

## تولید روان آب و هدررفت خاک در مراتع با پوشش ضعیف تحت تأثیر تغییر کاربری زمین و جهت شخم

احسان زرین‌آبادی<sup>۱\*</sup>، علی‌رضا واعظی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک و حفاظت خاک، دانشگاه زنجان

۲. دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۷/۱۹)

### چکیده

اگرچه نقش تغییر کاربری زمین و جهت شخم در هدررفت خاک در اراضی مرتعی مورد مطالعه قرار گرفته است لیکن اطلاعات کافی در مورد نقش فعالیت‌های بشر در نواحی نیمه خشک به ویژه در ایران موجود نیست. بنابراین این مطالعه به منظور بررسی نقش تغییر کاربری و جهت شخم بر تولید رواناب و هدررفت خاک در مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف در شمال غرب ایران در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. به این منظور چهار مرتع ضعیف با شیب‌های ۱۲/۶، ۱۵/۳۷، ۱۷ و ۱۹/۴ درصد انتخاب و شش کرت به ابعاد ۱۰×۳ متر در هر یک در اوایل پاییز ۱۳۹۲ احداث شد. کرت‌ها شامل مرتع با پوشش طبیعی، کشت گندم دیم در جهت موازی با شیب و کشت گندم دیم در جهت عمود بر شیب بودند. در مجموع ۲۴ کرت در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت. میزان روان‌آب و رسوب ناشی از باران‌های طبیعی طی دوره هشت ماه رشد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بر اساس نتایج، تولید روان‌آب و هدررفت خاک هردو به طور معنی‌داری تحت تأثیر تغییر کاربری قرار گرفت ( $p < 0.01$ ). با تبدیل کاربری مرتع به کشت گندم دیم، تولید روان‌آب و هدررفت خاک به ترتیب ۱۳ و ۶۰ برابر افزایش یافت. در کشت موازی شیب نسبت به کشت عمود بر شیب میزان روان‌آب و هدررفت خاک به ترتیب ۵/۵ و ۳۵ برابر بیش‌تر بود. رابطه معنی‌داری بین درصد شیب و تولید روان‌آب ( $R^2 = 0.98, p < 0.05$ ) و هدررفت خاک ( $R^2 = 0.99, p < 0.01$ ) وجود داشت. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری مراتع با پوشش ضعیف به زراعت و کشت موازی شیب منجر به تشدید تولید روان‌آب و هدررفت خاک می‌گردد. اهمیت موضوع به‌ویژه در شیب‌های پایین بسیار شدیدتر بود.

**واژه‌های کلیدی:** باران طبیعی، شخم عمود بر شیب، شخم موازی شیب، کرت آزمایشی، گندم دیم

### مقدمه

درجات بالای شیب، سرعت جریان سطحی و قدرت فرسایش آن افزایش می‌یابد. این موضوع به دلیل کاهش نفوذپذیری و افزایش حجم روان‌آب در این شیب‌ها می‌باشد (Ekwue and Harrilal, 2010). وقوع فرسایش در شیب‌ها به نوبه خود تحت تأثیر پوشش گیاهی<sup>۲</sup> و کاربری زمین<sup>۳</sup> قرار می‌گیرد (Wainwright and Thornes, 2004). تغییر کاربری زمین<sup>۴</sup> و تغییر پوشش گیاهی<sup>۵</sup> از مهم‌ترین عوامل تشدید فرسایش خاک هستند که به دنبال پیشرفت‌های اقتصادی و رشد روزافزون جمعیت در سراسر دنیا انجام گرفته است. (Ojima and Chuluun, 2002). پوشش گیاهی عامل مهمی است که شدت و فراوانی جریان سطحی و فرسایش خاک را تحت کنترل قرار می‌دهد (Garcia-Ruiz, 2010). تخریب پوشش گیاهی منجر به افزایش فرسایش خاک به وسیله آب می‌شود. در اراضی

فرسایش خاک<sup>۱</sup> از مهمترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در سراسر جهان است (Sadeghi and Singh, 2005). فرسایش خاک به وسیله آب یک مسئله محیطی جهانی است که باعث کاهش توان تولید خاک و کاهش کیفیت آب می‌شود (Ye et al., 2003). در دهه‌های اخیر فرسایش آبی با تغییر اقلیم و تخریب شدید میزان منابع طبیعی به دلیل افزایش جمعیت انسان به یک مشکل جهانی تبدیل شده است. فعالیت‌های بشر مانند تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی، قطع درختان جنگلی، چرای مفرط و روش‌های نامناسب کشاورزی خاک‌ها را به شدت در معرض فرسایش آبی قرار داده است (Terranova et al., 2009).

شیب یکی از خصوصیات است که همبستگی بالایی با نوع و میزان فرسایش خاک دارد (Shinjo et al., 2002). در

2. Vegetation cover

3. Land use

4. Land use change

5. Vegetation cover change

\* نویسنده مسئول : ehsan.zarrinabadi@gmail.com

1. Soil erosion

شخم مرسوم در مقایسه با روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی کارایی کمتری دارد اما به دلیل محدودیت استفاده از شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، همچنان روش شخم مرسوم به گستردگی توسط دیمکاران انجام می‌گیرد. تغییر جهت شخم، شیوه مدیریتی ساده و قابل اجرا در بسیاری از کشت‌زارهای دیم است که می‌تواند نقشی مؤثر در حفظ منابع آب و خاک و دستیابی به عملکرد زیاد داشته باشد. با این حال مطالعات محدودی در مورد تاثیر جهت شخم بر حفظ منابع آب و خاک در کشت‌زارهای دیم به ویژه در مناطق نیمه خشک انجام گرفته است. Nickkami *et al.* (2008) با بررسی جهت شخم بر فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار نشان دادند که شخم عمود بر شیب باعث افزایش عملکرد محصول و کاهش تولید روان‌آب و هدررفت خاک می‌شود.

بررسی منابع نشان می‌دهد که تغییر کاربری و مدیریت خاک در دامنه‌های شیب‌دار نقشی مهم در فرسایش خاک دارند. این موضوع اگرچه به صورت جداگانه در شیب‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، با این حال مطالعات اندکی در مورد تأثیر هم‌زمان آن‌ها بر فرسایش خاک در شیب‌های مختلف انجام گرفته است. از سوی دیگر اطلاعات عددی در مورد آثار این اقدامات بشری به‌ویژه در خاک‌های نواحی نیمه خشک وجود ندارد. از آن‌جا که اغلب دیم‌زارهای گندم در کشور در نواحی نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند، شناخت پیامدهای تغییر کاربری و اجرای شخم موازی با شیب می‌تواند در ارائه پیشنهادهای مدیریتی برای کاهش روان‌آب و هدررفت خاک مفید واقع شود. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی میزان روان‌آب و هدررفت خاک تحت تأثیر تغییر کاربری (مرتفع به زراعت دیم) و جهت شخم (عمود بر شیب و موازی با شیب) در دامنه‌های با شیب مختلف در مراتع با پوشش ضعیف در منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### - ویژگی‌های مراتع مورد بررسی

این پژوهش در اراضی مرتعی در منطقه‌ای به مساحت ۴ کیلومتر مربع 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 در محدوده اراضی دانشگاه زنجان طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام گرفت. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین دمای سالانه ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۲۹۵ میلی‌متر بوده و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است.

