کارآیی بهره‌مندی از آب باران گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر جهت خاکورزی در کشتزارهای دیم شیبدار

علی‌رضا واعظی*، احسان زرین‌آبادی و یاسین صالحی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۹)

چکیده

استفاده مؤثر از آب باران نقش کلیدی در گسترش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. روش خاکورزی به‌عنوان یک اقدام مدیریتی مهم می‌تواند بر نگه‌داشت آب باران، رطوبت خاک و در نهایت عملکرد محصول در اراضی دیم اثر بگذارد. این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر درجه شیب دامنه و جهت خاکورزی بر کارآیی بهره‌مندی از آب گندم (RWUE) در کشتزارهای دیم گندم در زنجان انجام گرفت. آزمایش مزرعه‌ای در پنج دامنه با شیب متفاوت (۱۲/۶، ۱۵/۳، ۱۷، ۱۹/۴ و ۲۲ درصد) در دو جهت خاکورزی (خاکورزی موازی شیب و روی خطوط تراز) در دو تکرار به اجرا درآمد. رطوبت جرمی خاک در فواصل پنج روز طی دوره رشد و تولید رواناب پس از هر بارندگی اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه گندم برای هر کرت تعیین و RWUE بر اساس نسبت عملکرد دانه و بارندگی محاسبه شد. بر اساس نتایج، تولید رواناب، رطوبت خاک، عملکرد دانه گندم و RWUE تحت تأثیر جهت خاکورزی قرار گرفت؛ به‌طوری که تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز ۶/۴ برابر کاهش یافت و مقدار رطوبت خاک، عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب گندم RWUE به‌ترتیب ۸/۷، ۲۴/۸ و ۲۴/۸ درصد افزایش پیدا کرد. با افزایش درجه شیب به‌دلیل کاهش ظرفیت ذخیره آب، تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز نسبت به خاکورزی موازی شیب افزایش یافت و موجب شد رطوبت خاک، عملکرد دانه و RWUE کاهش یابد. این نتیجه نشانگر کاهش کارآیی روش خاکورزی روی خطوط تراز در حفظ آب و RWUE در شیب‌های تند است.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، خاکورزی حفاظتی، رواناب، عملکرد گندم، محتوای رطوبتی خاک.

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@znu.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از گیاهان گل‌دار تک‌لپه‌ای یک‌ساله و تیره گندمیان و از خانواده گرامینه‌ها است (۲۸)، که به‌دلیل ارزش غذایی و طیف گسترده سازگاری به شرایط آب و هوایی، در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، در سطوح وسیع‌تری کشت می‌شوند (۴۰). این محصول از نظر مقدار تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول کشاورزی در ایران نیز است که افزایش تولید آن در گذر زمان مورد توجه قرار گرفته و از نظر اقتصادی و تأمین غذای اصلی از اهمیت بسیاری برخوردار است (۳۲). طبق آمارهای فائو در سال ۲۰۱۶، سطح کشت گندم در ایران و دنیا به‌ترتیب برابر ۵,۶۸۱,۸۰۷ و ۱۹,۹۸۳,۹۵۵ هکتار و عملکرد آن به‌ترتیب برابر ۱/۹۵۳۲ و ۲/۶۵۷۶ تن در هکتار بوده است (۱۳). همچنین ۲۲۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی دنیا تحت کشت دیم است و در ایران حدود ۴ میلیون هکتار تحت کشت دیم قرار دارد (۱۲). عملکرد دانه گندم به شدت دچار تغییرات مکانی و زمانی بوده و تحت تأثیر روش‌های مدیریتی است (۱۱).

مقدار و دسترسی آب و عناصر غذایی در خاک و دمای خاک بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم در شرایط دیم مؤثر است. (۳۱). در مناطق گرم و خشک عمده زراعت به‌شکل دیم است در این شرایط ، گیاه برای تأمین آب مورد نیاز خود به‌طور کامل به بارندگی وابسته است. بنابراین با توجه به کمبود بیلان رطوبتی در این مناطق تمامی عملیات کشاورزی و مدیریت خاک بایستی طوری طراحی شوند که امکان استفاده بهینه از بارش‌های آسمانی را فراهم کنند (۸ و ۲۲). شخم زدن خاک از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، نگهداشت آب در خاک و عملکرد محصول است (۲۴). جهت شخم نیز نقش مهمی در هدررفت آب در کشتزارها ایفا می‌کند. در کشت موازی با شیب به‌دلیل کاهش فرصت نفوذ آب، هدررفت آب به‌شدت افزایش می‌یابد که این موضوع به نوبه خود هدررفت خاک و عناصر غذایی را به‌دنبال خواهد داشت (۳۵). سیستم خاکورزی به‌عنوان یک روش مدیریتی به‌طور مستقیم بر ذخیره رطوبت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارد (۹). در سیستم خاکورزی حفاظتی حداقل به‌هم خوردگی خاک و حداکثر پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک ایجاد می‌شود. خاکورزی حفاظتی می‌تواند وسیله‌ای برای رسیدن به تولید پایدار و مدیریت محصولات باشد (۱۰). جین و همکاران (۲۰) اشاره کردند که ذخیره رطوبتی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برای گندم زمستانه در سیستم بدون خاکورزی (۶۰ میلی متر) حدود ۱۹ درصد بیشتر از خاکورزی متداول (۵۵/۸ میلی‌متر) بود. هودیانی مهر و همکاران (۱۵) در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی اثر سیستم‌های خاکورزی بر محتوای عناصر و عملکرد دو گیاه چای ترش و ماش گزارش کردند که سیستم خاکورزی حفاظتی باعث افزایش کارآیی منابع محیطی و بهبود عناصر غذایی شده است. آنها همچنین اشاره کردند که سیستم بدون خاکورزی محتوای رطوبتی بیشتر و دمای خاک کمتری نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم داشت.

در پژوهش‌های مختلف به تأثیر روش خاکورزی بر عملکرد محصولات کشاورزی پرداخته شده است. احمدی و همکاران (۲) به‌منظور بررسی میزان تولید رواناب و رسوب رشد گیاه زراعی نخود دیم با تراکم‌های مختلف کشت همراه با شخم در جهت شیب، در منطقه تیکمه داش استان آذربایجان شرقی گزارش کردند، افزایش تراکم گیاه از طریق ایجاد مانع در مقابل حرکت آب روی سطح خاک باعث افزایش نفوذ و کاهش رواناب شد. شریفی و همکاران (۳۳) در مطالعه‌ای اثر روش‌های شخم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در بیرجند با سه نوع روش خاکورزی (شامل عدم خاکورزی، خاکورزی کاهشی و خاکورزی رایج) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که خاکورزی حفاظتی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم (عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و وزن سنبله) در مزرعه شد. هانگ و همکاران (۱۶ و ۱۷) تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر خصوصیات خاک و گیاه گندم دیم را در شمال غرب چین بررسی کردند. آزمایش به مدت دو سال تحت تأثیر چهار سیستم خاکورزی انجام گرفت. آنها نشان دادند که سیستم‌های خاکورزی حفاظتی

نسبت به خاکورزی مرسوم باعث بهبود عملکرد دانه، کارآیی استفاده از آب و توزیع ریشه گندم شد. بررسی‌های باقری و واعظی (۵) بر عملکرد دانه گندم و محتوای رطوبتی خاک تحت تأثیر فاصله ردیف و جهت شخم نشان داد این دو عامل به‌ترتیب موجب افزایش ۱۵/۷ و ۱۱ درصد در ذخیره رطوبتی خاک شد. آنها همچنین افزایش ۴۰ درصدی عملکرد گندم در شخم روی خطوط تراز را نسبت به خاکورزی موازی با شیب گزارش کردند. پاریهار و همکاران (۳۰) در تحقیقی در شمال غرب هند به‌منظور بررسی اثر نوع شخم بر عملکرد و میزان بهره‌وری آب دو گیاه گندم و ذرت گزارش کردند که کشت همراه با عملیات شخم حفاظتی توانست بیشترین عملکرد و بهره‌وری از آب را به‌همراه داشت. کمیلی و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ای روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم با سه روش خاکورزی گزارش کردند که بیشترین عملکرد زیست‌توده، ارتفاع بوته مربوط به تیمار بدون خاکورزی بوده و کمترین آن از سیستم کم‌خاکورزی به‌دست آمد.

