ورزی ۲	۶۵۲۰^{b}	۱۵۸^{c}	۵۶^{c}	۳^{bc}	۱۱۶/۴^{b}	۲۲۶^{b}	۴/۳^{a}	۳۱۷۱۰۰۰^{a}
بی خاک‌ورزی	۵۲۸۰^{c}	۱۰۳^{d}	۲۸^{d}	۲^{c}	۱۸۸/۶^{a}	۲۴۳^{a}	۳^{c}	۱۷۲۸۰۰۰^{b}
رقم مروارید								
خاک¬ورزی مرسوم	۷۰۶۸^{b}	۴۰۰^{a}	۱۱۱/۵^{a}	۸^{a}	۶۳/۲^{d}	۱۹۱^{b}	۴/۳^{b}	۳۳۵۶۰۰۰^{a}
کم خاک¬ورزی ۱	۵۹۶۰^{d}	۲۶۷^{b}	۷۴/۸^{b}	۴^{b}	۷۹/۷^{c}	۱۷۳^{c}	۳^{d}	۳۳۱۸۰۰۰^{a}
کم خاک¬ورزی ۲	۷۱۶۸^{a}	۱۵۸^{c}	۵۶^{c}	۳^{bc}	۱۲۸^{b}	۱۸۰^{c}	۴/۷^{a}	۳۱۷۱۰۰۰^{a}
بی خاک‌ورزی	۶۷۲۰^{c}	۱۰۳^{d}	۲۸^{d}	۲^{c}	۲۴۰^{a}	۲۰۰^{a}	۳/۳^{c}	۱۷۲۸۰۰۰^{b}

همان‌طوری که از این جدول ۵ هویداست در گندم رقم مروارید بیشترین عملکرد مربوط به روش کم خاک¬ورزی ۲ به میزان ۷۱۶۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به روش کم خاک‌ورزی ۱ به میزان ۵۹۶۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در گندم رقم شیرودی نیز درحالی‌که بیشترین عملکرد مربوط به روش خاک¬ورزی مرسوم با مقدار ۶۷۵۲ کیلوگرم در هکتار است، این میزان به روش کم خاک‌ورزی ۲ با اندکی فاصله ۶۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بوده و کمترین عملکرد مربوط به کم خاک¬ورزی ۱ با میزان ۴۱۷۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. لذا از حیث عملکرد و با در نظر گرفتن نتایج این بخش می‌توان برای هر دو رقم شیرودی و مروارید، بهترین روش خاک¬ورزی را خاک¬ورزی ۲ معرفی کرد. برای هر دو رقم گندم، بیشترین زمان مصرفی برای آماده‌سازی زمین و انجام عملیات کاشت مربوط به روش خاک¬ورزی مرسوم با مقدار ۴۰۰ دقیقه در هکتار و کمترین زمان انجام این عملیات مربوط به روش بی خاک‌ورزی یا همان کشت مستقیم (نوتیلج) به میزان ۱۰۳ دقیقه در هکتار می‌باشد (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد میزان زمان مصرفی برای انجام عملیات مکانیزه در روش خاک¬ورزی مرسوم ۵۰درصد بیشتر از روش خاک¬ورزی ۱ و ۱۵۳درصد بیشتر از روش خاک¬ورزی