با پوشش جنگلی اگرچه هدررفت خاک و تولید روان‌آب تحت تأثیر درجه شیب قرار نمی‌گیرد، لیکن با تغییر کاربری آن‌ها به مزارع چای، کشت‌زارهای دیم یا علف‌زارها، مقدار روان‌آب و رسوب تحت تأثیر شیب قرار می‌گیرد (Zhang *et al.*, 2013). در اراضی مرتعی شیب‌دار نیز تغییر کاربری به دیم‌زارها به دلیل کاهش پوشش گیاهی و مقاومت خاک منجر به تشدید فرسایش آبی می‌شود (Peng and Wang, 2012). در پژوهشی Zhao *et al.* (2014) با بررسی ویژگی‌های روان‌آب در مرتع و برخی محصولات زراعی بیان کردند که زمان تولید روان‌آب با درجه شیب رابطه خطی و منفی و ضریب روان‌آب با درجه شیب رابطه توانی مثبت داشت.

در کنار عامل تغییر کاربری زمین، فرسایش خاک در زمین‌های شیب‌دار تحت تأثیر روش مدیریت خاک نیز قرار می‌گیرد (Rafahi, 2006). یکی از روش‌های مدیریت خاک، خاک‌ورزی<sup>۱</sup> می‌باشد. خاک‌ورزی عبارت از کلیه عملیات مکانیکی است که به منظور آماده‌سازی زمین برای کاشت انجام می‌شود. شخم<sup>۲</sup> روشی از خاک‌ورزی است که باعث ایجاد تغییرات فیزیکی در خاک برای رشد بهتر گیاه می‌گردد (Morgan, 2005). روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی<sup>۳</sup> اغلب باعث کاهش فرسایش و افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه می‌شود با این حال کاربرد دراز مدت این روش‌ها، به ویژه روش بدون خاک‌ورزی ممکن است آثار نامطلوبی مانند تراکم بر خاک داشته باشد (Gajri *et al.*, 2002). از سوی دیگر اجرای این روش‌ها نیازمند بهره‌مندی از دستگاه‌های ویژه خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد که در بسیاری از مناطق، به ویژه در زمین‌های دیم دسترسی به آن‌ها دشوار است. شخم روی خطوط تراز<sup>۴</sup> و به طور کلی شخم عمود بر شیب به عنوان روش ساده و کم هزینه برای مهار فرسایش خاک در زمین‌هایی است که شیب زیادی ندارند. این روش به سادگی به وسیله دستگاه‌های رایج کشت قابل اجرا است.

مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا در زمینه ارزیابی تأثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و عملکرد محصول انجام گرفته است. در بیشتر تحقیقات بر روش بی‌خاک‌ورزی به عنوان روشی بهینه تأکید شده است (Basic *et al.*, 2001; Khera and Bhatt, 2006; Jose *et al.*, 2009; Prasuhn, 2012; Huang *et al.*, 2012). به هر حال علی‌رغم اینکه روش

1. Tillage  
2. Plough  
3. Conservation tillage  
4. Contour tillage

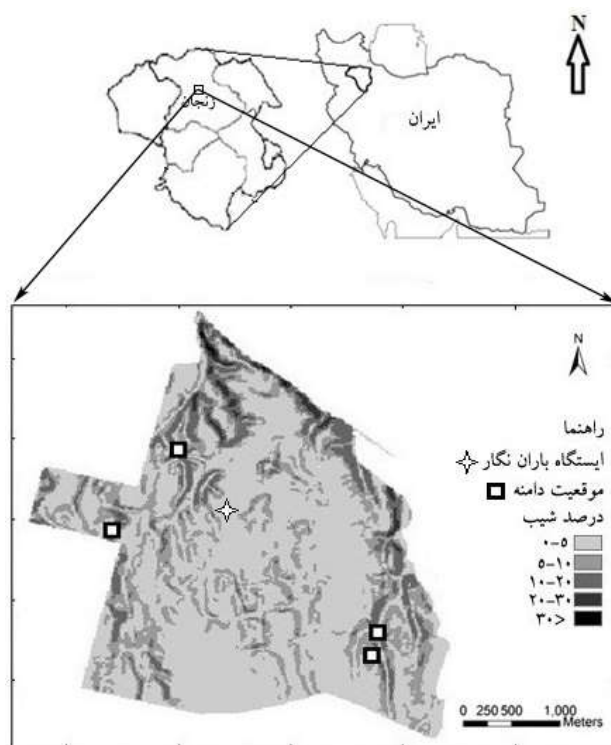
#### – پیاده سازی کرت‌های فرسایشی

در هر دامنه، شش کرت شامل ۲ کرت با پوشش طبیعی (مرتع ضعیف)، ۲ کرت با تغییر کاربری از مرتع به کشت گندم دیوم در جهت عمود بر شیب و ۲ کرت با تغییر کاربری از مرتع به کشت گندم دیوم احداث شدند. آزمایش در مجموع با ۲۴ کرت (۶ × ۴) به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. کرت‌ها به صورت طولی و به فاصله یک متر از یکدیگر ایجاد شدند. ابعاد کرت‌ها ۳ متر در ۱۰ متر بود که مطابق با برخی تحقیقات در این زمینه (Bellanger *et al.*, 2007; Su *et al.*, 2004) در نظر گرفته شد. کرت‌های تحت کشت به وسیله دستگاه گاواهن تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در دو جهت موازی و عمود بر شیب در اوایل مهر سال ۱۳۹۲ شخم زده شد و سپس با استفاده از دستگاه خطی‌کار که وسیله رایج کشت گندم دیوم در کشور می‌باشد، کشت گندم دیوم (رقم آذر دو) در جهت موازی شیب و عمود بر آن در دامنه‌ها انجام گرفت. برای جلوگیری از ورود و خروج روان‌آب، پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شدند. در انتهای هر کرت لوله پلیکا با قطر ۱۰ سانتی‌متر و مخزنی در پوش‌دار با حجم ۶۰ لیتر قرار داده شد (Vaezi *et al.*, 2008). برای هدایت آسان‌تر روان‌آب و رسوب به داخل مخازن جمع‌آوری روان‌آب و رسوب، دیواره ضلع پایینی هر کرت از جنس ورق گالوانیزه به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و به صورت مثلثی ساخته شد (شکل ۲).

#### – اندازه‌گیری روان‌آب و هدررفت خاک

برای اندازه‌گیری مقدار روان‌آب و هدررفت خاک، پس از پایان هر بارندگی منجر به روان‌آب، ابتدا حجم کل مخلوط روان‌آب و رسوب داخل مخزن‌ها به وسیله ظرفی با حجم معین اندازه‌گیری شد و برای تعیین غلظت رسوب، محتویات داخل مخزن‌ها با همزن دستی کاملاً به صورت یکنواخت درآمد. سپس نمونه‌ای با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر از مخلوط داخل مخزن‌ها برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه روان‌آب و رسوب با استفاده از کاغذ صافی واتمن جدا شدند و جرم رسوب پس از خشک شدن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد وزن شد. مقدار روان‌آب و رسوب هر کرت در هر رخداد بر اساس نسبت روان‌آب و رسوب در نمونه همگن به دست آمد (Vaezi *et al.*, 2008). داده‌های باران (ارتفاع، مدت و شدت) در هر رخداد بارندگی از ایستگاه باران‌نگاری دانشگاه زنجان واقع در حداقل ۴۰۸ و حداکثر ۱۲۰۷ متری از دامنه‌ها گرفته شد.