با توجه به بررسی منابع انجام شده مطالعات مختلفی بر روی اثر سیستم خاکورزی در نقاط مختلف روی میزان تولید رواناب و فرسایش خاک از سطح مزارع انجام گرفته است. رطوبت قابل دسترس خاک طی دوره رشد گندم از عوامل تعیین کننده عملکرد محصول در این کشتزارها است. این موضوع در کشتزارهای منطقه نیمه‌خشک ایران که اغلب کشتزارهای گندم در جهت موازی شیب شخم زده می‌شوند، از اهمیت دوچندانی برخوردار است. با وجود این پژوهش‌های بسیار کمی در مورد نقش جهت خاکورزی در شیب‌های مختلف بر نگهداری آب، بهره‌مندی گیاه از آب و عملکرد گندم در کشتزارهای دیم منطقه نیمه‌خشک انجام گرفته است. از این‌رو این پژوهش با تکیه بر آزمایش‌های صحرای در کشتزارهای با شیب‌های متفاوت و با هدف بررسی برهم‌کنش شیب و جهت خاکورزی از نظر محتوای رطوبتی خاک بر عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در پنج دامنه با شیب متفاوت (۱۲/۶، ۱۵/۳، ۱۷، ۱۹/۴ و ۲۲ درصد) با دو نوع مدیریت مختلف (خاکورزی روی خطوط تراز و خاکورزی موازی شیب) در دو تکرار و در مجموع با ۲۰ واحد آزمایشی (۲ × ۲ × ۵) انجام پذیرفت. شیب دامنه به‌عنوان عامل اصلی و نوع مدیریت خاک، عامل فرعی درنظر گرفته شدند. دلیل اصلی انتخاب دامنه‌های مورد مطالعه، انتخاب دامنه‌هایی با درجات مختلف شیب بود که امکان استقرار کرت‌های مورد نظر در آنها فراهم باشد. مشخصات جغرافیایی دامنه‌ها، درصد شیب و بافت خاک در (جدول ۱) آمده است.

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در پنج دامنه واقع در محدوده دانشگاه زنجان در طول سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام گرفت. منطقه مورد بررسی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی قرار گرفته و میانگین ارتفاع ۱۶۵۱ متر از سطح دریا ثبت شد. این منطقه دارای متوسط بارندگی سالانه حدود ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن از اقلیم سرد و خشک برخوردار است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور به‌ترتیب زریک (Xeric) و مزیک (Mesic) است. طبق آمارهای وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۳، سطح زیر کشت گندم دیم در شهرستان زنجان ۶۳۵۰۰ هکتار و عملکرد آن ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. مهم‌ترین عامل محدود کننده عملکرد در دیم‌زارهای منطقه، کمبود آب است. همچنین سطح اراضی شخم خورده در جهت موازی شیب در این منطقه ۹۱/۴ درصد و سطح اراضی شخم خورده در جهت عمود بر شیب، ۸/۶ درصد است.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی دامنه‌ها، درصد شیب و بافت خاک

شیب دامنه (٪)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	بافت خاک
۱۲/۶	۱۵۸۸	۴۸/۳۸۳۰۰۹	۳۶/۶۸۳۰۹	لوم‌رسی‌شنی
۱۵/۳	۱۵۹۵	۴۸/۳۸۳۰۰۶	۳۶/۶۸۳۰۰۶	لوم‌شنی
۱۷	۱۶۰۸	۴۸/۴۰۱۰۷۳	۳۶/۶۶۶۰۱۳	لوم‌شنی
۱۹/۴	۱۶۰۸	۴۸/۴۰۱۰۰۷	۳۶/۶۶۶۰۱۴	لوم‌رسی‌شنی
۲۲	۱۵۹۱	۴۸/۳۸۳۰۱۲	۳۶/۶۸۳۰۰۷	لوم‌شنی

تعیین ویژگی‌های خاک کشتزارها

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک دامنه‌ها، پیش از شروع کشت، نمونه‌هایی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در سه نقطه از زمین محدوده مورد آزمایش برداشته شد. نمونه‌ها پس از گذراندن از الک دو میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (۱۴)، pH خاک به وسیله pH سنج در گل اشباع (۲۶) و درجه شوری به‌وسیله ECسنج بر مبنای رسانای الکتریکی عصاره گل اشباع (EC) (۴۰) اندازه‌گیری شد. همچنین کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون (۲۱)، ظرفیت تبادل کاتیونی به‌روش باور (۲۹) و محتوای کربن آلی به‌روش والکی بلاک (۳۹) تعیین شد. در نمونه‌های خاک دست‌نخورده میانگین قطر خاکدانه‌ها از طریق جداسازی خاکدانه‌ها به‌وسیله سری الک‌ها و محاسبه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و پایداری خاکدانه‌ها در نمونه‌های خاکدانه با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر به‌روش الک تر با جداسازی خاکدانه‌های پایدار در آب (۲۳) به مدت یک دقیقه و چگالی ظاهری خاک به‌وسیله سیلندر فلزی (۱۴) اندازه‌گیری شدند.

اجرای آزمایش

در طول هر دامنه چهار کرت به ابعاد ۴ متر در ۵ متر در مهر ۱۳۹۲ احداث شد. کرت‌ها شامل کرت‌های تحت کشت گندم دیم در جهت موازی شیب (۲ کرت) و کرت‌های تحت کشت گندم دیم در جهت عمود بر شیب یا روی خطوط تراز (۲ کرت) بود. در مجموع ۲۰ کرت در قالب طرح بلوک کامل تصادفی احداث شد. اندازه‌گیری رطوبت اولیه خاک در کرت‌ها همزمان با کشت گندم دیم در اواخر مهر ۱۳۹۲ آغاز و تا پایان دوره رشد گندم دیم (اواخر خرداد ۱۳۹۳) ادامه پیدا کرد. شکل ۱ نمای استقرار کرت‌ها روی دامنه را نشان می‌دهد. برای ایجاد کرت‌های شخم خورده در جهت موازی شیب و روی خطوط تراز (در جهت عمود بر شیب) از دستگاه پنجه‌غازی استفاده شد. این بخش از زمین‌های آزمایش به‌وسیله دستگاه پنجه‌غازی به‌صورت سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متر) شخم خورد. سپس از گاو آهن چیزل برای آماده‌سازی بستر بذر استفاده شد. کشت گندم دیم در اواخر مهر ماه ۱۳۹۲ به‌وسیله دستگاه خطی‌کار در دو جهت شخم (عمود بر شیب و موازی شیب) انجام گرفت. عمق کاشت گندم ۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر بود.

تعیین عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران

برای تعیین عملکرد دانه و ماده خشک در هر کرت تحت کشت، بوته‌های گندم با استفاده از نمونه‌گیر مربعی به مساحت یک مترمربع برداشته شد (۳۷) و تعداد و جرم خشک بذور در هر بوته تعیین شد. درنهایت با استفاده از روابط (۱) و (۲) عملکرد دانه گندم برای هر کرت محاسبه شد:

$$Y_G = \frac{M_G N_S \times 10000}{A} \qquad (1)$$

شکل ۱. نمایی از استقرار کرت‌ها روی دامنه شیب‌دار

که در آنها: YG عملکرد دانه در هکتار (Kg/ha)، MG جرم دانه-های گندم در هر بوته (kg) و A مساحت هر کرت (m^2) است. همچنین برای مقایسه اجزای عملکرد در کرت‌های مورد مطالعه، میانگین ارتفاع بوته و سنبله در واحد سطح نیز تعیین شد.

