مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵ شماره ۲، زمستان ۱۳۹۱

# اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت در سطوح شیب‌دار بر میزان فرسایش خاک و عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه

جلال زکیئی[1*]، محمدامین آسودار[2] و مرتضی الماسی[3]

**۱*- نویسنده مسئول:** کارشناس ارشد مهندس مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۳- استاد دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱

## چکیده

**در اثر فرسایش، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از بین رفته، حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه از میزان تولید و کیفیت محصول کاسته می‌شود. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و کاشت در سطوح شیب‌دار بر میزان فرسایش خاک و عملکرد گندم دیم، طی سال‌های ۱۳۸٦ تا ۱۳۸۷ در استان کرمانشاه انجام گردید. این آزمایش، به صورت کرت‌های نواری خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، شامل شیب در دو سطح (٦ تا ۸ و ۱۰ تا ۱۲ درصد) و تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به همراه روش‌های کاشت مرسوم، کاشت با خطی‌کار موازی با شیب و عمود بر شیب با سه تکرار در کرت‌های به طول ۱٤ و عرض ٤ متر انجام گردید و نتایج نشان داد که میزان روان‌آب در شیب ٦ تا ۸ درصد، ۱٤۰۲۰/۱۹ لیتر در هکتار بود؛ که با افزایش شیب به ۱۰ تا ۱۲ درصد، به‌۱۵۲۵۱/۰۲ لیتر در هکتار افزایش یافت. مقدار رسوب ایجاد شده در شیب ٦ تا ۸ درصد، ۱۰۸۵٤ و در شیب ۱۰ تا ۱۲ درصد، ۱۲۱۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. تیمار گاوآهن قلمی و پنجه‌غازی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت به طوری که با میانگین عملکرد ۱۰۱۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار گاوآهن برگردان‌دار و پنجه‌غازی با عملکرد ۸٤۵ کیلوگرم در هکتار برتر بود. تیمار بی خاک ورزی با میانگین عملکرد ۹٦۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی داری با دیگر تیمار های خاک‌ورزی نداشت.**

***کلید واژه‌ها: شیب، رسوب، روان‌آب، سیستم‌های خاک‌ورزی، روش‌های کاشت، عملکرد و فرسایش***

## مقدمه

خاک از جمله منابعی است که عمده نیازمندی‌های انسان و دام از آن فراهم می‌گردد؛ ولی متأسفانه دائماً در معرض تجاوز و دگرگونی‌های ناشی از عوامل انسانی و عناصر طبیعی قرار دارد (آرنیز و همکاران[1]، ۲۰۰۷). خاک‌ورزی از طریق فرسایش و همچنین تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، بر کیفیت آن اثر می‌گذارد (ژانگ و همکارن[2]، ۲۰۰۷). میزان فرآیند

1- Arnaez *et al.*
2- Zhang *et al.*

فرسایش وابسته به نوع ادوات به کار برده شده در عملیات خاک‌ورزی است (آرنیز و همکاران، ۲۰۰۷). انتخاب ادوات مناسب خاک‌ورزی در اراضی شیب‌دار و انجام عملیات خاک‌ورزی عمود بر شیب باعث افزایش ذخیره رطوبت در خاک می‌شود (گاردنر و جرارد[1]، ۲۰۰۳). بهره‌گیری از مدل‌های نامناسب خاک‌ورزی باعث افزایش تراکم خاک و کاهش نفوذپذیری آن نسبت به آب در هنگام بارندگی شده و باعث ایجاد روان‌آب می‌شود (ژانگ و همکاران[2]، ۲۰۰۴). عملیات خاک‌ورزی موجب نفوذپذیرشدن خاک‌های متراکم می‌شود که در نتیجه می‌توان از این طریق میزان روان‌آب سطحی را کاهش داد (کوتلر و اورتگا- لاروسا[3] ، ۲۰۰۶). شدت بارندگی نیز عامل مهم در چگونگی ایجاد روان‌آب و تولید رسوب در اراضی شیب‌دار می‌باشد (اسکندری و همکاران، ۱۳۸۱). انجام عملیات خاک‌ورزی نامناسب منجر به فرسایش، کاهش حاصل‌خیزی خاک و در نهایت کاهش محصول می‌گردد (رفاهی، ۱۳۸۲). میزان سالانه فرسایش خاک در جهان، ۷۵ میلیارد تُن می‌باشد؛ که سهم ایران از آن، بیش از ۲ میلیارد تُن و حدود سه برابر فرسایش خاک در آسیا، گزارش شده است (بی‌نام، ۱۳۸۶). در مجموع سیستم‌های خاک‌ورزی بر بخش مهمی از خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل: جرم مخصوص ظاهری خاک، دما، ذخیره و پراکنش رطوبت، تراکم خاک، نیز میزان ماده خشک تولیدی و عملکرد محصول اثر می‌گذارند (آسودار و همکاران، ۱۳۸۵ و آسودار و مهاجر[4]، ۲۰۱۰). ماشین‌های کاشت نیز با توجه به ترکیب قطعات و طراحی بر میزان روان‌آب، رسوب، هدر رفت عناصر غذایی و در نهایت، عملکرد محصول مؤثرند. ارزش اقتصادی خسارات سالانه فرسایش خاک در ایران در حدود ۱۰ هزار میلیارد ریال و معادل تخریب یک میلیون هکتار زمین کشاورزی است (بی‌نام، ۱۳۸۶)؛ بنابراین در مناطق کوهستانی کشور که مستعد فرسایش خاکی هستند، هر گونه تحقیق و پژوهشی که بتواند راهی برای کاهش میزان فرسایش خاک ارائه نماید لازم و ضروری است و در واقع گامی در جهت حفظ عوامل تولید است که در نهایت به افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌انجامد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر شیب، خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر میزان فرسایش خاک، عناصر غذایی، مواد آلی و عملکرد گندم دیم در شرایط آب و هوای شهرستان هرسین، استان کرمانشاه تحقیقی در سال ۸۷-۱۳۸۶ انجام شد. شهرستان هرسین در مختصات طول‌های جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه، ۴۴ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه، ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی قرار دارد. چون امکان دخالت عامل شیب (فاکتور اصلی) در طرح آزمایشی وجود نداشت، لذا از دو آزمایش مستقل در دو شیب ۶ تا ۸ و ۱۰ تا ۱۲ درصد (فاکتور اصلی) استفاده شد. هر یک از آزمایش‌ها به صورت کرت‌های نواری خردشده [خاک‌ورزی در کرت‌های بزرگتر (فرعی) و روش کاشت در کرت‌های کوچکتر (فرعی فرعی)] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شدند. کرت‌ها به طول ۱۴ و عرض ۴ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۴ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای خاک‌ورزی به صورت عمود و موازی شیب اعمال شدند. تیمارهای خاک‌ورزی و کاشت اجرا شده در این تحقیق به دلیل کاربرد بیش‌تر کشاورزان منطقه از این قبیل سیستم‌ها