رژیم رطوبتی و حرارتی خاک بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور به ترتیب زیریک<sup>۱</sup> و مزیک<sup>۲</sup> است (Zanjan Water Organization, 2011). خاک‌ها بر اساس روش رده‌بندی آمریکایی در دو رده اینسپتی‌سول<sup>۳</sup> و انتی‌سول<sup>۴</sup> قرار دارند (Shabani *et al.*, 2014). مشاهدات صحرایی و تحلیل تصاویر گرفته شده از سطح مراتع با استفاده از نرم افزار ImageJ نشان داد که پوشش گیاهی حداکثر ۲۷ درصد سطح زمین را در بر می‌گیرد (Ali *et al.*, 2011). گونه‌های گیاهی اغلب از نوع بوته‌های رز ایرانی یا ورک (*Rosa Persica*) از خانواده Rosaceae بوده و شیب آن‌ها از پنج تا ۳۰ درصد تغییر می‌کند. شکل ۱ موقعیت و نقشه شیب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری زمین و جهت شخم در شیب‌های مختلف بر فرسایش خاک، چهار دامنه مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف و دارای درجات مختلف شیب شامل ۱۲/۶، ۱۵/۳۷، ۱۷ و ۱۹/۴ درصد انتخاب شدند. این دامنه‌ها جز معدود دامنه‌های مرتعی منطقه بودند که دارای شیب یکنواخت بوده و امکان استقرار کرت‌های فرسایشی با تعداد و ابعاد مورد نظر در آن‌ها فراهم بود.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه باران‌نگار و دامنه‌ها و نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

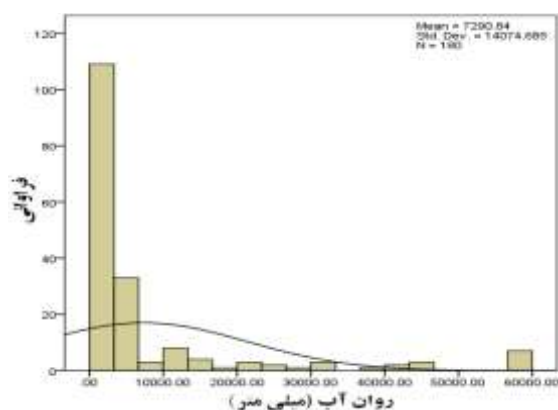
1. Xeric
2. Mesic
3. Inceptisol
4. Entisol



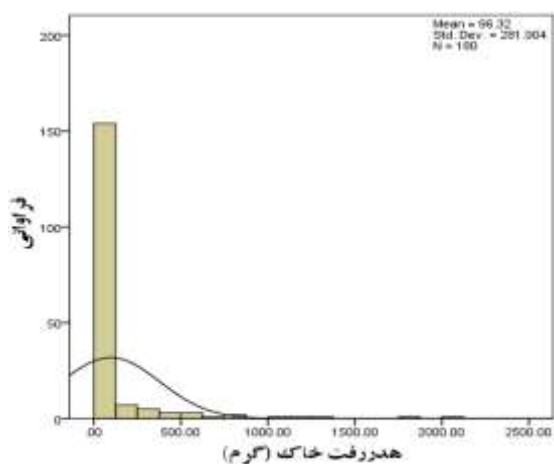
الف) کرت با پوشش طبیعی مرتع      ب) کرت تحت شخم در جهت عمود بر شیب      ج) کرت تحت شخم موازی شیب

شکل ۲- تصویری از کرت‌های مطالعاتی

مورد تحلیل قرار گرفتند. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و جهت رسم نمودار از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.



(الف)



(ب)

شکل ۳- هیستوگرام و منحنی توزیع فراوانی داده‌های روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب)

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌ها - برای آگاهی از خصوصیات خاک دامنه‌ها، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین شدند. نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری در شش نقطه از زمین محدوده مورد آزمایش برداشت شد. در نمونه‌های خاک، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Gee and Boudier, 1986)، درصد سنگریزه به روش وزنی، میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (Angers and Mehuys, 1993) برای مدت یک دقیقه، واکنش خاک با استفاده از pH سنج، هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با استفاده از EC سنج، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (Page et al., 1987)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (Jones, 2001)، برای تعیین درصد سدیم تبدیلی (ESP)، سدیم تبدیلی (Na<sup>+</sup>) با استفاده از دستگاه فلوئیدومتر (Thomas, 1982) و درصد کربن آلی خاک به روش والکی-بلک (Nelson and Sommers, 1982) اندازه‌گیری گردید.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های روان آب و هدررفت خاک پیش از تجزیه و تحلیل ابتدا از نظر توزیع نرمال بودن به روش چولگی<sup>۱</sup> و کشیدگی<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. در این راستا، از آنجا که داده‌های روان آب و هدررفت خاک دارای چولگی مثبت و کشیدگی منفی نامتعارف بودند و در نتیجه از توزیع نرمال پیروی نکردند (شکل ۳) و با استفاده از روش‌های معمول نرمال‌سازی، امکان نرمال‌سازی آن‌ها فراهم نشد، بنابراین با استفاده از آزمون‌های تجزیه غیرپارامتری<sup>۳</sup> (کروسکال-والیس<sup>۴</sup> و مان ویتنی یو<sup>۵</sup>) داده‌ها مورد

4. Kruskal-Wallis  
5. Mann-Whitney U

1. Skewness  
2. Kurtosis  
3. Non-parametric test

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌ها

خاکدانه‌های کوچک‌تر و به نوبه خود دارای میانگین قطر خاکدانه‌های پایدار پایین‌تری (۲/۴۶ میلی‌متر) بود. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها به دلیل رس کم و همچنین فقیر بودن از نظر ماده آلی، پایین بود (۷/۴۴ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم). تجزیه واریانس کل ویژگی‌های خاک‌ها بین دامنه‌های مورد بررسی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دامنه‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود نداشت. در واقع تفاوت اصلی دامنه‌های مورد بررسی تنها از نظر درصد شیب بود.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به میانگین درصد نسبی ذرات شن (۵۷/۸۹)، سیلت (۲۰/۵۴) و رس (۲۱/۵۷)، به‌طور کلی بافت خاک دامنه‌های مورد بررسی در کلاس لوم‌رسی‌شنی قرار گرفت. خاک‌ها به لحاظ داشتن مقادیر کم‌تر ماده‌ی آلی (حداکثر ۱/۵ درصد) و فراوانی پایین رس، دارای

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دامنه‌های مورد بررسی

ویژگی‌های خاک	میانگین	کم‌ترین	بیش‌ترین	ضریب تغییرات (%)
ویژگی‌های فیزیکی				
شن (%)	۵۷/۸۹	۴۳/۶۳	۷۹/۷۱	۱۴
سیلت (%)	۲۰/۵۴	۱۵/۰۰	۲۸/۰۰	۱۷
رس (%)	۲۱/۵۷	۴/۰۰	۲۶/۰۰	۲۹
سنگریزه (%)	۱۶/۲۲	۶/۷۴	۴۱/۴۰	۲۵
میانگین وزنی قطر خاکدانه پایدار در آب (میلی‌متر)	۲/۴۶	۰/۶۱	۴/۶۳	۳۳
ویژگی‌های شیمیایی				
واکنش	۷/۶۸	۷/۵۱	۷/۸۳	۱
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۳۱	۰/۵۵	۳/۲۲	۳۲
ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکیوالان بر ۱۰۰ گرم خاک)	۷/۴۴	۵/۴۴	۱۰/۲۳	۲۰
درصد سدیم تبدالی	۱/۱	۰/۶۵	۱/۶۶	۲۴
ماده آلی (%)	۱/۱۶	۰/۹۳	۱/۵۱	۲۴
کربنات کلسیم معادل (%)	۱۰/۵۸	۵/۰۰	۱۲/۵۰	۲۶

ویژگی‌های نزولات در این فصل از سال و افزایش موقت نفوذپذیری در خاک‌های شخم خورده می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس تغییرات روان‌آب و هدررفت خاک در شیب‌های مختلف نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها از نظر روان‌آب ( $p < ۰/۰۵$ ) و هدررفت خاک ( $p < ۰/۰۱$ ) وجود داشت (جدول ۳). میزان روان‌آب و هدررفت خاک با افزایش درصد شیب به شدت افزایش یافت. بیش‌ترین میزان روان‌آب (۰/۴۶ میلی‌متر) و هدررفت خاک (۶/۵۲ گرم بر مترمربع) در شیب ۱۹ درصد و کم‌ترین میزان آن‌ها (۰/۱۸ میلی‌متر و ۱/۶۹ گرم بر مترمربع) در شیب ۱۲/۶ درصد مشاهده شد (شکل ۴). با افزایش درصد شیب حجم و سرعت جریان‌های سطحی افزایش و نیروی اصطکاک ذرات کاهش می‌یابد که باعث افزایش فرساینده‌ی جریان آب می‌گردد. همچنین در شیب‌های تندتر، پاشمان ذرات به طرف پایین شیب و رواناب نیز بیش‌تر شد و جریان رواناب نیز سریع‌تر شکل گرفت (Kosmas et al., 2002).