کارآیی بهره‌مندی از آب باران (RWUE) برای گندم در کرت‌های تحت کشت بر اساس عملکرد دانه و مجموع بارندگی در پایان دوره رشد با استفاده از روابط زیر تعیین شدند:

$$RWUE_G = \frac{Y_G}{p} \qquad (۲)$$

که در آنها: RWUEG کارآیی بهره‌مندی از آب باران برای دانه ($Kg.ha^{-1}mm^{-1}$)، YG همان مفاهیم قبلی در رابطه (۱) و P میزان بارندگی طی دوره رشد (میلی‌متر) است.

تعیین رطوبت خاک و رواناب طی دوره رشد

با توجه به نقش بارندگی پنج روز پیشین بر محتوای رطوبتی خاک در روش دفتر حفاظت خاک آمریکا (SCS, 1971)، در این آزمایش نیز مقدار رطوبت جرمی خاک در فواصل زمانی پنج روز طی دوره رشد و پس از هر رخداد بارندگی در کرت‌ها تعیین شد. برای این کار نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری در سه بخش از طول کرت (بالا، میانه و پایین) به‌وسیله استوانه فلزی برداشت شد. برای اندازه‌گیری مقدار تولید رواناب در هر بارندگی، در پایین‌دست کرت‌ها لوله خروجی و مخزن آب قرار داده شده بود (شکل ۱). پس از پایان هر بارندگی منجر به رواناب، حجم کل رواناب کرت در هر رخداد محاسبه شد. برای این کار، ابتدا حجم کل مخلوط رواناب و رسوب داخل مخزن تعیین شد و سپس در نمونه همگن برداشت شده از مخلوط، نسبت حجمی رواناب به‌دست آمد و بر اساس آن، حجم دقیق رواناب داخل مخزن برای هر رخداد بارندگی محاسبه شد (۳۸).

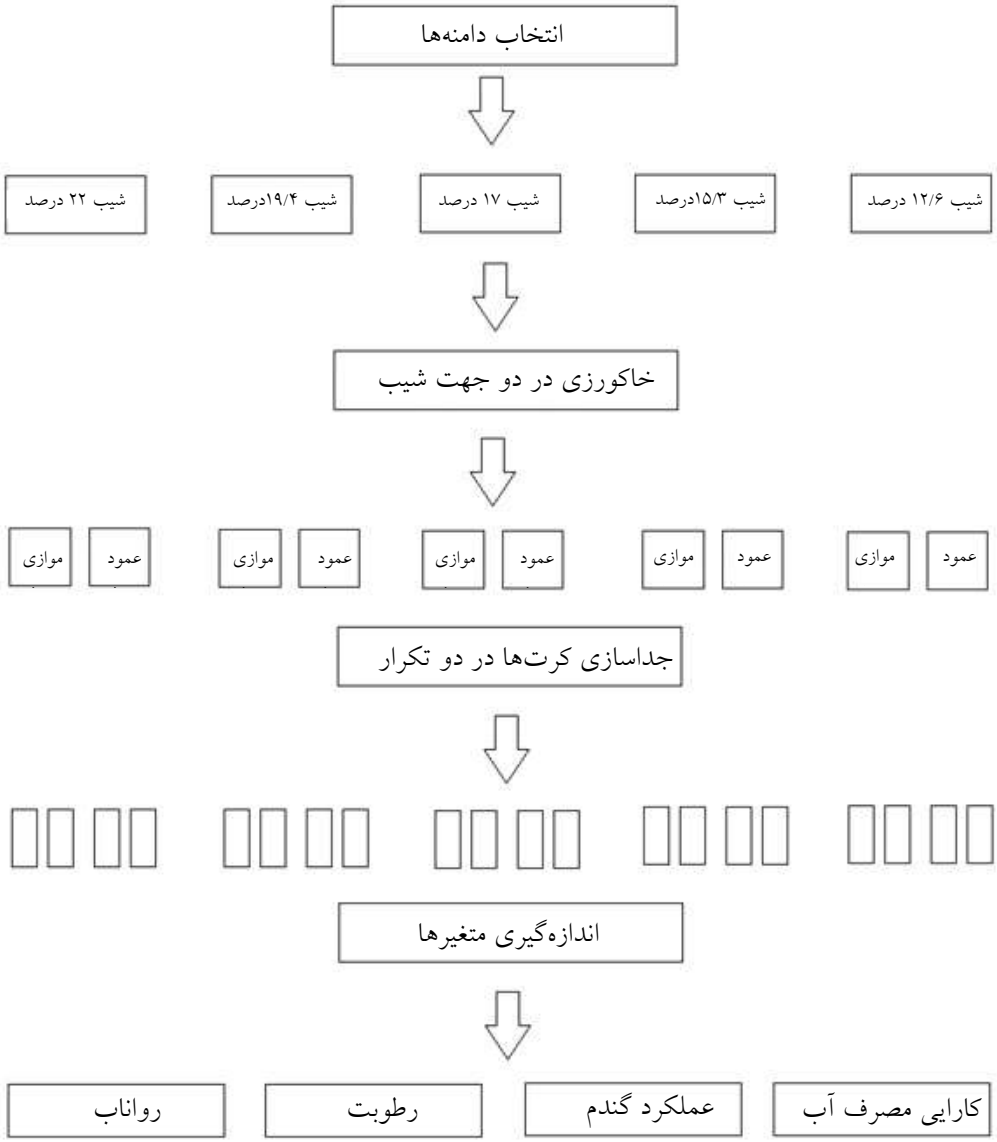
تجزیه وتحلیل داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد. تجزیه واریانس برهم‌کنش شیب و جهت خاکورزی از نظر عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام و مقایسه‌های میانگین به‌دست آمد. شکل ۲ نمودار کلی روش کار را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک کشتزارها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به میانگین درصد نسبی ذرات شن (۵۷/۷۹)، سیلت (۲۱/۱۹) و رس (۱۹/۷۵)، بافت خاک دامنه‌های مورد بررسی در دو کلاس لوم‌شنی و لوم‌رس‌شنی قرار دارند. خاک دامنه‌ها از نظر هدایت الکتریکی غیرشور (بین ۰/۵۵ تا ۳/۲۲) و از نظر واکنش در محدوده خنثی (۷/۵۱



شکل ۲. نمودار گردش کار پژوهش

تا ۷/۸۳) بود. خاک‌ها به‌علت داشتن کربنات کلسیم به‌نسبت زیاد (از ۵ تا ۱۲/۵ درصد) جزء خاک‌های آهکی (۳۴) به‌شمار می‌روند. خاک‌ها به لحاظ داشتن مقادیر کمتر مادهٔ آلی (حداکثر ۱/۵ درصد) و ذرات پیوند دهنده مانند رس (۱۰ تا ۲۶ درصد)، دارای خاکدانه‌های کوچک‌تر (۰/۹۷ تا ۲/۹ میلی‌متر) و به‌نوبه خود دارای میانگین قطر خاکدانه‌های پایدار کمتری (۰/۶۱تا ۴/۶۳) بود (۶). در واقع فراوانی بالای ذرات درشت و همچنین ذرات سست فاقد چسبندگی (سیلت و شن) در خاک مانع تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها شده (۷) و احتمال فروپاشی خاکدانه‌های این خاک تحت تأثیر باران را افزایش داد. چگالی ظاهری خاک‌ها از ۱/۳۶ تا ۱/۷۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر بود که اغلب به‌دلیل وجود ذرات درشت دانه (شن و سنگریزه) بود. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها (۷/۴۴ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم) به‌دلیل رس کم و همچنین فقیر بودن از نظر ماده آلی، پایین بود.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی

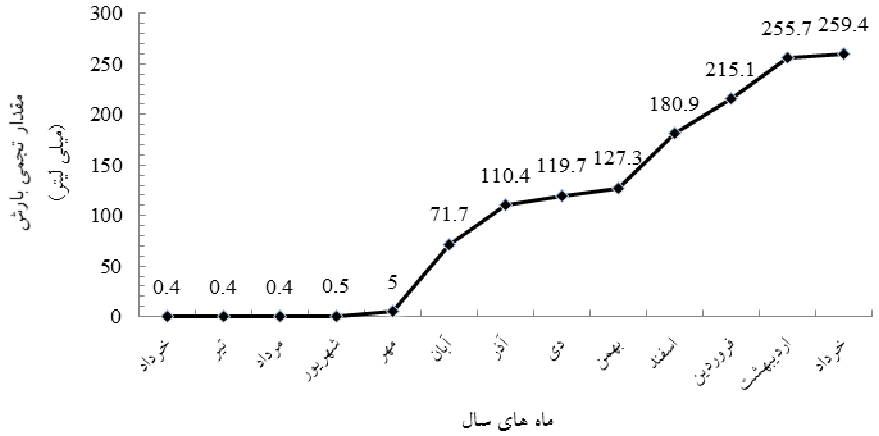
ویژگی‌های خاک	میانگین	کمترین	بیشترین	ضریب تغییرات (٪)
ویژگی‌های فیزیکی				
شن (٪)	۵۷/۷۹	۴۳/۶۳	۷۹/۷۱	۱۴
سیلت (٪)	۲۱/۱۹	۱۵	۲۸	۱۷
رس (٪)	۱۶/۶۷	۱۰	۲۶	۲۹
سنگریزه (٪)	۱۶/۲۲	۶/۷۶	۴۱/۴۰	۵۸
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۴۶	۱/۳۶	۱/۷۱	۸
میانگین قطر خاکدانه در روش الک خشک (میلی‌متر)	۱/۶۲	۰/۹۷	۲/۹۰	۳۵
میانگین وزنی قطر خاکدانه پایدار در آب (میلی‌متر)	۲/۴۶	۰/۶۱	۴/۶۳	۵۶
ویژگی‌های شیمیایی				
واکنش	۷/۶۸	۷/۵۱	۷/۸۳	۱
هدایت الکتریکی	۱/۳۱	۰/۵۵	۳/۲۲	۶۲
ظرفیت تبادل کاتیونی	۷/۴۴	۵/۴۴	۱۰/۲۳	۲۰
ماده آلی (٪)	۱/۱۶	۰/۹۳	۱/۵۱	۲۳
کربنات کلسیم معادل (٪)	۱۰/۵۸	۵	۱۲/۵	۲۶

ویژگی‌های بارانهای طبیعی طی دوره مطالعاتی

از مجموع ۲۶۰ میلی‌متر بارندگی طی دوره رشد، ۴۳ میلی‌متر به‌صورت برف و ۲۱۷ میلی‌متر به شکل باران بود. تعداد ۵۶ رخداد بارندگی طی دوره مطالعه (از ۱۳۹۲/۷/۳۰ تا ۱۳۹۳/۳/۳۱) ثبت شد. که از آن، تعداد هفت رخداد بارندگی منجر به تشکیل رواناب شد. بیشترین ارتفاع باران منجر به رواناب ۲۳/۱ میلی‌متر و کمترین آن ۰/۲ میلی‌متر بود. بیشترین و کمترین شدت بارندگی به‌ترتیب ۸/۲ و ۰/۴ میلی‌متر بر ساعت بود (شکل ۳).

تغییرات عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران تحت تأثیر شیب دامنه و جهت خاکورزی

نتایج تجزیه واریانس تغییرات عملکرد دانه، اجزای آن و کارآیی بهره‌مندی از آب باران نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر عامل اصلی (شیب) ($p< ۰/۰۱$) و عامل فرعی (جهت شخم) ($p< ۰/۰۵$) قرار گرفت. همچنین کارآیی بهره‌مندی از آب باران در کرت‌های تحت کشت گندم، تحت تأثیر عامل اصلی (شیب) ($p< ۰/۰۱$) و عامل فرعی (جهت شخم) ($p< ۰/۰۵$) قرار گرفت با وجود این برهم‌کنش این دو عامل از نظر تأثیر بر عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران معنی‌دار نبود. این نتایج نشان می‌دهد عامل شیب و جهت خاکورزی مستقل از هم بر متغیرهای مورد بررسی اثر می‌گذارند. به‌عبارت دیگر در کشتزارهای مورد بررسی با افزایش درجه شیب، عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران در هر دو جهت خاکورزی از



شکل ۳. مقدار بارندگی تجمعی ماهانه از خرداد ۱۳۹۲ تا پایان خرداد ۱۳۹۳

جدول۳. تجزیه واریانس عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران از نظر درجه شیب و جهت خاکورزی

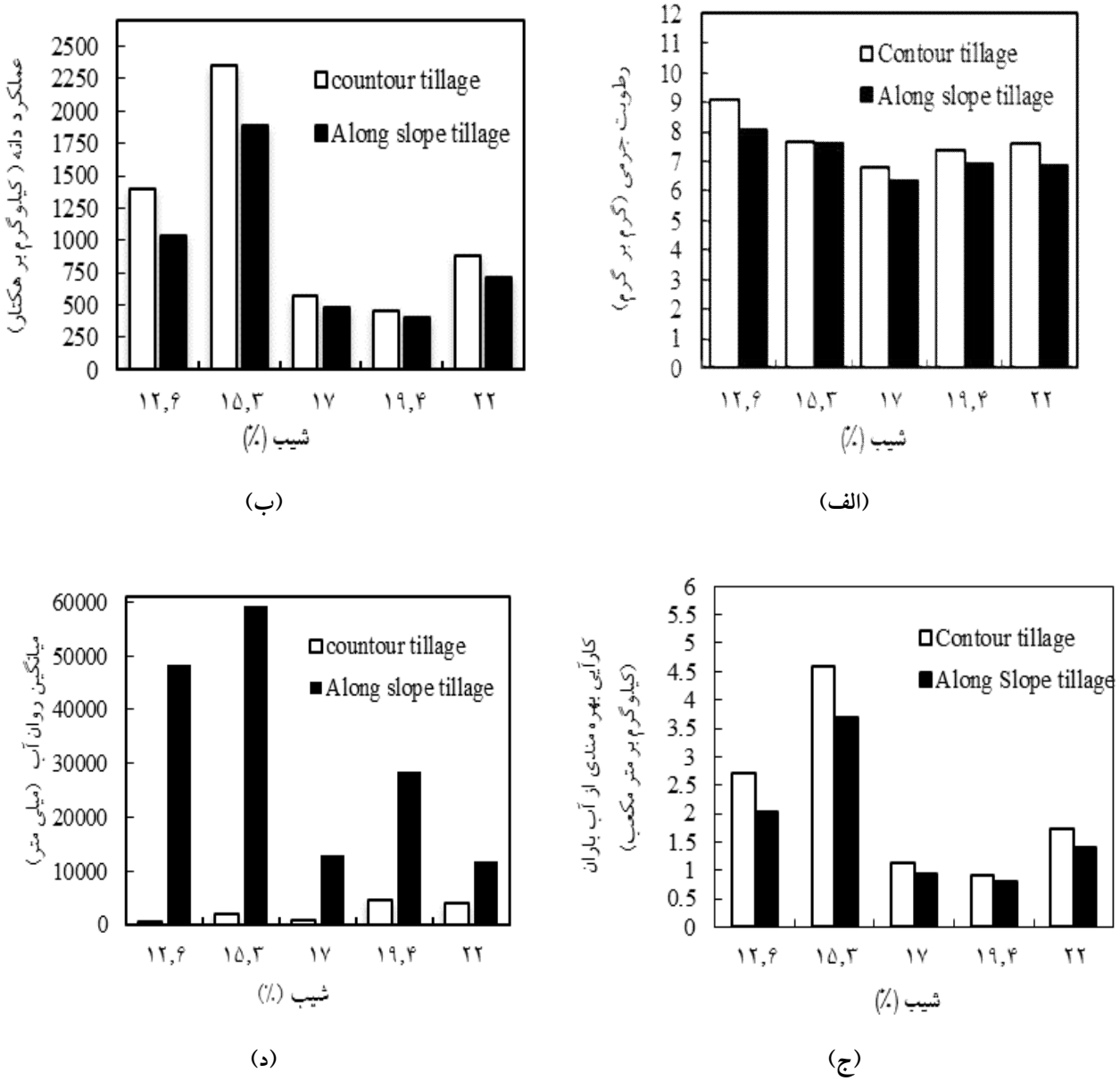
متغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد	کارآیی بهره‌مندی از آب	رواناب
شیب	۴	۰/۳۰۸**	۰/۳۰۴**	۱۲/۸۶۴*
خطای عامل اصلی	۵	۰	۰	۰/۰۱۲
جهت خاکورزی	۱	۰/۰۳۹*	۰/۰۳۹*	۴۹/۱۸۳**
خطای عامل فرعی	۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰
شیب × جهت	۴	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۳۱/۱۸**

روند مشابهی پیروی می‌کند (جدول ۳).