1- Gardner and Gerard
2- Zhang *et al.*
3- Cotler and Ortega
4- Asoodar and Mohajer

جهت مقایسه و مشخص شدن اثرات مخرب آنها در آبشویی، فرسایش خاک و مواد آلی انتخاب شدند. خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن برگردان‌دار در عمق ۲۵ و سپس پنجه‌غازی در عمق ۱۵ سانتی متر)، کم خاک‌ورزی (گاوآهن قلمی در عمق ۲۵ و بعد از آن، پنجه‌غازی در عمق ۱۵ سانتی‌متر) و بی‌خاک‌ورزی اعمال و در پی آن، تیمارهای کاشت (کاشت مرسوم یا دست پاشی، کاشت با خطی‌کار موازی با شیب، کاشت با خطی‌کار عمود بر شیب) نیز انجام گردید (شکل ۱). با توجه به این‌که رقم غالب کاشته شده در اراضی دیم استان کرمانشاه، گندم رقم سرداری می‌باشد، در این تحقیق نیز از گندم رقم سرداری استفاده شد. عملیات داشت شامل: کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و مبارزه با سن بود. برای مبارزه با علف‌های هرز از سموم توفوردی و شوالیه در مرحله‌ی پنجه‌زنی و اوایل بهار استفاده شد.

خاک محل اجرای آزمایش دارای pH ۷-۶/۵ و بافت آن شنی‌لومی‌رسی (رس ۲۵٪، سیلت ۳۵٪ و شن ۴۰٪) بود. داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل (میانگین مربعات و مقایسه میانگین‌ها) شد. برای رسم نمودارها (جهت بررسی مقایسه‌ای) از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

## پارامترهایی که در این تحقیق اندازه گیری گردید:

### جرم مخصوص ظاهری خاک

جرم مخصوص ظاهری خاک در ۳ عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک و در سه نوبت: قبل از اجرای آزمایش، در طول دوره رشد و پس از برداشت محصول، با استفاده از رینگ‌های نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. از رابطه ۱، جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید.

$$Pb = \frac{M_{od}}{V_t} \qquad (۱)$$

Pb= جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)

$M_{od}$= وزن خاک خشک شده در آون (g)

$V_t$= حجم نمونه خاک ($cm^3$) برابر با ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب (چون قطر و ارتفاع استوانه ثابت است).

**شکل ۱- کرت آزمایشی بعد از کاشت با خطی‌کار موازی با شیب**

## روان‌آب و رسوب

برای اندازه‌گیری روان‌آب و رسوب ناشی از بارندگی در هر کرت، از پشته‌های خاکی فشرده شده در اطراف کرت‌ها استفاده گردید. جهت جلوگیری از ورود روان آب بالا دست یک جویی قبل از پشته بالایی ایجاد شده بود. ابتدا پشته‌ی پایین هر کرت با پلاستیک پوشانده شد؛ و در انتها، روان‌آب حاصل از بارندگی درون کرت از طریق لوله‌های پلی‌اتیلن به درون ظرف جمع‌آوری هدایت گردید. پس از هر بارندگی (از مهر سال ۱۳۸۶ تا تیر ماه ۱۳۸۷ کلاً هفت بار بارندگی صورت گرفت، تعداد ۳۷۸ نمونه روان‌آب و ۵۴ نمونه رسوب گرفته شد)، ظروف به مدت ۴ ساعت بی‌حرکت نگهداری شدند تا مواد معلق، در ته آنها رسوب کنند. سپس آب صاف و تمامی خاک فرسایش یافته (رسوب)، (درون ظرف و روی پلاستیک پایین کرت) به طور جداگانه توزین گردید (لوب و همکاران[1]، ۱۹۹۹و ۲۰۰۷).

## عملکرد و اجزای عملکرد گندم

به منظور اندازه‌گیری میزان عملکرد در هر کرت از یک قاب یک مترمربعی (یک در یک متر) استفاده گردید. قاب مزبور به طور تصادفی در هر کرت سه بار انداخته شد. بعد از هر بار جای گذاری قاب، نمونه‌ها برش داده و وزن گردید. سپس دانه‌های موجود در هر سنبله توزین و در نهایت کاه و کلش باقیمانده از هر نمونه نیز به طور جداگانه وزن گردید.