### تغییرات روان‌آب و هدررفت خاک تحت تأثیر شیب دامنه

از ۵۶ رخدادهای بارندگی طی دوره مطالعاتی (از ۱۳۹۲/۷/۳۰ تا ۱۳۹۳/۳/۳۱)، تعداد شش رخداد منجر به تشکیل روان‌آب و رسوب در کرت‌ها گردید که ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۲ آمده است. این رخدادهای مربوط به اواخر زمستان و فصل بهار بود. بیش‌ترین ارتفاع باران منجر به روان‌آب، ۲۳/۱ میلی‌متر و کم‌ترین آن ۱/۲ میلی‌متر و بیش‌ترین و کم‌ترین شدت بارندگی به ترتیب ۵/۸ و ۱/۲ میلی‌متر بر ساعت بود. به علت خشک بودن خاک دامنه‌ها پیش از وقوع بارندگی و افزایش نفوذپذیری خاک در کرت‌های تازه شخم خورده در فصل پاییز، رخدادهای بارندگی در این فصل منجر به تولید روان‌آب و رسوب نشدند. همچنین در فصل بهار به علت وقوع رخدادهای باران با شدت و مدت پایین در اغلب رخدادهای روان‌آب و هدررفت خاک مشاهده نشد. به‌طور کلی روان‌آب و هدررفت خاک در فصل‌های زمستان و پاییز بسیار کم‌تر از فصل بهار بود که این تفاوت به علت

جدول ۲- ویژگی باران‌های منجر به روان آب و مقدار متوسط روان آب و هدررفت خاک در مدیریت‌های مختلف طی سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳

تاریخ رخداد باران						منابع تغییرات
۱۳۹۳/۳/۳	۱۳۹۳/۲/۱۰	۱۳۹۳/۲/۷	۱۳۹۳/۲/۶	۱۳۹۳/۱/۱۰	۱۳۹۲/۱۲/۲۱	
۱۱/۵۵	۳/۱۳	۸/۱۶	۱/۲۸	۲۳/۱۱	۱۸/۶۴	ارتفاع بارندگی (mm)
۵/۸۱	۲/۶۳	۳/۷۴	۱/۲۶	۳/۳	۱/۸۲	شدت بارندگی (mm h <sup>-1</sup> )
۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۰۷	روان آب در مرتع (mm)
۱/۹۹	۱/۸۳	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۰۱	روان آب در کشت عمود (mm)
۳/۶۵	۲/۵۲	۴/۹۶	۲/۳۱	۱/۹۶	۰/۶۰	روان آب در کشت موازی (mm)
۰/۰۱×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۰۰	۰/۰۲×۱۰ <sup>-۲</sup>	۰/۷۲×۱۰ <sup>-۴</sup>	۰/۴۸×۱۰ <sup>-۳</sup>	۰/۱۵×۱۰ <sup>-۳</sup>	هدررفت خاک در مرتع (kg m <sup>-2</sup> )
۰/۰۴×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۰۲×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۰۲×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۴۹×۱۰ <sup>-۳</sup>	۰/۵۳×۱۰ <sup>-۳</sup>	۰/۵۶×۱۰ <sup>-۴</sup>	هدررفت خاک در کشت عمود (kg m <sup>-2</sup> )
۰/۶۷×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۵۱×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۹۵×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۲۲×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۲۲×۱۰ <sup>-۱</sup>	۰/۰۸×۱۰ <sup>-۱</sup>	هدررفت خاک در کشت موازی (kg m <sup>-2</sup> )

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس تغییرات روان آب و هدررفت خاک تحت تأثیر درصد شیب، نوع کاربری و جهت شخم به روش غیر پارامتری

هدررفت خاک		روان آب		درجه آزادی	منابع تغییرات
Chi square	سطح معنی داری	Chi square	سطح معنی داری		
۱۴/۲۶۴	۰/۰۰۶	۱۲/۸۶۴	۰/۰۱۲	۳	درصد شیب
۳۵/۳۳۸	۰/۰۰۰	۳۳/۰۸۹	۰/۰۰۰	۱	نوع کاربری
۴۵/۵۳۹	۰/۰۰۰	۴۹/۱۸۳	۰/۰۰۰	۱	جهت شخم

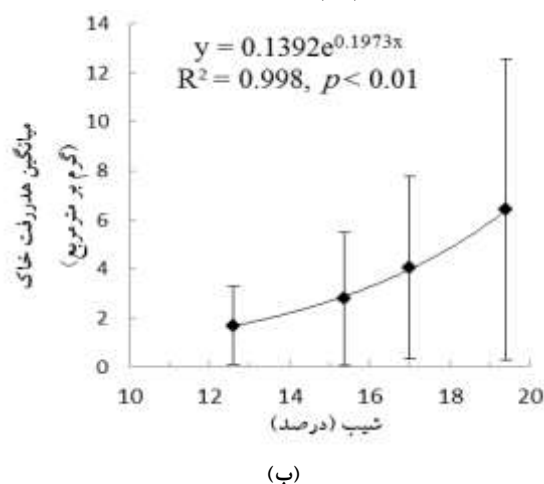
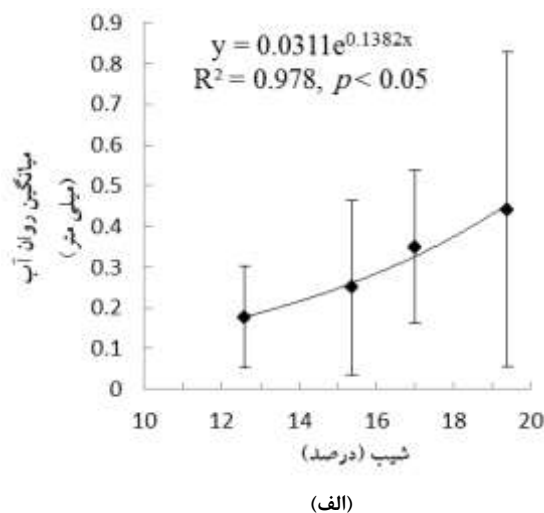
Bryan (1999) با بررسی رابطه بین شدت فرسایش و درجه شیب بیان کردند که برای یک شدت ثابت روان آب، هدررفت خاک با مربع درجه شیب افزایش پیدا کرد و همچنین تأثیر غالب درجه شیب بر فرسایش با تأثیر بر سرعت روان آب بود. Kinnell (2000)، با بررسی تأثیر درصد شیب بر غلظت رسوب بیان کرد که غلظت رسوب در جریان سطحی با افزایش درصد شیب (به ویژه در شیب‌های بیش از ۱۰ درصد) افزایش می‌یابد. Ekwue & Harrilal (2010) با بررسی تأثیر بافت خاک (لوم شنی، لوم رسی و رسی) بر میزان تولید روان آب در شیب‌های ۹، ۱۵، ۲۱ و ۳۰ درصد تحت باران شبیه‌سازی شده بیان کردند که با افزایش درصد شیب در بافت لوم رسی و رسی بر خلاف بافت لوم شنی به علت کاهش نفوذپذیری خاک، مقدار روان آب افزایش می‌یابد.