تغییرات رطوبت خاک، عملکرد گندم، کارآیی بهره‌مندی از آب باران و رواناب تحت تأثیر جهت خاکورزی

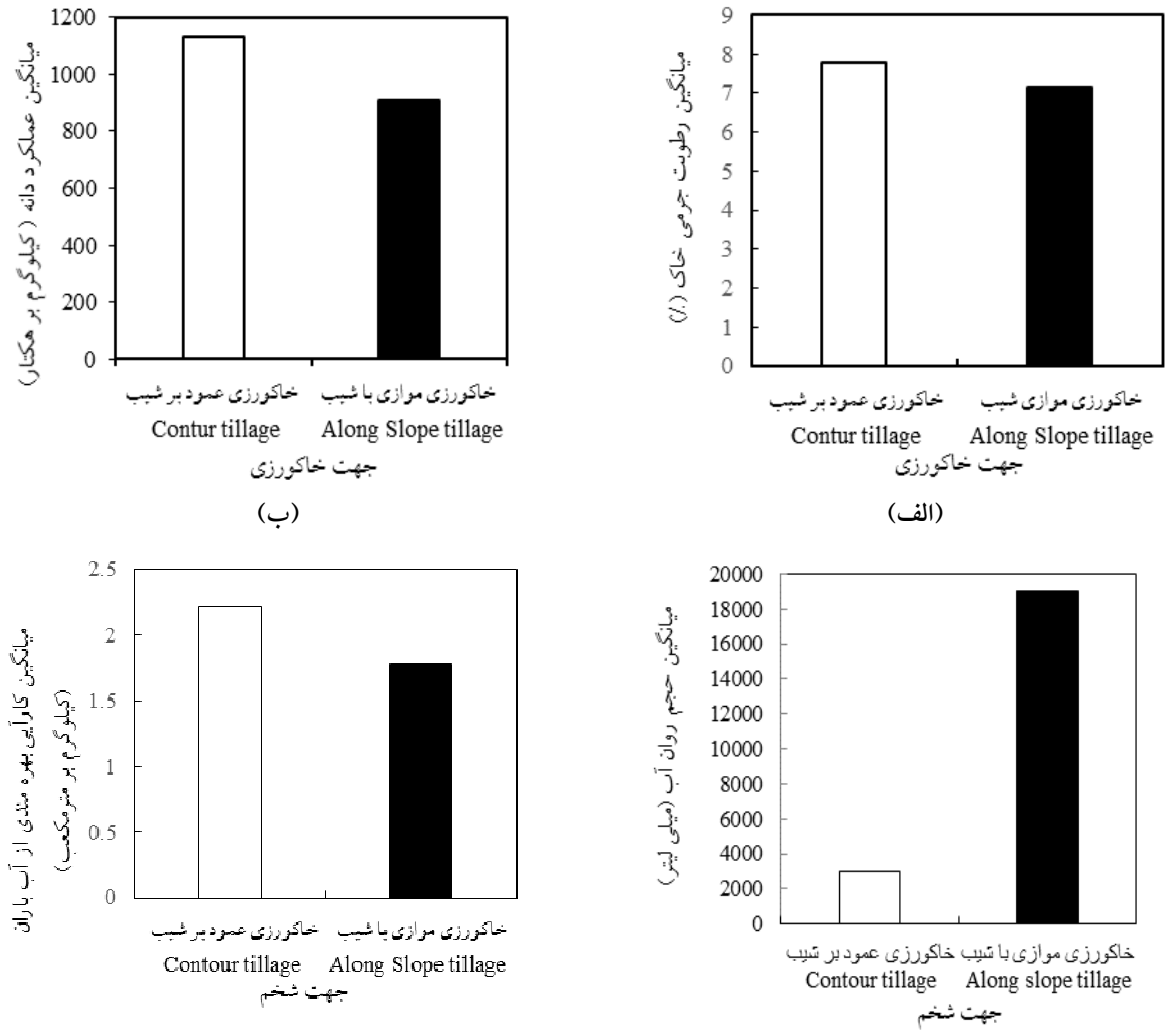
در شکل ۴ تغییرات رطوبت خاک، عملکرد گندم، کارآیی بهره‌مندی از آب باران و رواناب را تحت تأثیر جهت خاکورزی (خاکورزی موازی شیب و خاکورزی روی خطوط تراز) در درجات متفاوت شیب نشان داده شده است. مقایسه بین دو جهت خاکورزی نشان داد که بیشترین تفاوت در محتوای رطوبتی خاک در شیب ۱۲/۶ درصد (۹/۱۱ درصد جرمی) و کمترین تفاوت در شیب ۲۲ درصد (۶/۸ درصد جرمی) بود. برخلاف محتوای رطوبتی خاک، تغییرات عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران با افزایش شیب دامنه از الگوی مشخصی پیروی نکرد.

تغییرات رطوبت خاک، عملکرد گندم، کارآیی بهره‌مندی از آب باران و رواناب در جهت‌های مختلف خاکورزی در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌طور کلی در خاکورزی روی خطوط تراز، محتوای رطوبتی خاک به‌طور میانگین ۸/۷ درصد بیشتر ازخاکورزی موازی شیب بود. تغییرات رطوبت جرمی خاک در دو جهت خاکورزی در دامنه‌های مورد بررسی در طول فصل رشد در شکل ۶ نشان داده شده است. رطوبت خاک از شیب ۱۲/۶ درصد تا شیب ۱۷ درصد کاهش پیدا کرد و در شیب ۱۹/۴ درصد افزایش یافت. این افزایش رطوبت به‌دلیل درصد



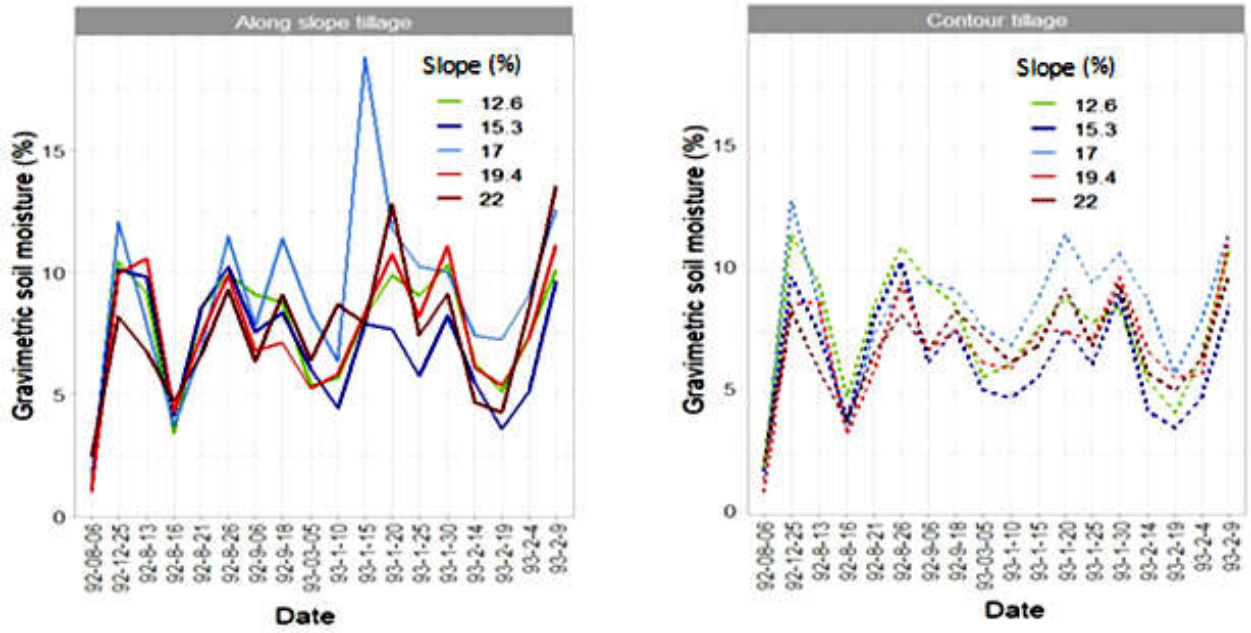
شکل ۴. تغییرات: الف) رطوبت خاک، ب) عملکرد گندم دیم، ج) کارآیی بهره‌مندی از آب باران و د) میانگین رواناب تحت تأثیر جهت خاکورزی در درجات متفاوت شیب