۲ و نزدیک ۴۰۰درصد بیشتر نسبت به روش کشت مستقیم است که این موضوع در مدیریت مزارع بزرگ همچون شرکت کشت‌وصنعت-ودامپروری مغان که سالانه بالای ۷۰۰۰ هکتار اراضی کشت پاییزه دارد و نیز هم‌زمان با آغاز بارندگی‌های پاییزی می‌باشد، بسیار حائز اهمیت است. لذا با در نظر گرفتن نتایج این بخش می‌توان برای هر دو رقم شیرودی و مروارید، بهترین روش خاک‌ورزی به ترتیب کشت مستقیم و خاک‌ورزی ۲ معرفی کرد. بیشترین سوخت مصرفی مربوط به روش خاک‌ورزی مرسوم به مقدار ۱۱۱/۹ لیتر در هکتار و کمترین آن مربوط به روش کشت مستقیم (نوتیلج) به میزان ۲۸ لیتر در هکتار می‌باشد. طبیعتاً بالا بودن میزان سوخت مصرفی پارامتری منفی می‌باشد که علاوه بر مسائل مربوط به ایجاد آلودگی هوا و سایر مشکلات زیست‌محیطی، ازلحاظ مدیریت هزینه تولید نیز بسیار حائز اهمیت است. با در نظر گرفتن این موضوع که میزان سوخت مصرفی در روش خاک‌ورزی مرسوم بسیار بیشتر از سایر روش‌های خاک‌ورزی موردبررسی در این پژوهش می‌باشد، لذا به لحاظ میزان متوسط سوخت مصرفی برای هر دو رقم گندم، روش خاک‌ورزی کشت مستقیم و خاک‌ورزی ۲ به‌عنوان روشی مناسب معرفی می‌گردد. مطابق جدول اخیر، بیشترین تردد تراکتور و ادوات کشاورزی پشت‌بند به‌منظور انجام عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت مربوط به روش خاک¬ورزی مرسوم با تعداد ۸ بار و کمترین تردد مربوط به عملیات کشت مستقیم با تعداد ۲ بار می‌باشد. تردد سر مزرعه نیز همانند پارامترهای متوسط سوخت مصرفی و میانگین زمان انجام عملیات مکانیزه پارامتری منفی می‌باشد. گو اینکه با افزایش تردد سر مزرعه، علاوه بر کوبیده شدن خاک مزرعه و تراکم بیش‌ازحد آن، باعث افزایش زمان کل انجام عملیات، رفت‌وآمدهای بیشتر بین مزرعه و کارگاه، تعویض و تنظیمات ادوات پشت‌بند و افزایش مشکلات مربوط به استفاده از تعدد ادوات نیز می‌شود. لذا ازنظر پارامتر تردد سر مزرعه و با در نظر موارد فوق، برای هردو رقم گندم به ترتیب روش خاک¬ورزی کشت مستقیم و خاک¬ورزی ۲ به‌عنوان روشی مناسب پیشنهاد می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در هردو رقم مروارید و شیرودی بیشترین بهره‌وری سوخت مصرفی مربوط به روش خاک¬ورزی کشت مستقیم (نوتیلج) به ترتیب ۲۴۰ کیلوگرم بر لیتر و ۱۸۸/۶ کیلوگرم در لیتر سوخت مصرفی بوده و کمترین هم در رقم مروارید مربوط به خاک¬ورزی مرسوم با مقدار ۶۳/۲ کیلوگرم در لیتر و در رقم شیرودی مربوط به روش خاک¬ورزی ۱ با مقدار ۵۵/۸ کیلوگرم بر لیتر سوخت مصرفی می‌باشد. پارامتر بهره‌وری سوخت از پارامترهای مهم برای سنجش بهره‌وری تولید می‌باشد. که علاوه بر مسائل مرتبط با آلودگی هوا و مشکلات زیست‌محیطی، مسائل مهمی همچون اقتصادی بودن تولید را هم با خود یدک می‌کشد. لذا با در نظر گرفتن موارد فوق، به ترتیب روش کشت مستقیم و روش کم خاک¬ورزی ۲ به‌عنوان روش‌های مناسب آماده‌سازی زمین برای هر دو رقم گندم مروارید و شیرودی پیشنهاد می‌گردد. مقایسه نتایج مربوط به تراکم بوته‌ها در جدول ۵، در روش‌های مختلف خاک¬ورزی ، نشان می‌دهد که در هر دو رقم گندم موردبررسی در این پژوهش، بیشترین تراکم مربوط به روش کشت مستقیم (نوتیلج) و کمترین تراکم مربوط به روش کم خاک‌ورزی ۱ می‌باشد. تراکم بوته‌ها به‌نوعی میزان سبز شدن بذرهای کشت‌شده را نشان می‌دهد. تراکم کمتر از حد بهینه باعث کاهش عملکرد محصول به‌واسطه کاهش تعداد سنبله‌ها در واحد سطح می‌گردد. اما افزایش تراکم گندم، در صورت مناسب بودن سایر شرایط ازجمله تغذیه و آبیاری آن، باعث افزایش عملکرد می‌گردد و این در حالی است که تراکم بیش‌ازحد نیز (مصرف بذر کمتر) به‌واسطه کاهش وزن هزار دانه و کاهش قدرت پنجه‌زنی و . . . باعث افزایش عملکرد محصول به‌صورت نامتناهی نمی‌گردد. مقایسه تعداد پنجه‌زنی محصول گندم در روش‌های مختلف خاک¬ورزی نیز نشان می‌دهد در هر دو رقم گندم بیشترین پنجه‌زنی مربوط به روش خاک¬ورزی ۲ می‌باشد. نهایت امر، همان‌طور که از جدول ۵ قابل‌فهم است، هزینه عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت، در هر دو رقم گندم موردبررسی در این پژوهش، به روش مرسوم بیشتر بوده و کمترین رقم مربوط به روش کشت مستقیم (نوتیلج) می‌باشد. به‌طوری‌که هزینه آماده‌سازی به روش مرسوم چیزی در حدود بالای ۹۰درصد بیشتر از هزینه آماده‌سازی به روش کشت مستقیم می‌باشد.