افزایش هدررفت خاک در کرت‌ها در اثر افزایش شیب، توأم با افزایش روان آب در کرت‌ها بود (شکل ۴)، به طوری که بین روان آب و هدررفت خاک در رخدادهای بارندگی رابطه خطی مثبت و معنی داری برقرار بود ( $R^2 = 0/019$  و  $p < 0/001$ ) (شکل ۵). این نتیجه با نتایج Hartanto *et al.* (2003)، تحت باران طبیعی در اندونزی مطابقت دارد. این پژوهش‌گران بیان کردند که یک رابطه‌ی خطی مثبت و معنی دار بین روان آب و هدررفت خاک در شیب‌های بین ۱۷ تا ۲۲ درصد و در شرایط آیش وجود دارد و میزان بارندگی نیز نقش مهمی در تعیین

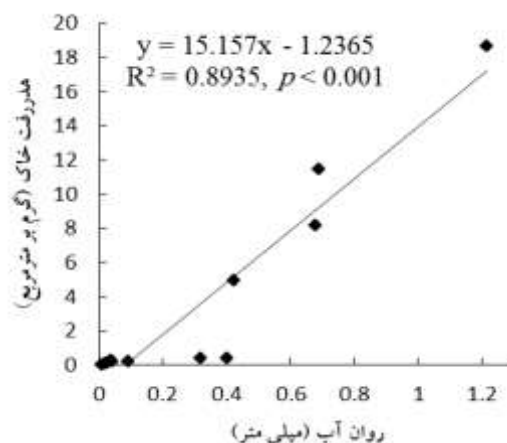
رابطه مثبت و معنی داری بین درصد شیب و روان آب ( $R^2 = 0/098$  و  $p < 0/01$ ) و هدررفت خاک ( $p < 0/01$ ) وجود داشت (شکل ۴). در شیب‌های بالا به دلیل کاهش شدید فرصت نفوذ آب به خاک، تولید رواناب و هدررفت خاک به مراتب بالا بود. این موضوع موجب شد تا تفاوت بسیار زیادی بین داده‌های رواناب و هدررفت خاک در کشت موازی و مرتع وجود داشته باشد. از این رو با افزایش درصد شیب دامنه، واریانس داده‌های رواناب و هدررفت خاک نیز افزایش یافت. در پژوهشی Suhua *et al.* (2011) با بررسی تأثیر درصد شیب بر فرسایش خاک در دامنه‌های کوتاه در شیب‌های ۹، ۱۸، ۲۷، ۳۶، ۴۷، ۵۸، ۷۰، ۸۴ و ۱۰۰ درصد بیان کردند که هدررفت خاک در اثر ضربه قطرات باران و هدررفت در اثر شستشو با بالا رفتن درصد شیب، افزایش می‌یابد. با افزایش درصد شیب از ۹ درصد به ۱۰۰ درصد، نسبت هدررفت خاک در اثر ضربه قطرات باران به هدررفت در اثر شستشو از ۰/۲۱ به ۰/۲۳ تغییر کرد. Zhang *et al.* (2011) با بررسی ظرفیت حمل جریان سطحی در شیب‌های مختلف بیان کردند که ظرفیت حمل رسوب رابطه توانی با درصد شیب داشت. Koulour & Giourga (2007) با مطالعه تأثیر تغییر کاربری و درصد شیب بر فرسایش خاک بیان کردند که زمین‌هایی که به صورت سنتی کشت شدند با توجه به تفاوت شیب، نتایج متفاوتی در مورد تأثیر درصد شیب بر مقدار تولید روان آب و هدررفت خاک نشان دادند. Fox &

- تغییرات روان آب و هدررفت خاک تحت تأثیر تغییر کاربری میانگین تولید روان آب در کرت‌های با پوشش طبیعی مرتع و زراعت به ترتیب برابر ۰/۰۴ و ۰/۷۳ میلی‌متر و همچنین هدررفت خاک در آن‌ها به ترتیب ۰/۷۱ و ۴۵/۲۷ گرم بر مترمربع بود. مقدار تولید روان آب و هدررفت خاک در اثر تغییر کاربری مرتع با پوشش ضعیف به کاربری زراعی گندم دیم به ترتیب ۱۳ و ۶۰ برابر بیشتر شد (شکل ۶). نتایج تجزیه واریانس تغییرات روان آب و هدررفت خاک (جدول ۳) نشان داد که تغییرات روان آب و هدررفت خاک به طور معنی‌داری تحت تأثیر تغییر کاربری قرار گرفت (۰/۰۱ < p). شخم و کشت و کار از طریق تخریب ساختمان خاک باعث افزایش تولید روان آب و هدررفت خاک و کاهش توانایی نگهداری آب خاک می‌گردد. یکی از دلایل افزایش مقدار روان آب در کاربری‌های زراعی، تخریب ساختمان خاک در اثر برخورد ضربات قطرات باران و بسته شدن خلل و فرج خاک و در نهایت کاهش نفوذپذیری خاک می‌باشد. خاک‌ورزی سنتی با شکستن خاک‌دانه‌ها منجر به تبدیل آن‌ها به ذرات منفرد و ریز می‌گردد که این ذرات به فرسایش ناشی از آب حساس هستند (Angers et al., 1993). در پژوهشی Fu et al. (2001) بیان کردند که نوع کاربری زمین تأثیر معنی‌داری بر روان آب و هدررفت خاک دارد. از سوی دیگر، پوشش مرتعی حتی در شرایط تراکم پایین، نسبت به پوشش زراعی عاملی مهم در کاهش تولید رواناب و در نتیجه کاهش هدررفت خاک می‌باشد. کاربری مرتع بالاترین عملکرد حفاظتی خاک و کم‌ترین حساسیت را در مقابل فرسایش آبی داشت. تغییر کاربری مرتع نه تنها از طریق تخریب پوشش گیاهی، بلکه از طریق تأثیر بر خصوصیات خاک سطحی باعث افزایش روان آب و فرسایش خاک گردید. در پژوهشی Bakker et al. (2004) بیان کردند که فعالیت‌های کشاورزی باعث افزایش تولید روان-آب سطحی و هدررفت خاک می‌شود زیرا عملیات خاک‌ورزی باعث تبدیل خاک‌دانه‌های درشت به خاک‌دانه‌های ریزتر شده و به نوبه خود باعث افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد. Grimay et al. (2009) با بررسی تغییر کاربری زمین دریافتند که بیشترین تولید روان آب و هدررفت خاک در اراضی کشاورزی اتفاق می‌افتد. نتایج نشان داد که با گذشت زمان تشکیل اندوده سطحی و سله باعث افزایش تولید روان آب می‌گردد. Nunes et al. (2011) نیز در پژوهشی بیان کردند که روان آب تشکیل شده در پوشش گیاهی و کاربری‌های متفاوت به ترتیب از بیش‌ترین مقدار تا کم‌ترین مقدار در زمین‌های تبدیل شده به جنگل، محصولات زراعی، زمین‌های تحت آیش، زمین‌های مرتعی، پوشش درختچه‌ای و پوشش بومی منطقه بود. بر این اساس

مقدار رواناب و هدررفت خاک دارد. در پژوهشی Vaezi et al. (2008) با تعیین روان آب و هدررفت خاک در کرت‌های استاندارد طی دوره دوساله نشان دادند که رابطه مثبت و توانی بین هدررفت خاک و روان آب وجود دارد (۰/۰۱ < p و R<sup>2</sup>= ۰/۷۲).