# نتایج و بحث

## جرم مخصوص ظاهری خاک

شیب زمین در لایه سطحی خاک (عمق کشت بذر) بر جرم مخصوص ظاهری، مؤثر، ولی در اعماق ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر بر آن بی‌تأثیر بود (جدول ۱). لایه بالایی خاک در شیب‌های بیشتر، به دلیل حرکات اضافی و تردد زیاد ماشین‌آلات و انتقال وزن آنها (که به طرف پایین‌تر متمایل است) فشرده می‌شود؛ ولی لایه‌های خاک در زیر لایه‌ی مزبور از آسیب بیشتر در امان می‌مانند (لوب و همکاران ۲۰۰۷). تخریب خاک‌دانه‌ها در اثر عملیات خاک‌ورزی مکرر نیز مزید بر علت است (کلر و همکاران[2]، ۲۰۰۷؛ لوب و همکاران، ۱۹۹۹ و چوی[3]، ۲۰۰۲). بر مبنای آزمایش حاضر، خاک‌ورزی در هر سه عمق بر جرم مخصوص ظاهری خاک اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱).

## روان‌آب

شیب زمین به طور معنی‌داری بر میزان روان‌آب مؤثر بود. با افزایش درصد شیب زمین روان‌آب ناشی از بارندگی، افزایش یافت (جدول ۱).

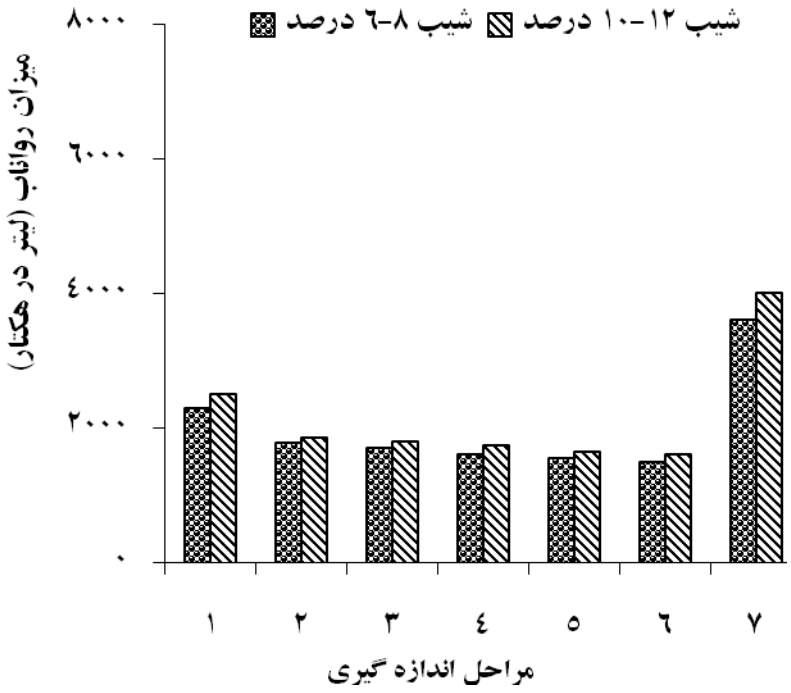
مقدار میزان کل روان‌آب در شیب ۸-۶ درصد ۱۴۰۲۰/۱۹ لیتر در هکتار و در شیب ۱۲-۱۰ درصد، ۱۵۲۵۱/۲ لیتر در هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۲). این اندازه گیری در ۷ مرحله بارندگی انجام شد که در مرحله هفتم با توجه به میزان بالای بارندگی در مزرعه (۱۱۴/۶ میلی‌لیتر) سبب افزایش مقدار روان آب به‌خصوص در شیب ۱۲-۱۰ درصد گردید. سیستم‌های خاک‌ورزی اعمال شده به طور معنی‌داری بر میزان روان‌آب مؤثر بودند (جدول۱)؛ به طوری که کم‌خاک‌ورزی (با ایجاد ۵۰۷۴/۱ لیتر روان‌آب در هکتار) نسبت به بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم (به ترتیب با میانگین ۳۳۵۷/۱ و ۴۶۷۹/۱ لیتر در هکتار) روان‌آب بیشتری را در پی‌داشت (شکل ۳).

لازم به ذکر است که در اوایل کاربرد خاک‌ورزی مرسوم (که هنوز لایه متراکم زیرین تشکیل نشده است) و بیشتر سست شدن خاک نسبت به روش بی‌خاک‌ورزی (که دست نخورده باقی می‌ماند) و کم‌خاک‌ورزی (که گاوآهن

1- Lobb *et al.*

2- Keller *et al.*

3- Choi




**شکل ۲- اثر شیب ۸-٦ و ۱۲-۱۰ درصد بر میزان روان‌آب در مراحل مختلف بارندگی**

قلمی، خاک را به میزان بسیار کمی سست می‌نماید) امکان نفوذ باران به داخل خاک افزایش یافته و از تشکیل روان‌آب جلوگیری می‌گردد؛ ولی به مرور زمان و طی سال‌های بعد، با تشکیل لایه متراکم زیرین روان‌آب آن از سایر سیستم‌های خاک‌ورزی افزون‌تر می‌گردد.