استفاده از تکنیک ماتریس تصمیم‌گیری چند معیاره

برای این منظور از نرم‌افزار MCDM engine استفاده شد. جدول ۶ نتایج نرم‌افزار به ترتیب بهترین گزینه بر اساس نزدیکی نسبی گزینه-ها (CL_i^*) برای هر دو رقم نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های اخیر روش بی خاک‌ورزی (A4) و روش خاک¬ورزی ۲ (A3)، که هر دو جزو روش‌های خاک¬ورزی حفاظتی هستند، به‌عنوان بهترین سیستم خاک¬ورزی در مقایسه با روش‌های دیگر انتخاب شدند. نتایج این قسمت با نتایج جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین فاکتورها انجام‌شده در بخش قبل مطابقت کامل دارد.

جدول ٦- ضرایب وزنی و میزان نزدیکی نسبی هر گزینه از راه‌حل ایده آل و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها

گزینه	مقادیر CL_i^*	رتبه
رقم شیرودی		
A4 (بی خاک‌ورزی)	۰/۹۸	۱
A3 (کم خاک¬ورزی ۲)	۰/۶۸	۲
A2 (کم خاک¬ورزی ۱)	۰/۴۳	۳
A1 (خاک¬ورزی مرسوم)	۰/۰۴	۴
رقم مروارید		
A4 (بی خاک‌ورزی)	۰/۹۸	۱
A3 (کم خاک¬ورزی ۲)	۰/۶۳	۲
A2 (کم خاک¬ورزی ۱)	۰/۴۲	۳
A1 (خاک¬ورزی مرسوم)	۰/۰۲۹	۴

نتیجه‌گیری کلی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر هر چهار روش خاک¬ورزی روی شاخص‌های مهم تولید گندم در سطح احتمال ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین شاخص‌های عملکرد گندم، تراکم بوته و تعداد پنجه‌زنی، میزان سوخت مصرفی، بهره-وری انرژی سوخت مصرفی، تعداد تردد سر مزرعه، زمان آماده‌سازی زمین و کاشت و هزینه آن به ازای هر هکتار نشان داد که روش‌های نوتیلج و خاک¬ورزی ۲ بهتر از دو روش دیگر خاک¬ورزی می‌باشند. همچنین نتایج با استفاده از نرم‌افزار MCDM Engine با استفاده از تکنیک TOPSIS مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت و سیستم بی خاک‌ورزی (کشت مستقیم) و خاک¬ورزی ۲ با در نظر گرفتن جمیع جهات و شاخص‌های مهم در نظر گرفته‌شده در این پژوهش به‌عنوان بهترین روش خاک¬ورزی انتخاب گردید. لذا روش‌های خاک¬ورزی ۲ (استفاده از خاک ورز مرکب و دستگاه کمبینات) و کشت مستقیم می‌تواند جایگزین مناسب بجای روش خاک¬ورزی مرسوم در تولید پایدار محصول گندم باشد.