شکل ۴- رابطه بین درصد شیب و روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب) در دامنه‌های مورد بررسی



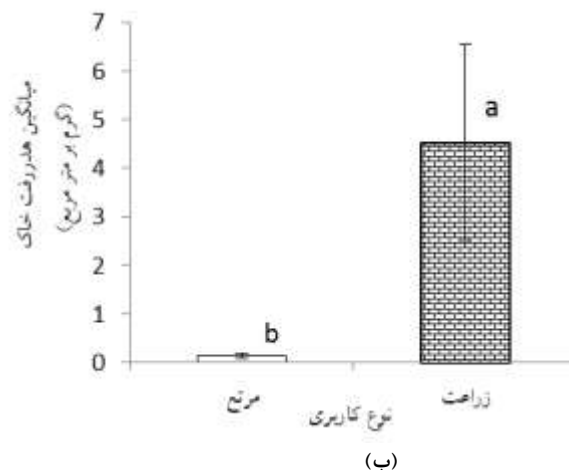
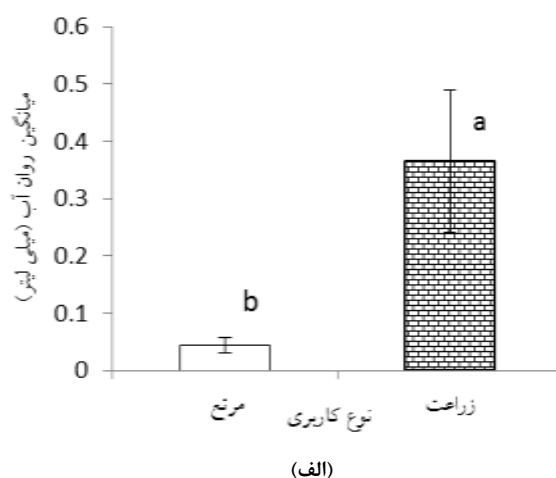
شکل ۵- رابطه بین هدررفت خاک و روان آب در دامنه‌های مورد بررسی

**- تغییرات روان آب و هدررفت خاک تحت تأثیر جهت شخم**

میانگین تولید روان آب در کرت‌های تحت شخم در جهت موازی با شیب و در جهت عمود بر شیب به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۰۱ میلی‌متر و هدررفت خاک در آن‌ها به ترتیب ۴۴/۰۶ و ۱/۲۱ گرم بر مترمربع بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تغییرات روان آب و هدررفت خاک تحت تأثیر جهت شخم (عمود بر شیب و موازی با شیب) قرار گرفت ( $p < 0/01$ ) (جدول ۳). مقدار تولید روان آب و هدررفت خاک در شخم موازی با شیب نسبت به شخم عمود بر شیب به ترتیب ۵/۵ و ۳۵ برابر بزرگ‌تر بود (شکل ۷). Basic et al. (2001)، با بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر میزان هدررفت خاک و تولید روان آب در شرایط اقلیمی مرطوب بیان کردند که در شخم عمود بر شیب نسبت به شخم موازی با شیب، کم‌ترین مقدار تولید روان آب و هدررفت خاک اتفاق می‌افتد که علت آن وجود زمان کافی برای نفوذ آب به خاک و همچنین کم بودن سرعت جریان سطحی در این روش شخم بود. به‌طور کلی شخم عمود بر شیب با ایجاد ناهمواری‌های سطح خاک نقش مهمی را در کاهش تولید روان آب و هدررفت خاک دارد. این تأثیر در اوایل دوره کاشت (پاییز) بیش‌تر بود اما با گذشت زمان به دلیل تخریب پشته‌ها در اثر رخدادهای بارندگی، ناهمواری سطح خاک کم شده و عملکرد آن‌ها در کاهش روان آب و هدررفت خاک کاهش یافت به‌طوری که عملاً فرسایش خاک در باران‌های بهاره مشاهده شد. این نتیجه با یافته‌های Dalla Rosa et al. (2012) مطابقت دارد. آن‌ها با بررسی روش‌های مختلف خاک‌ورزی (خاک‌ورزی سنتی، کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) نتیجه گرفتند که کارایی ناهمواری سطح خاک با گذشت زمان کاهش می‌یابد و همچنین بیش‌ترین میزان ناهمواری سطح خاک در کم‌خاک‌ورزی اتفاق می‌افتد. Rasmussen (1999) نیز در آزمایش‌های خود دریافت که نفوذپذیری خاک‌های شخم خورده در مقایسه با خاک‌های بدون شخم بیشتر است و بیان کردند که چنین اختلافی در کوتاه مدت وجود دارد. Ndiaye et al. (2005) تحت باران شبیه‌سازی بیان کردند که ضریب روان آب به صورت قابل ملاحظه‌ای در شخم موازی شیب بیشتر از شخم عمود بر شیب می‌باشد و همچنین شخم در جهت شیب به صورت معنی‌داری باعث کاهش ظرفیت ذخیره سطحی خاک می‌گردد.

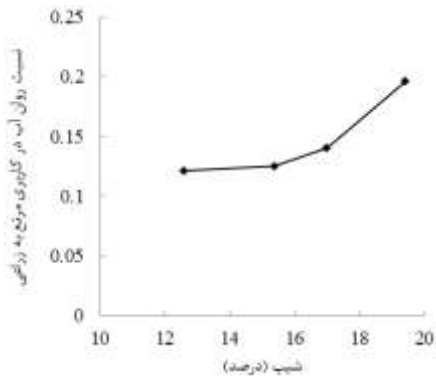
با افزایش درصد شیب، نسبت تولید روان آب و هدررفت خاک در کاربری مرتع به کاربری زراعی (شکل ۸) افزایش یافت. این نسبت در شخم عمود بر شیب به شخم موازی با شیب

بیش‌ترین مقدار فرسایش خاک در زمین‌های زراعی و زمین‌های تبدیل شده به جنگل مشاهده گردید. در مطالعه ای Zhang et al. (2010) بیان کردند که با احیای جنگل‌ها و تراس‌بندی اراضی کشاورزی، میزان روان آب سطحی و هدررفت خاک به ترتیب ۲۰ تا ۱۰۰ درصد و ۱۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافت. همچنین این پژوهش‌گران بیان کردند که برای حوضه‌های آبخیز بزرگ (۷۳۲ کیلومتر مربع) تأثیر تغییر کاربری زمین بر تولید روان آب سطحی همانند اثرپذیری آن از تغییر ویژگی‌های باران حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که تغییر کاربری حتی در مراتع با پوشش ضعیف به پوشش زراعی دیم، منجر به تشدید تولید رواناب و هدررفت خاک می‌گردد. به هر حال تغییر کاربری در چنین مراتعی در شرایطی امکانپذیر خواهد بود که همراه با اجرای مدیریت زراعی و مدیریت خاک باشد. با توجه به کمبود آب در چنین مناطقی، کشت گیاهان کم نیاز و اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار برای دستیابی به عملکرد مناسب و حفظ منابع آب و خاک اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

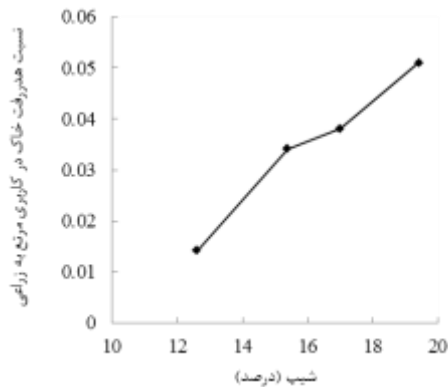


شکل ۶- تغییرات روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب) تحت تأثیر تغییر کاربری زمین



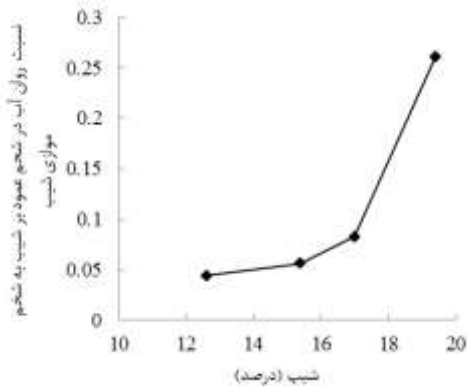


(الف)