محققان در مطالعاتی که بر روی سیستم‌های خاک‌ورزی و اثر آنها بر میزان روان‌آب انجام داده اند؛ به این نتیجه رسیدند که در سال‌های آغازین اجرای سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، روان‌آب به دلیل فشردگی خاک در لایه‌های سطحی، بیشتر از سایر سیستم‌های خاک‌ورزی می‌باشد (موهانتی و همکاران[1]، ۲۰۰۷ و واعظی، ۱۳۸۴). روش‌های کاشت اعمال شده به طور معنی‌داری بر میزان روان‌آب اثر داشتند (جدول۱) در شیب ۱۲-۱۰ درصد و کاشت مرسوم (دست‌پاش)، روان‌آب را نسبت به سایر روش‌های کاشت با خطی‌کار (عمود بر شیب و کاشت موازی با شیب) به میزان ۲۴ درصد افزایش داد (شکل ۴) در روش کاشت با خطی‌کار به دلیل ایجاد جوی و پشته‌های کوچک که خطی‌کار ایجاد می‌کند باعث حفظ رطوبت و کاهش جریان روان‌آب گردید؛ اما در کاشت مرسوم این امر اتفاق نیفتاد.

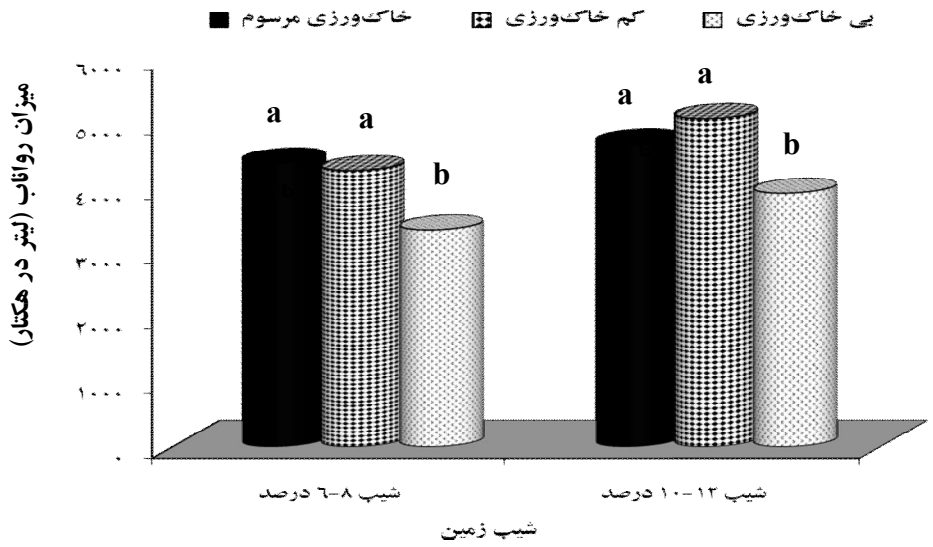
خاک‌ورزی و کاشت دارای اثر معنی‌داری بر میزان رسوب بودند (جدول ۱) اما به دلیل نزدیکی شیب‌های انتخاب شده اختلاف معنی‌داری بین شیب‌ها (خاک ورزی و کاشت) وجود نداشت

### رسوب ناشی از بارندگی

محققان، دلیل عمده ایجاد رسوب را عدم وجود بقایای گیاهی و انجام کشت در شیب‌های بیش از ۱۲ درصد دانسته‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷ و لوب و همکاران، ۲۰۰۷). در این آزمایش، کم‌خاک‌ورزی در شیب ۸-۶ درصد بیش‌ترین میزان رسوب را داشت (۳۹۰۲/۸۶ کیلوگرم در هکتار)؛ ولی در شیب ۱۲-۱۰ درصد، خاک‌ورزی مرسوم به دلیل عدم وجود بقایای

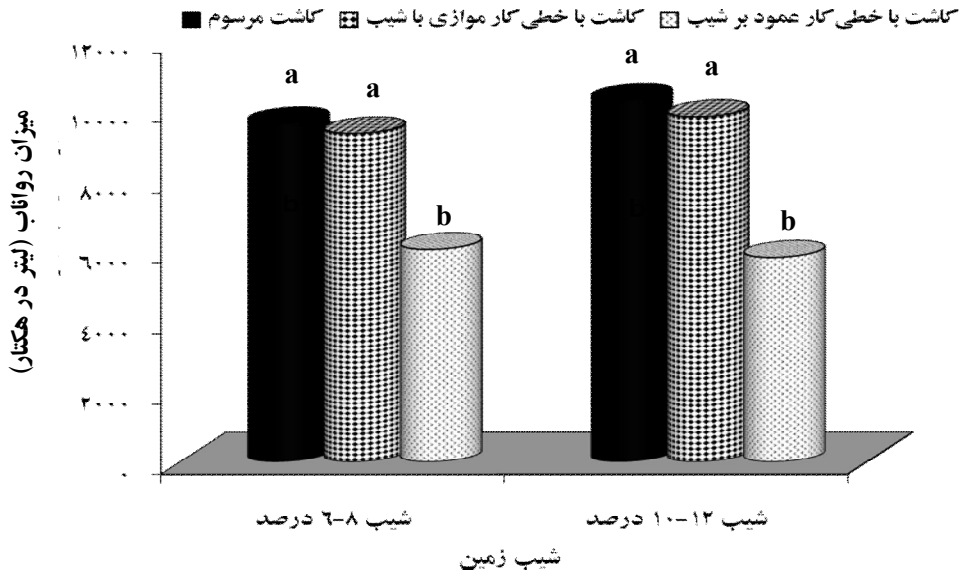
1- Mohanty *et al.*

گیاهی در سطح خاک و تخریب ساختار خاک که در شیب‌های با درصد بالا اثرات خود را بیشتر نشان می‌دهد، بالاترین مقدار رسوب را به خود اختصاص داد (۴۳۸۷/۱۴ کیلوگرم در هکتار). به طور کلی مقدار رسوب ایجاد شده در شیب ۸-۶ درصد، ۱۰۸۵۴ و در شیب ۱۲-۱۰ درصد، ۱۲۱۰۳ کیلوگرم در هکتار بود؛ که نمایان‌گر فرسایش کمتر خاک (حدود ۵ درصد) در شیب ۸-۶ درصد است.