بالای سیلت و رس نسبت به سایر شیب‌ها بود. همچنین از شیب ۱۹/۴درصد تا شیب ۲۲ درصد رطوبت خاک کاهش پیدا کرد. تغییر جهت شخم (شخم روی خطوط تراز به شخم موازی شیب) تأثیر معنی‌داری بر تولید رواناب ($p< ۰/۰۱$) داشت (شکل ۵). همچنین نتایج این مطالعه بیان می‌کند که میانگین تولید رواناب در کرت‌های تحت شخم موازی شیب و روی خطوط تراز به‌ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۰۱ میلی‌متر بود. به‌طور کلی میانگین عملکرد دانه گندم در خاکورزی روی خطوط تراز (۱۱۳۲/۳ کیلوگرم در هکتار) حدود ۲۴/۸ درصد بیشتر از خاکورزی موازی شیب (۹۰۶/۹ کیلوگرم در هکتار) بود. به‌طور کلی میانگین تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز (۲۹۶۸ میلی‌لیتر) حدود ۶/۴ برابر کمتر از خاکورزی موازی شیب (۱۹۰۰۶ میلی‌لیتر) بود. این نتایج تأیید کننده نقش و اهمیت خاکورزی روی خطوط تراز در کاهش



شکل ۵. تغییرات: الف) رطوبت جرمی خاک، ب) عملکرد دانه گندم، ج) کارآیی بهره‌مندی از آب باران و د) میانگین حجم رواناب در دو جهت خاکورزی

تولید رواناب و افزایش محتوای رطوبتی خاک است که درنهایت منجر به کاهش فرسایش خاک می‌شود. نادیه و همکاران (۲۷) در مطالعه‌ای تحت باران شبیه‌سازی بیان کردند که ضریب رواناب به صورت قابل ملاحظه‌ای در شخم موازی شیب بیشتر از خاکورزی روی خطوط تراز بر شیب است و همچنین شخم در جهت شیب به‌صورت معنی‌داری باعث کاهش ظرفیت ذخیره آب سطحی خاک می‌شود (شکل ۵). بررسی مقادیر بارندگی طی دوره رشد گندم دیم نشان داد که بارندگی‌ها اغلب در ماه‌های آبان (۶۶ میلی‌متر)، آذر (۳۹ میلی متر)، اسفند (۵۳ میلی‌متر)، فروردین (۳۵ میلی‌متر) و اردیبهشت (۴۱ میلی‌متر) می‌بارد. ماه‌های آبان و آذر همزمان با مراحل سبز شدن و پنجه-زنی است. در این مراحل رشد رویشی گیاه اندک است. با شروع فصل بهار و آغاز مراحل ساقه روی، گل‌دهی و در ادامه پر شدن دانه‌ها بیشترین رشد گیاه اتفاق می‌افتد. ذخیره آب باران در این مراحل از رشد نقش حیاتی در دستیابی به عملکرد بیشتر گندم دارد، با وجود این تنها از ۳۲ درصد از بارندگی‌ها در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ داده‌اند و این موجب شد نقش خاکورزی روی خطوط تراز در افزایش محتوای رطوبتی خاک

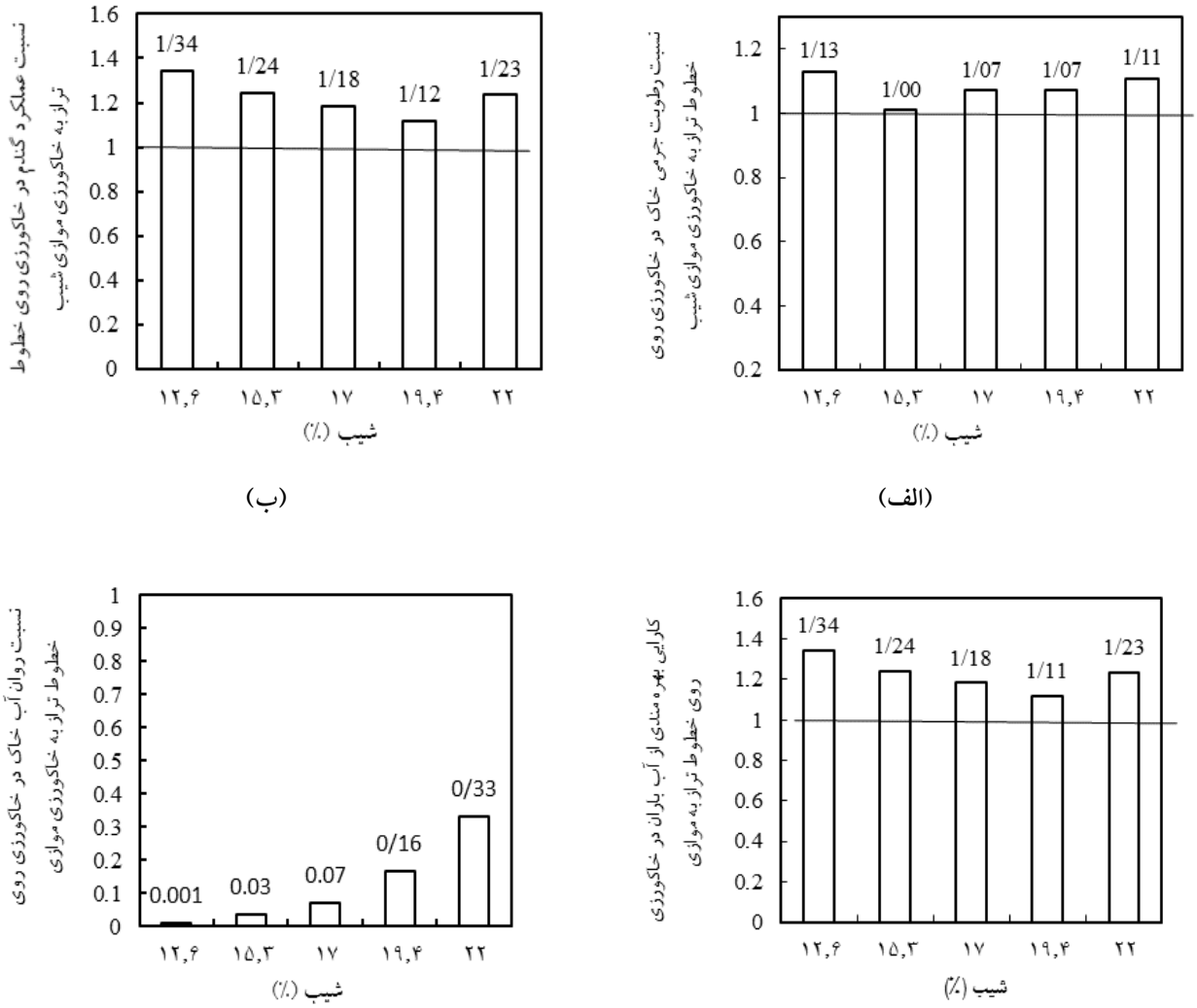


(الف) (ب)

شکل ۶. تغییرات رطوبت جرمی خاک در دو جهت خاکورزی: الف) موازی شیب و ب) روی خطوط تراز در دامنه‌های مورد بررسی

تفاوت بسیار آشکاری با خاکورزی موازی شیب نداشته باشد.