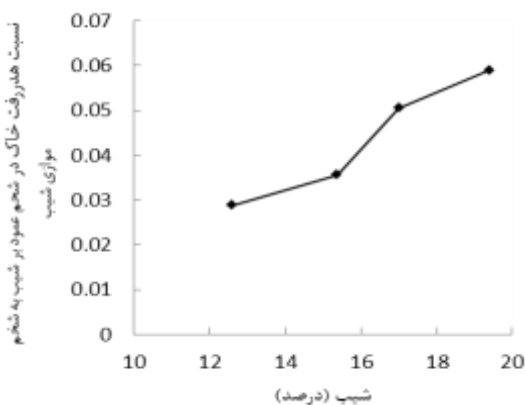


(ب)

شکل ۸- تغییرات نسبت روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب) در کاربری مرتع به زراعی در شیب‌های مختلف



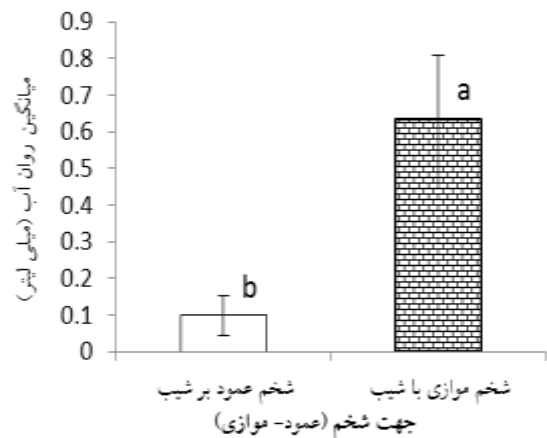
(الف)



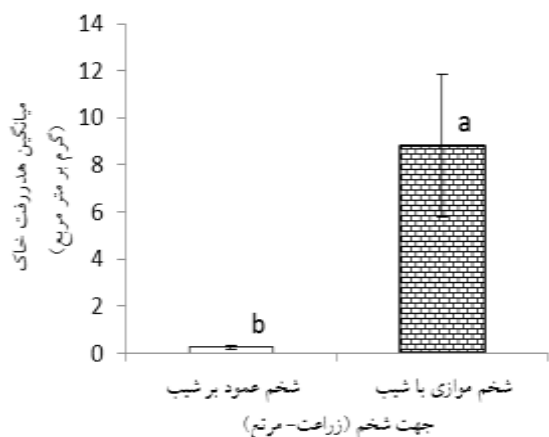
(ب)

شکل ۹- تغییرات نسبت روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب) در شخم عمود بر شیب نسبت به شخم موازی شیب در شیب‌های مختلف

(شکل ۹) نیز افزایش پیدا کرد. این نتایج بیانگر این مهم می‌باشند که دامنه‌های با شیب پایین نسبت به دامنه‌های با شیب بالا به تغییر کاربری و نیز ایجاد شخم موازی با شیب حساس‌تر هستند. به عبارت دیگر پوشش مرتعی در دامنه‌های واقع در نواحی نیمه‌خشک هر چند ضعیف می‌باشد به مراتب تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش روان‌آب و هدررفت خاک دارد و این تأثیر در شیب‌های پایین بارزتر می‌باشد. از این رو تغییر کاربری مرتع به زراعت که اغلب منجر به تشدید تولید روان‌آب و رسوب می‌گردد، بیش‌ترین تهدید را به منابع آب و خاک در شیب‌های زیاد ایجاد می‌کند. همچنین انجام شخم در جهت عمود بر شیب اگرچه به عنوان یک روش حفاظتی ساده و قابل اجرا محسوب می‌شود کارایی کمتری در شیب‌های بالا، ظرفیت فارو ها در حفظ جریان‌های سطحی پایین بوده و از این رو احتمال تخریب پشته‌ها در رخداد های بزرگ تر وجود دارد. بنابراین در شیب‌های زیاد انجام شخم در جهت موازی شیب به دلیل کاهش شدید فرصت نفوذ آب به خاک، منجر به تشدید تولید رواناب و در نتیجه تشدید هدررفت خاک می‌گردد.



(الف)



(ب)

شکل ۷- تأثیر جهت شخم بر روان آب (الف) و هدررفت خاک (ب)

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تولید رواناب و هدررفت خاک در کاربری مرتع و زراعت (شخم عمود بر شیب و شخم موازی شیب) تحت تأثیر درصد شیب زمین قرار دارد. تولید روان‌آب و فرسایش خاک تحت تأثیر تغییر کاربری و جهت شخم قرار گرفت. تولید روان‌آب و هدررفت خاک در اثر تغییر کاربری از مرتع با پوشش ضعیف به زراعت گندم دیم به ترتیب ۱۳ و ۶۰ برابر افزایش یافت. همچنین تولید روان‌آب و هدررفت خاک در شخم موازی با شیب نسبت به شخم عمود بر شیب به ترتیب ۵/۵ و ۳۵ برابر افزایش یافت. نقش تغییر کاربری از مرتع ضعیف به دیم و نقش جهت شخم از عمود به موازی شیب در افزایش هدررفت خاک به مراتب بارزتر از روان‌آب بود. این نتایج نشان دهنده این است که خاک دامنه‌های مرتعی مورد بررسی حساسیت بسیار زیادی به تغییر کاربری و جهت شخم دارند. تأثیر تغییر کاربری در افزایش روان‌آب و هدررفت خاک در دامنه‌های با شیب زیاد بیش‌تر بود. همچنین کارایی شخم عمود بر شیب با افزایش شیب دامنه کاهش یافت که این مشاهددها بیانگر این مهم

می‌باشد که دامنه‌های با شیب پایین به تغییر کاربری حساس‌تر هستند و عملکرد شخم عمود بر شیب در شیب‌های زیاد در کنترل روان‌آب و هدررفت خاک کاهش می‌یابد. در شیب‌های بالا به دلیل آن‌که احتمال وقوع جریان‌های سطحی بیش‌تر می‌باشد حضور پوشش‌های مرتعی نسبت به پوشش‌های زراعی در کاهش روان‌آب و رسوب بسیار کارآمدتر است. همچنین در شیب‌های بالا به واسطه کاهش ظرفیت فارو ها در ذخیره جریان‌های سطحی و حتی احتمال تخریب پشته‌ها در رخدادهای بزرگ، عملکرد حفاظتی شخم عمود بر شیب، کاهش می‌یابد. به‌طورکلی می‌توان گفت تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به دیم‌زار حتی در مراتع با پوشش گیاهی ضعیف منجر به افزایش حساسیت خاک سطحی به فرسایش آبی می‌گردد. بنابراین مدیریت مناسب زمین مانند جلوگیری از تغییر کاربری اراضی به ویژه در شیب‌های زیاد و نیز انجام کشت بر روی خطوط تراز اثری قابل توجه در کاهش چشم‌گیر هدررفت آب و خاک در دامنه‌های با پوشش ضعیف مرتعی و کشتزارهای دیم در نواحی نیمه‌خشک دارد.