**شکل ۳- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر میزان روان‌آب در شیب‌های ۸-۶ و ۱۲-۱۰ درصد**

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند به لحاظ آماری بر سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.




**شکل ٤- اثر روش‌های کاشت بر میزان روان‌آب در شیب‌های ۸-۶ و ۱۲-۱۰ درصد**

میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند به لحاظ آماری بر سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

**جدول۱- تجزیه واریانس جرم مخصوص ظاهری، روان‌آب و رسوب خاک**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | | | روان‌آب (لیتر در هکتار) | رسوب (کیلوگرم در هکتار) |
| | | ۰-۱۰ سانتی‌متر | ۱۰-۲۰ سانتی‌متر | ۲۰-۳۰ سانتی‌متر | | |
| شیب | ۱ | ./۰۰۱۸۹۶$^{*}$ | ./۰۰۰۳۱۲$^{ns}$ | ./۰۰۰۰۰۱۹$^{ns}$ | ۱۱۵۱۰۰۵۶۰$^{**}$ | ۲۶۹۶/۴۰$^{ns}$ |
| خطای مرکب | ۴ | ./۰۰۰۲۸۱ | ./۰۰۰۹۴۰ | ./۰۰۰۰۹۶۳ | ۱۲۰۵۹۹۳۷ | ۸۹۵/۹۶ |
| خاک‌ورزی | ۲ | ./۰۰۹۴۸۹$^{**}$ | ./۰۱۱۱۷۹$^{**}$ | ./۰۳۲۹۵۷۴$^{**}$ | ۲۴۵۴۹۶۵۳۷$^{**}$ | ۳۲۷۵۳/۳۰$^{**}$ |
| شیب×خاک‌ورزی | ۲ | ./۰۰۰۱۱۹$^{ns}$ | ./۰۰۰۳۱۳$^{ns}$ | ./۰۰۰۰۰۱۹$^{ns}$ | ۴۹۳۶۴۰۱۳$^{ns}$ | ۱۷۵۲/۱۴$^{ns}$ |
| خطای خاک‌ورزی | ۸ | ./۰۰۰۴۲۳ | ./۰۰۰۸۷۴ | ./۰۰۱۹۴۳۵ | ۳۲۸۱۶۴۲۷ | ۷۹۹/۶۲ |
| کاشت | ۲ | /۰۰۹۲۷۹$^{**}$ | ./۰۰۱۳۷۲$^{ns}$ | ./۰۰۲۹۴۶۳$^{*}$ | ۱۳۴۲۶۴۶۳۷۰$^{**}$ | ۳۲۸۱۸/۴۱$^{**}$ |
| شیب×کاشت | ۲ | ./۰۰۰۰۳۵$^{ns}$ | ./۰۰۰۱۱۳$^{ns}$ | ./۰۰۰۱۱۲۹۶$^{ns}$ | ۲۲۵۶۰۰۳۶$^{ns}$ | ۳۸۰/۸۶$^{ns}$ |
| خطای کاشت | ۸ | ./۰۰۰۹۳۷ | ./۰۰۰۷۳۲ | ./۰۰۰۴۹۳۵۲ | ۲۳۶۷۳۳۶۴ | ۲۶۲۵/۲۷ |
| خاک‌ورزی×کاشت | ۴ | ./۰۰۱۶۱۱$^{ns}$ | ./۰۰۱۰۹۶$^{ns}$ | ./۰۰۱۱۷۴۱$^{ns}$ | ۳۵۲۲۴۱۱۷$^{ns}$ | ۸۶۶۰/۱۸$^{**}$ |
| شیب×خاک‌ورزی×کاشت | ۴ | ./۰۰۰۰۷۴$^{ns}$ | ./۰۰۰۱۱۳$^{ns}$ | ./۰۰۰۱۱۳۰$^{ns}$ | ۵۵۶۹۷۵۲۸$^{ns}$ | ۱۶۸/۶۳$^{ns}$ |
| خطای باقیمانده | ۱۶ | ./۰۰۰۹۶۷ | ./۰۰۱۱۷۸ | ./۰۰۱۱۸۲ | ۲۸۲۲۳۳۳۵ | ۱۲۳۰/۳۶ |
| ضریب پراکندگی (٪) | | ۳/۱۲۷ | ۳/۲۳ | ۳/۰۳ | ۱۷/۹۸ | ۱۱/۴۳ |

*، ** و ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵، ۱ درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌دار

## عملکرد دانه و کاه

شیب و اثر متقابل شیب و کاشت بر کل ماده خشک معنی‌دار بود (جدول ۲). خاک‌ورزی نیز اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. این نتیجه نشان می‌دهد که شیب به تنهایی هیچ یک از این دو صفت مهم را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. در شیب ۸-۶ درصد، روش کاشت مرسوم هم به صورت عمود بر شیب و هم به حالت موازی با شیب، نتیجه‌ای بهتر از کاشت با خطی‌کار داشت؛ در حالی که در شیب ۱۲-۱۰ درصد، نتیجه کاملاً معکوس بود؛ جهت کاشت نیز در هر دو روش هیچ تأثیر معنی‌داری بر نتیجه نداشت (شکل ۵)، در شیب با درصد کم روش کاشت مرسوم در سال‌های اول در مقایسه با روش‌های با خطی‌کار اثرات مخرب خود را کم‌تر نشان می‌دهد؛ اما با گذشت چند سال تأثیر کاشت با خطی‌کار بر عملکرد محصول نسبت به سایر روش‌های کاشت به دلیل حفظ رطوبت، مواد آلی خاک و افزایش نفوذ پذیری بیشتر نمایان می‌گردد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷ و لوب و همکاران، ۲۰۰۷). در شیب ۸-۶ درصد سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بیشترین عملکرد دانه متعلق به کم‌خاک‌ورزی و کاشت عمود بر شیب (با ۱۰۴۰ کیلوگرم در هکتار) بود و کم‌ترین آن به خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و پنجه‌غازی در شیب ۸-۶ درصد (۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت (شکل ۵)؛ ولی ماحصل بی‌خاک‌ورزی با عملکردی حدود ۹۶۶ کیلوگرم در هکتار تفاوت چندانی با تیمار گاوآهن قلمی و پنجه‌غازی نداشت (جدول ۲). در شیب ۱۲-۱۰ درصد باز هم بیشترین عملکرد دانه متعلق به کم‌خاک‌ورزی و کاشت عمود بر شیب (با ۹۸۰ کیلوگرم در هکتار) بود و کم‌ترین آن به خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار و پنجه‌غازی (۸۱۰ کیلوگرم در هکتار)

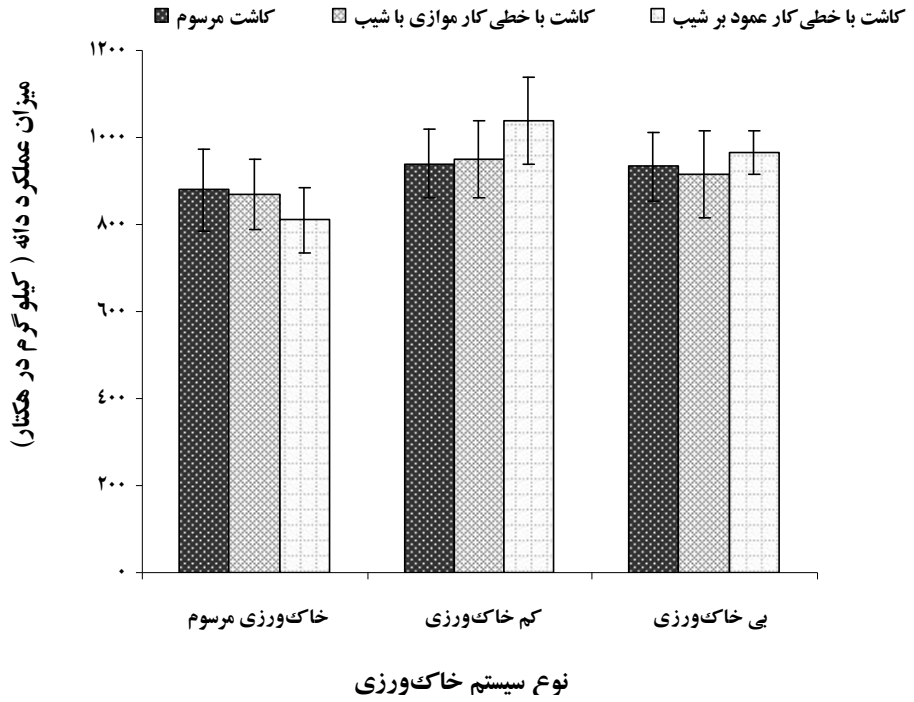
اختصاص داشت (شکل ۶)؛ بی‌خاک‌ورزی دارای عملکردی حدود ۹۵۶ کیلوگرم بود. بنابراین با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار تیمارهای مزبور و صرفه‌جویی در هزینه، وقت و همچنین عدم فرسایش معنی‌دار در سیستم بی‌خاک‌ورزی (جدول ۲) به نظر می‌رسد سیستم مزبور از اولویت انتخاب بالاتری برخوردار باشد. عدم معنی‌دار شدن سایر اثرات متقابل، پیشنهاد ترکیب کم‌خاک‌ورزی و کاشت با خطی کار عمود بر شیب را در شیب ۶ تا ۸ درصد و همچنین ترکیب بی‌خاک ورزی با خطی‌کار عمود بر شیب در شیب ۱۰ تا ۱۲ درصد ممکن است منطقی باشد (شکل‌های ۵ و ۶).

رسوب با جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متر به طور معنی‌داری هم‌بستگی نشان داد (به ترتیب $^{**}$۰/۵۵، $^{**}$۰/۴۹ و $^{**}$۰/۳۷) (جدول ۳). در اثر عملیات مکرر خاک‌ورزی، سطح خاک متراکم شده و به سرعت از آب اشباع می‌گردد؛ و در نهایت باعث ایجاد روان‌آب و فرسایش خاک می‌شود.