تقدیر و تشکر

تقدیر و تشکر ویژه از مدیریت محترم شرکت کشت‌وصنعت‌وداموپروری مغان و مجموعه عوامل زحمتکش مجتمع زراعت که با حمایت‌های مالی و معنوی خود ما را در انجام این پژوهش یاری کردند.

منابع

۱. آسودار، م. و سبزه زار ، ه. ۱۳۸۷. سیستم‌های خاک¬ورزی حفاظتی (ترجمه). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج و آموزش کشاورزی، ص ۱۱۳.

۲. اسدی، ا. تاکی، ا. و همت، ع. ۱۳۷۹. آشنایی با سیستم‌های خاک¬ورزی در تولید گندم آبی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی، ص ۱.

۳. اسدی، ا. و ع. همت. ۱۳۷۷. اثرات شیوه‌های مختلف خاک¬ورزی روی محصول گندم آبی و مقایسه پارامترهای عملکردی آن‌ها. گزارش پژوهش نهایی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۰۶.

۴. اصغرپور، م. ج. ۱۳۸۳. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. نشر دانشگاه تهران، چاپ سوم.

۵. الموتی، ی. م.، صلح‌جو، ع. ا.، شریفی، ا.، جوادی، ا.، اشرفی‌زاده، س. و تاکی، او. ۱۳۹۴. راهنمای خاک¬ورزی حفاظتی و کاربرد آن. نشر آموزش کشاورزی.

۶. پیشگر کومله، س. ح.، کیهانی، ع. مستوفی، م. ر. و جعفری، ع. ۱۳۹۲. انتخاب مناسب‌ترین سامانه برداشت ذرت بذری بر مبنای مدل‌های TOPSIS و SAW. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۴ (۲): ص ۹۲-۸۱.

۷. سرخیل، ص و ح. نوید. ۱۳۸۹. ارزیابی و انتخاب تراکتور از بین چهار نوع تراکتور به روش تحلیل سلسله مراتبی AHP در محدوده توان ۳۰-۹۰ کیلووات. ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.

۸. شفیعی، س. ا. ۱۳۹۵. ماشین‌های خاک¬ورزی . ویرایش ششم. انتشارات دانشگاه تهران.

۹. ذاکری، م. و ن. کاظمی. ۱۳۸۵. نظام‌های خاک¬ورزی در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه ایلام. ص ۲۰۳.

۱۰. قدسی پور، ح. ۱۳۸۱. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی داده‌ها AHP. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر مرکز نشر.

۱۱. لک، م. ب. و ع. م. برقعی. ۱۳۹۰. انتخاب تراکتور مناسب بر مبنای تصمیم‌گیری چند معیاری (مطالعه موردی استان همدان). نشریه علمی-پژوهشی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه مشهد دوره ۱ شماره ۱.

۱۲. مصری، ت. گ. ۱۳۹۴. مکانیزاسیون صنایع کشاورزی (استراتژی و رویکردها در صنایع بیوسیستم). انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۶۳-۶۴.

۱۳. مومنی، م. و ع. شریفی سلیم. ۱۳۹۰. مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۴. نوری، ق. س. و طباطبائیان، ح. س. ۱۳۸۱. تحلیل حساسیت مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه نسبت به روش مورداستفاده. مجله دانش مدیریت دانشگاه تهران، ۳۶(۱۵)، ۲۵-۳۸.

۱۵. هدایتی پور، ا. ۱۳۸۹. مقایسه سرعت نفوذ آب در روش بدون خاک‌ورزی و روش‌های مرسوم در یک خاک لومی-رسی. اولین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی.