## REFERENCES

- Ali, A., Streibig, J. C., Christensen, S. and Andreasen, C. 2011. Estimation of weeds leaf cover using image analysis and its relationship with fresh biomass yield of maize under field conditions. In *Proceedings 2011 International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment*, pp. 41-49.
- Angers, D.A., Samson, N. and Legere, A. (1993). Early changes in the water stable aggregation induced by rotation, e.g. tillage in the soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 51-59.
- Angers, D. A. and Mehuys, G. R. (1993). Aggregate stability to water. In Cartner, M. R. (ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton. pp. 651-657.
- Bakker, M.M., Govers, G. and Rounsevell, M.D.A. (2004). The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena*, 57, 55-76.
- Basic, F., Kistic, I., Butorac, A., Nestroy, O. and Mesic, M. 2001. Runoff and soil loss under different tillage methods on Stagnic Luvisols in central Croatia. *Soil and Tillage Research*, 62(3), 145-151.
- Basic, F., Kistic, I., Mesic, M., Nestroy, O. and Butorac, A. (2004). Tillage and crop management effects on soil erosion in Central Croatia. *Soil and Tillage Research*, 78, 197-206.
- Bellanger, B., Huon, S., Velasquez, F., Vallès, V., Girardin, C. and Mariotti, A. (2004). Monitoring soil organic carbon erosion with  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  on experimental field plots in the Venezuelan Andes. *Catena*, 58(2), 125-150.
- Bhatt, R. and Khera, K. L. 2006. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. *Soil and Tillage Research*, 88(1), 107-115.
- Dalla Rosa, J., Cooper, M., Darboux, F. and Medeiros, J. C. (2012). Soil roughness evolution in different tillage systems under simulated rainfall using a semivariogram-based index. *Soil and Tillage Research*, 124, 226-232.
- Ekwu, E. I. and Harrilal, A. (2010). Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105(1), 112-118.
- Fox, D. M., Bryan, R. B. and Price A. G. (1997). The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*, 80, 181-194.
- Fu, B.J., Meng, Q.H. and Yang, L.Z. (2001). Effects of land use on soil erosion and nutrient loss in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Soil Use and Management*, 17, 288-291.
- Garcia-Ruiz, J.M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena*, 81, 1-11.
- Gajri, P. R., Arora, V. K. and Prihar, S. S. (2002). *Tillage for sustainable cropping*. Food Products Press. 200 pp.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). *Particle size analysis*. In: Klute, (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1, 2nd ed. America Society of Agronomy, Madison, WI, 383-411.

- Girmay, G., Singh, B. R., Nyssen, J. and Borrosen, T. (2009). Runoff and sediment-associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 376(1), 70-80.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A. S. and Asdak, C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management*, 180(1), 361-374.
- Huang, G. B., Chai, Q., Feng, F. X. and Yu, A. Z. (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.
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, 27-160.
- Jose', A. G., Teodorico, A. S., Juan, V. G. and Eli'as, F. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102, 5-13.
- Kinnell, P. I. A. (2000). The effect of slope length on sediment concentrations associated with side-slope erosion. *Soil Science Society America Journal*, 64, 1004-1008.
- Kosmas, C., Gerontidis, S., Marathanou, M., Detsisa, B., Zafiriou, T., Van Muysen, W., Govers, G., Quine, T. A. and Vanoost, K. (2001). The effects of tillage displaced soil on soil properties and wheat biomass. *Soil and Tillage Research*, 58, 31-44.
- Koulouri, M. and Giourga, C. (2007). Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terraced lands. *Catena*, 69(3), 274-281.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*, Third edition, Blackwell Publishing Ltd, 1-3,200-210. ISBN: 1-4051-1781-8.
- Ndiaye, B., Esteves, M., Vandervaere, J. P., Lapetite, J. M. and Vauclin, M. (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.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982). *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. In Page, A. L. (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc., Madison. pp. 539-579.
- Nikkami, D., Ardakani, A. J. and Movahed, F. B. (2008). Tillage management on sustainable rainfed agricultural resources. *Journal of Applied Sciences*, 8(18), 3255-3260.
- Nunes, A. N., De Almeida, A. C. and Coelho, C. O. (2011). Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal. *Applied Geography*, 31(2), 687-699.
- Ojima, D., and Chuluun, T., (2002). Land Use change and carbon cycle in arid and semi-arid land use east and central asia, *science in china* (series C), 45, 48-54.
- Page, M. C. Sparks, D. L. Noll, M. R. and Hendricks, G. J. (1987). Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal plain soils. *Soil Science Society America Journal*, 51, 1460-1465.
- Peng, T. and Wang, S. (2012). Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China. *Catena*, 90, 53-62.
- Prasuhn, V. (2012). On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 104, 137-146.
- Rafahi, H.Gh. (2006). *Water erosion and conservation*, 5th Edition, University of Tehran press, 671 p. (In Farsi)
- Rasmussen, K.J., (1999). Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil and Tillage Research*. 53, 3-14.
- Sadeghi, S.H.R. and Singh, J.K. (2005). Development of a Synthetic Sediment Graph using Hydrological Data. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 7, 69-77.
- Schiettecatte, W., Cornelis, W. M., Acosta, M. L., Leal, Z., Lauwers, N., Almoza, Y., Alonso, G.R., Diaz, J., Ruiz, M. and Gabriels, D. (2008). Influence of landuse on soil erosion risk in the Cuyaguaje watershed (Cuba). *Catena*, 74(1), 1-12.
- Shabani, H. and Delavar, M.A. (2015). Assessment of macronutrients spatial variation in the University of Zanjan, Iran. *Journal of Research and Construction*. (In Farsi) (In Press)
- Shinjo, H., Hirata, M., Konga, N. and Kosak, T. (2002). Evaluation of water erosion risk and recommendation for sustainable land use northeastern Syria. 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Thailand, Paper No. 1175.
- Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Jiang, G., Huan, J., Gao, J., Hartmann, R. and Gabriels, D. (2007). Effects of conservation tillage practices on winter wheat water use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Journal of Agricultural Water Management*, 87(3), 307-314.
- Suhua, F., Baoyuan, L., Heping, L. and Li, X. (2011). The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*, 84, 29-34.
- Terranova, O., Antronico, R., Coscarelli, R. and laquinta, P. (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (Southern Italy). *Geomorphology*, 112, 228-254.
- Thomas, G. W. (1982). *Exchangeable cations*, 159-165 pp. In: A. L. page, R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2<sup>nd</sup> ed. Agron Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

- Vaezi, A.R., Bahrami H.A., Sadeghi S.H.R. and mahdian, M.H. (2008). Evaluating Erosivity Indices of the USLE, MUSLE, RUSLE and USLE-M Models in Soils of a Semi-Arid Region in Northwest of Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 2 (4), 25-37. (In Farsi)
- Vaezi, A.R., Bahrami, H.A., Sadeghi, S.H.R. and Mahdian, M.H. (2008). Spatial variations of runoff in a port of calcareous soils of semi-arid region in northwest of Iran. *Journal Agricultural Science and Natural Resource*, 15(5), 213-225. (In Farsi)
- Wainwright, J. and Thornes, J.B. (2004). *Environmental Issues in the Mediterranean*. Routledge, pp, 200.
- Ye, Y.Q., Chen, G.J. and Fan, H. (2003). Impacts of the "Grain for Green" project on rural communities in the Upper Min River Basin, Sichuan, China. *Mountain Research and Development*, 23, 345-352.
- Zanjan Water Organization. (2011). *Study reports of Zanjan plain*. Zanjan Water Organization, Press, pp. 27-54. (In Farsi)
- Zhang, X., Cao, W., Guo, Q. and Wu, S. (2010). Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 283-293.
- Zhang, G. H., Wang, L. L., Tang, K. M., Luo, R. T. and Zhang, X. C. (2011). Effects of sediment size on transport capacity of overland flow on steep slopes. *Journal of Hydrological Science*. 56(7), 1289-1299.
- Zhang, H., El Kateb, H., Zhang, P. and Mosandl, R. (2013). Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*. 105, 1-10.
- Zhao, X., Huang, J., Gao, X., Wu, P. and Wang, J. (2014). Runoff features of pasture and crop slopes at different rainfall intensities, antecedent moisture contents and gradients on the Chinese Loess Plateau: A solution of rainfall simulation experiments. *Catena*, 119, 90-96.