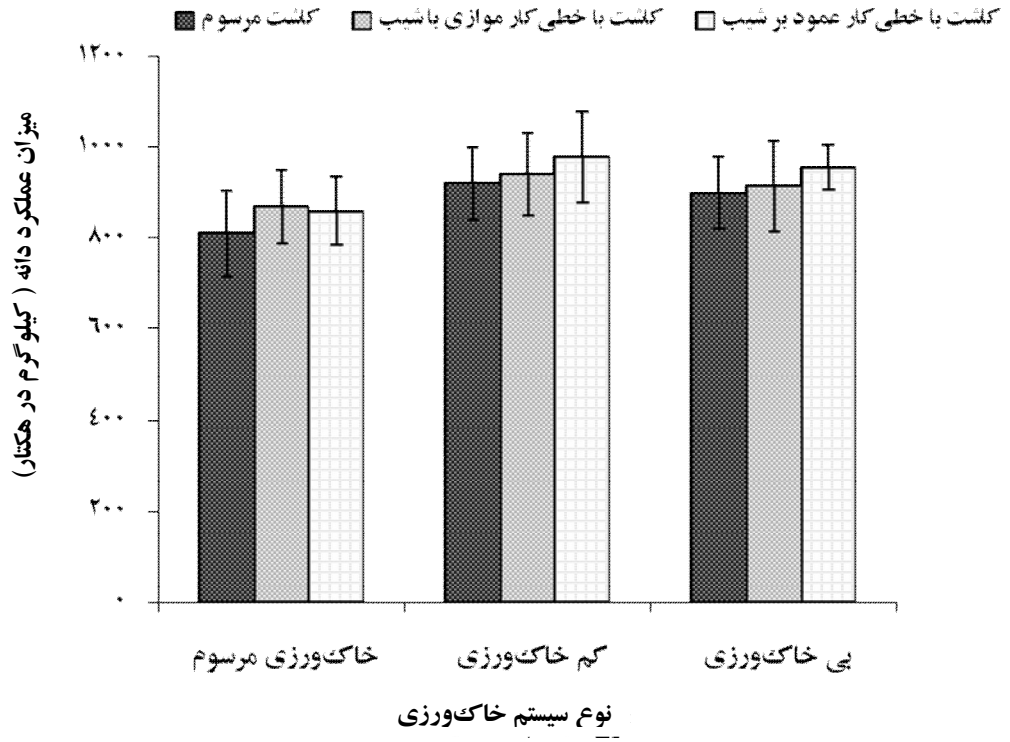
**جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم**

| منبع تغییرات | درجات آزادی | میانگین مربعات | | |
|---|---|---|---|---|
| | | عملکرد دانه | ماده خشک کاه و کلش | کل ماده خشک |
| شیب | ۱ | ۰/۷۸۲۴۰۷۴$^{ns}$ | ۰/۰۱۸۵۱۸۵$^{ns}$ | ۱۶/۱۲$^{*}$ |
| خطای مرکب | ۴ | ۱/۷۱۲۹۶ | ۰/۶۷۵۹۲۵۹ | ۱/۲۰ |
| خاک‌ورزی | ۲ | ۲/۶۷۱۲۹ $^{ns}$ | ۰/۲۹۱۶۶۶۷$^{ns}$ | ۳/۵۶ $^{ns}$ |
| شیب×خاک‌ورزی | ۲ | ۰/۲۲۶۸۵۱$^{ns}$ | ۰/۶۹۹۰۷۴۱$^{ns}$ | ۲/۳۵$^{ns}$ |
| خطای خاک‌ورزی | ۸ | ۰/۹۰۷۴۰۷ | ۰/۴۱۲۰۳۷۰ | ۴/۹۷ |
| کاشت | ۲ | ۰/۴۶۲۹۶۲$^{ns}$ | ۰/۳۸۸۸۸۹$^{ns}$ | ۰/۶۷$^{ns}$ |
| شیب×کاشت | ۲ | ۰/۵۱۸۵۱۹ $^{ns}$ | ۰/۹۰۷۴۰۴۷$^{ns}$ | ۱۰/۹۱$^{*}$ |
| خطای کاشت | ۸ | ۰/۹۴۹۰۷۴ | ۰/۷۳۱۴۸۱۵ | ۱/۴۷ |
| خاک‌ورزی×کاشت | ۴ | ۲/۱۱۵۷۴۱$^{ns}$ | ۰/۲۲۲۲۲۲۲۲$^{ns}$ | ۰/۵۳$^{ns}$ |
| شیب×خاک‌ورزی×کاشت | ۴ | ۰/۲۵۴۶۳۰$^{ns}$ | ۱/۰۰۴۶۲۹۶$^{*}$ | ۵/۱۶$^{*}$ |
| خطای باقیمانده | ۱۶ | ۰/۷۹۹۷۶۹ | ۰/۳۱۱۳۴۲ | ۱/۵۳ |
| ضریب پراکندگی (٪) | | ۳۴/۸۷ | ۱۴/۷۷ | ۱۴/۷۷ |

*، ** و ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار




**شکل ۵- اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر میزان عملکرد دانه در شیب ۸-۶ درصد**




**شکل ٦- اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و روش‌های کاشت بر میزان عملکرد دانه در شیب ۱۲-۱۰ درصد**

**جدول ۳- هم‌بستگی جرم‌مخصوص ظاهری، رواناب، رسوب و عملکرد محصول**

| | عملکرد دانه | رواناب | رسوب | جرم مخصوص ظاهری (عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) |
|---|---|---|---|---|
| رواناب | -۰/۱۷۴۴۱۲ | | | |
| رسوب | ۰/۱۹۶۴۹ | ۰/۰۹۳۰۴ | | |
| ماده خشک تولیدی | -۰/۰۳۲۶۵ | ۰/۲۴۰۹۸ | ۰/۱۰۱۸۹ | |
| جرم مخصوص ظاهری ۱۰-۰ سانتی‌متر | ۰/۲۳۲۹۴ | ۰/۰۹۲۷۵ | ۰/۵۵۲۳۳** | |
| جرم مخصوص ظاهری ۲۰-۱۰ سانتی‌متر | ۰/۱۴۴۶۸ | ۰/۰۲۶۸۷ | ۰/۴۹۳۴۶** | ۰/۷۵۷۰۴** |
| جرم مخصوص ظاهری ۳۰-۲۰ سانتی‌متر | ۰/۱۲۲۶۸ | ۰/۰۳۲۱۷ | ۰/۴۵۲۲۴** | ۰/۸۴۷۰۲** |