16. Chen, H. 2013. Traffic and tillage effects on soil water conservation and winter wheat yield in the loess plateau, china. Ecological Chemistry and Engineering Sinica. 20 (3): 507-517.
17. Compbell, J. A. and Akhtar, M. E. 1988. Impact of tillage on soil water regimes in the rainfed areas of Pakistan.Soil Physics. 275-276.
18. Halverson, A. D., and G. A. Paterson. 2002. Tillage system and crop rotation effects on dry land crops yields and soil carbon in central Great Plains.Agronomy Journal. 94: 1429-1436.

19. Katsvairo, T., Cox, W. J. and Vanes. H. 2002.Tillage and rotation effects on soil physical.Characteristics. Agronomy Journal. 94: 299-304.
20. Kline, D. E., Bender, A., Mc Carl, B. A. and Van Dong, C. E. 1988. Machinery selection using expert systems and linear programing. Comput. Election. Agric. 3, 45-61.
21. Nasseri, A. 2018. Energy use and economic analysis for wheat production by conservation tillage along with sprinkler irrigation. Science of the Total Environment. 648 (2019) 450–459.
22. Patterson, D.E., W.C.T. Chamen & C.D. Richardson. 1980. Long-term experiments with tillage systems to improve the economy of cultivations for cereals. J. Agric. Eng. Res. 25:1-35.
23. Singh, H. P., D. R. Batish, and R. K. Kohli. 2003. Allelopathic in interaction and allelochemicals: new possibilities or sustainable weed management. Critical Reviews in Plant Scince. 22: 239-311.
24. Sogaard, H. T. and C. G. Sorensen. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system. Biosystem Eng. 89(1): 13-28.
25. Sparrow, S. D., C. E. Lewis, and C. W. Knight. 2006. Soil quality response to tillage and crop residue removal under subarctic conditions. Soil & Tillage Research 91: 15-21.
26. Unger, P.W. 1977. Tillage effects on winter wheat production where the irrigated and dry land crops are alternated. Agron. J. 69: 944-950.

The Effect of Different Tillage Systems on Important Indicators of Sustainable Wheat Production & Selection the best Method using TOPSIS model

Ali Mirzazadeh[1*], Razieh Pourdarbani[2] & Salman Fekri[3]

1. Assist. Prof., Dept. of Agricultural Engineering & Technology, Faculty of Agriculture & Natural Resources (Moghan), University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
2. ***Assist. Prof.***, Dept. of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
3. B. S. in Agricultural Eng. (Soil Sciences) and Head of Agriculture Department (7) in Moghan Agro-Industrial & Livestock (MAIL) Co.

Abstract

Among various agricultural operations, 60% of the total energy input is spent on tillage operations. Other concerns such as soil compaction, time management, economic issues, porosity reduction, moisture storage capacity, as well as 25 percent increase in water and airborne erosion have improved the methods of tillage. Conservation tillage is one of the main options for reducing the adverse effects of conventional tillage methods. This research was conducted to evaluate the important production indicators of wheat in Moghan Plain. In order to do the tests, two of the farms of Moghan Company were divided into four equal parts (2.8 hectare). By various methods, the soil was prepared and cultivated. The experiments included four tillage methods including conventional tillage, tillage 1 (Plowing+Disking+Planting by Combinat planter), tillage 2 (Subsoiler+ Planting by Combinat planter) and direct drill, in which two common cultivars were cultivated in experimental plots. The measured independent parameters were: Performance, fuel consumption, fuel efficiency, traffic, Preparation time, plant density and number of tillers and its cost per hectare. The results of analysis of variance showed that the effect of all four tillage methods on the important production indices were significant at the $P<0.001$. The results showed the improvement of sustainable production indicators by the methods of no tillage and tillage 2. Also, the results were evaluated using TOPSIS technique, and No tillage system and tillage 2 was selected as the best tillage method. So conservation tillage, can be an appropriate alternative instead of conventional tillage in wheat sustainable production.

Key words: Conservation Tillage, Wheat, production indicators & TOPSIS model.

*Corresponding author
E-mail: ali.mirzazadeh@uma.ac.ir