

The Effect of Wheat Straw on Flow Characteristics and Rill Erosion in Wheat Rainfed Field

ALIREZA VAEZI^{1*}, MOHADESEH HEIDARI²

1. Associated Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. MSc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Zanjan, Iran.

(Received: Feb. 7, 2018- Revised: May. 9, 2018- Accepted: June. 12, 2018)

ABSTRACT

Rill erosion is one of the most important reasons of the soil lost in the plowed rainfed fields alongside the slope. Increasing infiltration rate in the soil and decreasing the erosivity of flow is essential for controlling rill erosion as well as increasing crop yield. This research was carried out to find out the effect of wheat straw on hydraulic characteristics of the flow and rill erosion in the wheat rainfed field in semi-arid region in Zanjan. The experiment was performed at seven straw mulch levels (0, 25, 50, 75, 100, 125 and 150 %) using the randomized complete block design with three replicates under the field conditions with plowing alongside the slope. At 100% level, 0.5 kgm⁻² equivalent to five tons per hectare of straw mulch was applied into the soil. The results indicated that the effects of wheat straw on flow velocity, flow power and rill erosion was significant ($p < 0.05$), while its effect on the hydraulic radius and shear stress wasn't statistically significant. These results were associated with a low depth of flow as affected by straw mulch in the furrow rills ($p > 0.05$). By increasing the wheat straw mulch level, the flow velocity, flow power and rill erosion decreased about 19, 23 and 55% respectively, as compared to the control treatment. There was a high correlation between the rill erosion and the flow velocity ($r=0.71$). The 100%-level of wheat straw mulch which decreased the flow power (34%) and the rill erosion (71%), was the most appropriate amount for decreasing rill erosion in rainfed wheat field. Generally, it can be concluded that the application of wheat straw mulch is a biological and proper practice for reducing erosivity of flow and controlling rill erosion in rainfed fields.

Keyword: Soil amendments, Shear stress, Flow velocity, Hydraulic radius, Flow power

تأثیر کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های جریان و فرسایش شیاری در کشتزار دیم گندم

علی‌رضا واعظی^۱ و محدثه حیدری^۲

۱. دانشیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۲۲)

چکیده

فرسایش شیاری یکی از مهمترین علل هدررفت خاک در کشتزارهای دیم شخم‌خورده در راستای شیب می‌باشد. افزایش مقدار نفوذ آب به خاک و کاهش نیروی فرساینده‌ی جریان برای مهار فرسایش شیاری و نیز افزایش عملکرد حائز اهمیت است. این پژوهش با هدف بررسی اثر کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و فرسایش شیاری در کشتزار دیم گندم در منطقه نیمه‌خشک در زنجان اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی و با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای با هفت سطح کاه و کلش گندم (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد) و شخم در جهت موازی با شیب انجام شد. در تیمار ۱۰۰ درصد، مقدار نیم کیلوگرم خاکپوش در هر مترمربع معادل با ۵ تن در هکتار مصرف شد. نتایج نشان داد که کاربرد کاه و کلش گندم باعث کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) سرعت و قدرت جریان و همچنین فرسایش شیاری شد؛ درحالی‌که تأثیر آن بر شعاع هیدرولیکی و تنش برشی معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). با افزایش سطح کاه و کلش گندم سرعت و قدرت جریان و همچنین فرسایش شیاری در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱۹، ۲۳ و ۵۵ درصد کاهش یافت. به دلیل پایین بودن عمق جریان آب در شیارهای کشت، مصرف کاه و کلش گندم تأثیری بر شعاع هیدرولیکی و تنش برشی نداشت. هم‌چنین بین فرسایش شیاری و سرعت جریان همبستگی بالا وجود داشت ($r = 0.71$). سطح ۱۰۰ درصد (پنج تن در هکتار) مصرف کاه و کلش گندم با کاهش ۳۴ و ۷۱ درصدی قدرت جریان و فرسایش شیاری در کشتزار دیم گندم، مناسب‌ترین اثربخشی را از نظر کاهش فرسایش شیاری داشت. در مجموع، کاربرد کاه و کلش گندم راهکاری مناسب و زیستی برای کاهش فرساینده‌ی جریان و مهار فرسایش شیاری خاک در کشتزارهای دیم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: افزودنی‌های خاک، تنش برشی، سرعت جریان، شعاع هیدرولیکی، قدرت جریان

مقدمه

فرسایش شیاری عبارت از جدا شدن و برداشت ذرات خاک به‌وسیله انرژی ضربه قطرات باران و رواناب، انتقال و هدایت این ذرات توسط جریان کم‌عمق در درون کانال‌های بسیار کوچک یا شیارها است (Duran et al., 2010). در دهه‌های گذشته، پژوهش‌های متعددی به منظور مطالعه فرآیند جدا شدن ذرات خاک توسط جریان آب انجام شده است. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که جدا شدن ذرات خاک به شدت تحت تأثیر متغیرهای هیدرولیکی مانند رژیم جریان، قدرت جریان، شیب، شعاع هیدرولیکی، سرعت جریان و غلظت رسوب است (Wirtz et al., 2013; Zhang et al., 2014; Wang et al., 2016; Cochrane and Flanagan, 1997).