## نتیجه‌گیری

میزان روان‌آب و رسوب در شرایط دیم قابل توجه بود. مشخص گردید که احتمالاً مناسب‌ترین ترکیب سیستم خاک‌ورزی و کاشت برای کاهش میزان روان‌آب، به‌ویژه در اراضی شیب‌دار، استفاده از سیستم بی‌خاک‌ورزی و کاشت عمود بر شیب بود؛ به طوری که، این روش کاشت در شیب ۸-۶ درصد، حدود ۴۸ و در شیب ۱۲-۱۰ درصد، تقریباً ۴۲ درصد روان‌آب را کاهش داد. شیب و خاک‌ورزی هر کدام به تنهایی اثر خاص خود را بر رشد گندم نشان دادند. به طور مثال در شیب ۶ تا ۸ درصد حدود ۹ درصد عملکرد بیشتری تولید شد. با توجه به کاهش ۴۵ درصدی روان‌آب و نقصان ۳۵ درصدی فرسایش خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی و خاک‌ورزی مرسوم و هم‌چنین عدم تفاوت معنی‌دار در عملکرد نهایی گندم دیم و از طرفی این نتایج در کوتاه مدت به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) در دراز مدت با افزایش عملکرد و خاک‌ورزی پایدار سازگارتر باشد.

## سپاسگزاری

از دکتر سیروس جعفری، دکتر محمدرضا مرادی‌تلاوت، دکتر علی مشتطی و کلیه عزیزانی که در اجرای این پژوهش همکاری نموده‌اند، تشکر می‌گردد.

## منابع

۱- اسکندری، ز. الف.، اخباری، ت.، قدوسی، ج. و متین، م. ۱۳۸۱. بررسی رابطه بین شدت بارندگی‌های کوتاه مدت با رواناب و فرسایش. همایش مرکز تحقیقات، حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران،۳ تا ۴ دی ۱۳۸۱: ۲۳۴-۲۴۴.

۲- آسودار، م. الف.، بخشنده، ع.، افراسیابی، ح. و شافعی‌نیا، ع. ۱۳۸۵. اثر وزن چرخ فشار دهنده و میزان رطوبت در جوانه‌زنی و استقرار گیاه گندم. مجله پژوهش و سازندگی، انتشارات وزرات جهادکشاورزی، تهران، ۷۲: ۸۰-۸۶.

۳- بی‌نام، ۱۳۸۶. پایگاه داده‌های علوم زمین‌شناسی ایران. اطلاعات و آمار زمین‌شناسی استان کرمانشاه. ۲۰ ص.

۴- رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۵۵۱ ص.

۵ – واعظی، ع. ۱۳۸۴. اثر ماده آلی بر کاهش فرسایش‌پذیری خاک در خاک‌های کشاورزی. در نهمین کنگره علوم و خاک. کرج، ۴ تا ۶ شهریور ۱۳۸۴: ۴۹۱–۵۰۵.

6- Arnaez, J., Lasanta, T., Ruiz-flaño, P., and Ortigosa, L. 2007. Factors affecting runoff and under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, 93(69): 324-334.

7- Asoodar, M.A., and Mohajer F. 2010. Dryland wheat grain yield affected by tillage and press wheel. In: Proceedings of International Agricultural Engineering Conference, Beijing, China. 42-52.

8- Choi, C.C.E. 2002. Modeling of wind-driven rain and its oil detachment effect hill slopes. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Journal, 90(89): 1081–1097.

9- Cotler, H., and Ortega-Larrocea, M.P. 2006. Effects of land use soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. Catena, 65(45): 107-117.

10- Gardner, R.A., and Gerrard, A.J. 2003. Runoff and soil erosion on cultivated rain fed terraces in the Middle Hills of Nepal. Applied Geography, 23(171): 23-45.

11- Keller, T., Arvidsson, J., and Dexter, A.R. 2007. Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. Soil and Tillage Research Journal. 92: 45-52.

12- Lobb, A.D., Huffmanb E.D., and Reicosky. C. 2007. Importance of information on tillage practices in the modeling of environmental processes and in the use of environmental indicators. Journal of Environmental Management, 78(342): 100-123.

13- Lobb, A.D., Kachanoski, R.G., and Miller, M.H. 1999. Tillage translocation and tillage erosion in the complex upland landscapes of southwester Ontario, Canada. Soil and Tillage Research Journal, 51(142): 189-209.

14- Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, D.K., Ghosh, P.K., Misra, A.K., and Hati, K.M. 2007. Water transmission characteristics of a Vertisol and water use efficiency of rain fed soybean (Glycine max (L) Merr) Under subsoiling and manuring. Soil and Tillage Research Journal, 93(78): 420-428.

15- Zhang, G.S., Chan, K.Y., Oates, A., Heenan, D.P., and Huang, G.B. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. Soil and Tillage Research, 92(241): 122-128.

16- Zhang, J.H., Lobb, D.A., Li, Y., and Liu, G.C. 2004. Assessment of tillage translocation and tillage erosion by hoeing on the steep land in hilly areas of Sichuan, China. Soil and Tillage Research, 75(123): 99-107.