بیشترین عملکرد گندم دیم در خاکورزی روی خطوط تراز (۱۱۳۲ کیلوگرم در هکتار) به اندازه ۱۹ درصد بیشتر از خاکورزی موازی شیب بود، همچنین بیشترین کارآیی بهره‌مندی از آب باران نیز در خاکورزی روی خطوط تراز (۲/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) به اندازه ۱۹ درصد بیشتر از خاکورزی موازی شیب به‌دست آمد. به‌طور کلی میانگین عملکرد دانه گندم در خاکورزی روی خطوط تراز (۱۱۳۲/۳ کیلوگرم در هکتار) حدود ۲۴/۸ درصد بیشتر از خاکورزی موازی شیب (۹۰۶/۹ کیلوگرم در هکتار) بود. هانگ و همکاران (۱۶) به بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاکورزی بر رشد ریشه، عملکرد دانه و کارآیی استفاده از آب تحت کشت گندم دیم پرداختند و گزارش کردند در مقایسه با خاکورزی مرسوم، سایر عملیات‌های خاکورزی حفاظتی باعث بهبود ذخیره آب در خاک شد و همچنین سیستم‌های مختلف بدون خاکورزی در مقایسه با خاکورزی مرسوم باعث بهبود عملکرد دانه شد. آنها همچنین اشاره کردند که میانگین عملکرد گندم دیم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران در خاکورزی روی خطوط تراز نسبت به خاکورزی موازی با شیب ۱/۲۴ برابر بزرگ‌تر شد. آرسو و همکاران (۴) مطالعه‌ای روی گیاه ذرت در زمین شیب‌دار (۵ درصد) در اتیوپی نشان دادند خاکورزی همراه با رویکرد نگه‌داری آب در خاک باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد در سال اول و افزایش ۴۵ درصدی در سال دوم شد.



شکل ۷. تغییرات: الف) رطوبت جرمی خاک، ب) عملکرد گندم دیم، ج) کارآیی بهره‌مندی از آب گندم و د) رواناب در دامنه‌های مورد بررسی

تغییرات عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران و رواناب تحت تأثیر شیب دامنه

شکل ۷ تغییرات نسبت رواناب، رطوبت خاک، عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران در دو جهت خاکورزی را در دامنه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش شیب دامنه، نسبت تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز نسبت به خاکورزی موازی شیب بیشتر می‌شود. در واقع در شیب‌های تند، خاکورزی روی خطوط تراز به‌دلیل کارکرد ضعیف نوارهای کشت در حفظ بارندگی از کارآیی کمتری برخوردار است. با افزایش درجه شیب دامنه، نسبت محتوای رطوبتی خاک در کشتزارها کاهش یافت این نتیجه نشان می‌دهد که در شیب‌های تند، کارآیی روش خاکورزی روی خطوط تراز در ذخیره آب باران کاهش پیدا می‌کند. دلیل اصلی این موضوع کاهش ظرفیت ذخیره‌ای نوارهای کشت در شیب‌های تند است. بررسی روند نسبت تغییرات عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران نیز نشان از کارآیی

کمتر روش خاکورزی روی خطوط تراز در افزایش عملکرد دانه گندم و بهره‌مندی از آب باران است. در کشتزارهای با شیب تند به‌دلیل کاهش ظرفیت ذخیره آب باران و نسبت محتوای رطوبت خاک طی دوره رشد بین دو جهت خاکورزی کاهش یافته و درنتیجه نسبت عملکرد گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب باران کاهش یافت. اقبال و همکاران (۱۸) با بررسی تأثیر خصوصیات توپوگرافی بر عملکرد پنبه در شرایط دیم بیان کردند که عملکرد پنبه تحت تأثیر ویژگی‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک قرار گرفت و با افزایش شیب به‌علت کاهش آب در دسترس گیاه، عملکرد کاهش می‌یابد. آدیماسو و همکاران (۱) در مطالعه‌ای در اتیوپی عنوان کردند با افزایش شیب به‌علت افزایش رواناب و هدررفت خاک و عناصر غذایی، عملکرد محصولات کاهش می‌یابد. آماره و همکاران (۳) با بررسی ۲۵ ساله عملکرد گندم و ذرت در کشتزارهایی با شیب‌های مختلف نتیجه گرفتند که بیشترین عملکرد محصول در ناحیه‌های با کمترین شیب به‌دست می‌آید. جلیلیان (۱۹) نیز به‌منظور تعیین اثر شیب بر عملکرد و برخی صفات زراعی گندم چنین گزارش کرد که با افزایش درصد شیب عملکرد گندم تا حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. وی علت این موضوع را تغییرات میکروکلیما و ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک در شیب‌های مختلف بیان کرد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که محتوای رطوبت خاک، عملکرد دانه گندم، کارآیی بهره‌مندی از آب باران و تولید رواناب تحت تأثیر هر دو عامل درجه شیب و جهت خاکورزی قرار دارند. تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز ۶/۴ برابر کمتر از خاکورزی موازی شیب بود و این موجب شد مقدار رطوبت خاک در این جهت خاکورزی تا ۸/۷ درصد افزایش یابد. عملکرد دانه گندم و کارآیی بهره‌مندی از آب گندم نیز تحت تأثیر افزایش مقدار رطوبت خاک در جهت خاکورزی روی خطوط تراز قرار گرفتند. به‌طوری که در این جهت خاکورزی مقدار آنها نسبت به خاکورزی موازی شیب ۲۴/۸ درصد افزایش پیدا کرد. تغییرات آشکاری از نظر محتوای رطوبتی خاک طی دوره رشد به‌ویژه در خاکورزی موازی با شیب وجود داشت. شدت این تغییرات در شیب‌های تند بارزتر بود. با افزایش درجه شیب به‌دلیل کاهش ظرفیت ذخیره آب، تولید رواناب در خاکورزی روی خطوط تراز نسبت به خاکورزی موازی شیب افزایش یافت و موجب شد رطوبت خاک، عملکرد دانه و بهره‌مندی از آب باران کاهش یابد. این نتیجه نشان‌دهنده کاهش کارآیی روش خاکورزی روی خطوط تراز در حفظ آب و باران و افزایش عملکرد گندم در شیب‌های تند است. به‌طور کلی این پژوهش نشان داد که جهت خاکورزی به‌عنوان عامل مستقل از درجه شیب نقش مهمی در حفظ آب باران و افزایش عملکرد گندم در کشتزارهای دیم دارد. با وجود این، اثربخشی آن در شیب‌های بالا (بیشتر از ۱۵/۳ درصد) به‌دلیل کاهش ظرفیت نوارهای کشت در حفظ آب باران کاهش می‌یابد. از این‌رو جلوگیری از تغییر کاربری مرتع با شیب تند به کشتزارهای دیم و استفاده از روش‌های خاکورزی حفاظتی مانند مصرف بقایای گیاهی در کشتزارهای با شیب تند از راهکارهای مدیریتی در کشتزارهای دیم مناطق نیمه‌خشک می‌توانند درنظر گرفته شوند.

منابع مورد استفاده

1. Adimassu, Z., S. Langan, R. Johnston, W. Mekuria and T. Amede. 2017. Impacts of soil and water conservation practices on crop yield, run-off, soil loss and nutrient loss in Ethiopia: review and synthesis. *Journal of Environmental Management* 59: 87-101.
2. Ahmadi, A., V. Jafari, H. Paizwan Zand and M. A. Sadeq Zadeh. 2017. Changes in runoff and sediment production during growing season of rainfed chickpea (Case study: Ticme Dash, East Azarbaijan, Soil Conservation Research Station). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 48(2): 299-308. (In Farsi).

3. Amare, T., A. G. Terefe, Y. Selassie, B. Yitaferu, B. Wolfgramm and H. Hurni. 2013. Soil properties and crop yields along the terraces and toposequece of Anjeni Watershed, central highlands of Ethiopia. *Journal of Agriculture Science* 5: 134-144.
4. Araso, E., G. Tadele, A. Gemechu, M. Desalegn and D. Alemayhu. 2016. Effects of level Fanya Juu and Fanya Chin structures on grain yield of maize in moisture stress areas of daro labu District, West hararghe zone, Ethiopia. *Journal of Biology Agriculture Healthcare* 6: 94-98.
5. Bagheri, M. and A. R. Vaezi . 2018. Wheat grain yield and soil water content as affected by row spacing and plough directions in a dry-farming land. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(5): 211-226. (in Farsi).
6. Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A. C. Imeson and M. D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44(1): 47-67.
7. Boujila, A. and T. Gallai. 2008. Soil organic carbon fraction and aggregate stability in carbonated and non-carbonated soils in Tunisia. *Journal of Agronomy* 7: 127-137.
8. Brouwer, C. and M. Heibloem. 1986. Management: Irrigation Water Needs Irrigation Water Management, Training Manuals 3. FAO.
9. De Vita, P., E. Di Paolo, G. Fecondo, N. Di Fonzo and M. Pisante. 2007. Notillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* 92: 69-78.
10. Derpsch, R., A. J. Franzluebbers, S. W. Duiker, D. C. Reicosky, K. Koeller, T. Friedrich, W. G. Sturny, J. C. M. Sa and K. Weiss. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research. *Soil and Tillage Research* 137: 16-22.
11. Diacono, M., A. Castrignanò, A. Troccoli, D. De Benedetto, B. Basso and P. Rubino. 2012. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crops Research* 131: 49-62.
12. Emam, Y. 2011. Cereal Production. Shiraz University Press. Fourth Edition. (In Farsi).
13. FAO. 2018. FAO Statistical Year Book 2018, World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nation, Rome, Available online at: http://www. fao.org/
14. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-411. *In*: Klute, (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. America Society of Agronomy, Madison, WI.
15. Hodiani Mehr, A., M. Dahmardeh, I. Khammari and M. R. Asgharipoor. 2017. Effects of tillage systems on changes of soil nutrients, yield and land equivalent ratio in roselle - green gram intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15(2): 311-322. (in Farsi).
16. Huang, G. B., Q. Chai, F. X. Feng and A. Z. Yu. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *Journal of Integrative Agriculture* 11(8): 1286-1296.
17. Huang, Y. L., L. D. Chen, B. J. Fu, Z. L. Huang and J. Gong. 2005. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. *Journal of Agricultural Water Management* 72: 209-222.
18. Iqbal, M., A. Ali and M. Rizwanullah. 2005. Residual effect of tillage and farm manure on some soil physicalproperties and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agriculture and Biology* 7: 78-84.
19. Jalilian, J. 2015. The contribution of farm slopes and the use of different fertilizer sources in the formation of wheat yield. *Journal of Crop Improvement* 16(4): 819-828. (in Farsi).
20. Jin, H., L. Hongwena, G. A. Rabi, B. Rasaily, W. Qingjiea, C. Guohuaa, S. Yanboa, Q. Xiaodonga and L. Lnijic. 2011. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research* 113: 48-54.
21. Jones, J. B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL.
22. Kebede, K. and E. Bekelle. 2008. Tillage effect on soil moisture storage and wheat yield on the vertisols of north central highlands of Ethiopia. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* 1(2): 49-55.
23. Kemper, W. D and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution models. *Geoderma* 123: 363-371.
24. Khurshid, K., M. Iqbal, M. S. Arif and A. Nawaz. 2006. Effect of tillage and mulchonsoil physical properties andgrowth ofmaize. *International Journal of Agriculture and Biology* 5: 593-596.
25. Komeili, H. R., P. R. Moghaddam, M. Ghodsi, M. Nassiri Mahallati and M. R. Jalal Kamali. 2016. Effect of different tillage methods and the rate of crop residues on yield, yield components and economic efficiency of wheat. *Cereal Research* 6(3): 323-337. (in Farsi).
26. Lean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. PP: 199-224. *In*: A. L. Page (Eds.), Methods of Soil Analysis Chemical and Microbiological Properties. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison.
27. Ndiaye, B., M. Esteves, J. P. Vandervaere, J. M. Lapetite and M. Vauclin. 2005. Effect of rainfall and tillage direction on the evolution of surface crusts, soil hydraulic properties and runoff generation for a sandy loam soil. *Journal of Hydrology* 307(1): 294-311.

28. Nevo, E. 2002. Evolution of Wild Emmer and Wheat Improvement: Population Genetics, Genetic Resources, and Genome Organization of Wheat's Progenitor, *Triticum dicoccoides*. Springer.
29. Page, M. C., D. L. Sparks, M. R. Noll and G. J. Hendricks. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal plain soils. *Soil Science Society America Journal* 51: 1460-1465.
30. Parihar, C. M., S. L. Jat, A. K. Singh, Y. Sing, S. Pradhan, V. Pooniya, A. Dhauja, V. Chaudhary, M. L. Jat, R. K. Jat and O. P. Yadav. 2016. Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research* 193: 104-116.
31. Sadras, V. O. 2003. Influence of size of rainfall events on water-driven processes. I. Water budget of wheat crops in south-eastern Australia. *Crop and Pasture Science* 54(4): 341-351.
32. Shams Abadi, H. A. and S. Rafiee. 2007. Study on the effect of tillage practices and different seed densities on yield of rainfed wheat. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource* 13: 95-102.
33. Shrefee, Z., S. V. Eslami, M. Jami AL-Ahmadi and S. Mahmoodi. 2018. Effect of different tillage methods and cover crop types on yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research* 16(1): 217-228. (in Farsi).
34. Tan, Z. and R. Lal. 2005. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Journal of Agriculture Ecosystems and Environment* 111(1): 140-152.
35. Vaezi, A. R. and M. Piri. 2017. Water retention and wheat grain yield as affected by plough direction in a semi-arid rainfed land in west of Zanjan. *Journal of Water and Soil Conservation* 23(6): 285-299. (in Farsi).
36. Vaezi, A. R., H. A. Bahrami, H. R. Sadeghi and M. H. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* 97 (3-4): 414-423.
37. Van den Putte, A., G. Govers, A. Leys, C. Langhans, W. Clymans and J. Diels. 2013. Estimating the parameters of the Green–Ampt infiltration equation from rainfall simulation data: Why simpler is better. *Journal of Hydrology* 476: 332-344.
38. Wahbi, A. and T. R. Sinclair. 2005. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field Crops Research* 91(2): 287-296.
39. Walkley, A and I. A. Black. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
40. Western, A. W., R. B. Grayson, G. Bloschl, G. R. Willgoose and T. A. Mcmahon. 1999. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Journal of Water Resource Research* 35(3): 797-810.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 3, Fall 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Rain Water Use Efficiency of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) as Affected by Tillage Direction in Slope

A. Vaezi*, E. Zarrinabadi and Y. Salehi[1]

(Received: December 1-2019; Accepted: February 27-2021)

Abstract

The effective use of rainwater is a key issue in agricultural development in arid and semi-arid regions. The tillage system as an important soil management measure can affect the rainwater retention, soil moisture content, and in consequence crop yield in rainfed lands. This study was conducted to evaluate the effects of slope gradient and tillage direction on rainwater use efficiency (RWUE) in rainfed lands in Zanjan Province. The field experiment was performed in five slope gradients (12.6, 15.3, 17, 19.4, and 22%) and two tillage directions (along slope and on contour tillage) at two replications. Mass soil water content was determined at 5-day intervals and runoff was measured after rainfalls. Wheat grain yield was determined for each plot and RWUE was computed using the proportion of wheat grain yield and precipitation. Base on the results, runoff, soil moisture, wheat grain yield, and RWUE were affected by tillage directions, so that runoff in contour line tillage decreased about 6.4 times compared to along slope tillage and in consequence increased soil moisture, wheat grain yield, and RWUE about 8.7, 24.8, and 24.8%, respectively. Increasing runoff production in contour line tillage at steeper slopes was associated with a lower capacity of cultivated furrows that strongly declined soil water retention and negatively affected wheat grain yield and RWUE in the lands. This study revealed that the efficiency of the contour tillage in water retention and RWUE decreases in steeper slopes in rainfed lands.

Keywords: Precipitation, Conservation tillage, Runoff, Wheat yield, Soil moisture content

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran.
Corresponding author, Email: vaezi.alireza@gmail.com