پژوهشگران هیدرولیک جریان سطحی از معیارهای مختلف مانند شیب بحرانی و عدد فرود (Savat and De Ploy,

1982)، سرعت جریان بحرانی (Govers, 1985)، تنش برشی بحرانی (Prosser et al., 1995) و قدرت جریان بحرانی (Yu, 2003) برای بیان ویژگی‌های جریان استفاده نموده‌اند. در بین ویژگی‌های مختلف هیدرولیک جریان‌های سطحی، تنش برشی جریان بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. گسترش فرسایش شیاری به نیروی برشی آب و مقاومت خاک در برابر جدا شدن ذرات آن از یکدیگر بستگی دارد. در پژوهش‌های مختلف، نقش ویژگی‌های جریان در فرسایش شیاری مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا Prosser et al (1995) تنش برشی را برای بررسی کنش سطحی در خاک دست‌نخورده داخل فلوم با جریان ثابت به کار گرفتند و بیان کردند که مقدار تنش برشی به پوشش گیاهی سطح بستگی دارد. Toy et al (2002) بیان کردند که عامل اصلی تولید شیار و توزیع غیریکنواخت، تنش برشی در سطح دامنه است. Guo et al (2010) گزارش کردند که آستانه تشکیل شیار زمانی است که تنش برشی بر مقاومت زبری هیدرولیکی خاک چیره شود و این متأثر از میزان پوشش

سه شدت بارش (۳۵، ۶۵ و ۹۵ میلی‌متر بر ساعت) و پنج سطح خاکپوش (۱، ۲، ۲/۵، ۵، و ۷/۵ تن در هکتار) نشان دادند که میزان فرسایش خاک با افزایش خاکپوش کاه و کلش کاهش می‌یابد. Nzeyimana *et al.* (2017) گزارش کردند میزان فرسایش شیاری خاک با مصرف پنج نوع خاکپوش در مزارع قهوه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت.

کشاورزی دیم در ایران به خصوص در مورد گندم اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد؛ زیرا بخش عمده‌ای از اراضی زراعی کشور را به خود اختصاص داده است (Roustaii *et al.*, 2003). اغلب مناطق زیر کشت گندم دیم همواره در برابر خطر فرسایش قرار دارند. اراضی دیم در ایران کانون‌های اصلی و بحرانی فرسایش و تولید رسوب هستند (عادل‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین پوشش سطح خاک با کاه و کلش یک عمل بسیار مؤثر برای کنترل فرسایش خاک می‌باشد (Tasumi and Kimura, 2013). با وجود برخی مطالعات در این زمینه، هنوز تأثیر مصرف کاه و کلش در سطح خاک برای کاهش اثرات ویژگی‌های جریان بر فرسایش شیاری خاک مشخص نشده است. بنابراین، پژوهش‌های بیشتری برای درک بهتر رابطه بین شدت جدا شدن ذرات خاک و متغیرهای هیدرولیک مورد نیاز است (Zhang *et al.*, 2002). برای این منظور، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر مقادیر مختلف مصرف کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان آب و فرسایش شیاری در کشتزار دیم گندم بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در کشتزاری دیم با شیب جنوبی ۱۰ درصد واقع در محدوده دانشگاه زنجان در بین عرض جغرافیایی $35^{\circ} 25' 45''$ و $37^{\circ} 15' 24''$ شمالی و طول جغرافیایی $47^{\circ} 1' 12''$ و $49^{\circ} 52'$ شرقی طی فصل زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام گرفت. کشتزار مورد بررسی به روش شخم با گاواهن در جهت شیب تحت کشت گندم دیم قرار می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه دارای متوسط بارش سالانه در حدود ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. بارندگی‌ها اغلب به صورت برف در زمستان (۳۵/۲ درصد) و باران در بهار (۳۷/۲ درصد) رخ می‌دهند (Vaezi *et al.*, 2017). باران‌های با شدت کم‌تر از ۲۰ میلی‌متر بر ساعت بیش‌ترین فراوانی وقوع (بیش از ۶۰ درصد) را دارند (بشارت و رستمی، ۱۳۹۴)؛ باین‌حال رگبارهای تند که کم‌ترین فراوانی وقوع را دارند (کم‌تر از ۲ درصد) بیش‌ترین نقش را در وقوع فرسایش به ویژه در کشتزارهای دیم دارند. بر اساس

سنگ‌ریزه‌های سطحی خاک و برخی ویژگی‌های رواناب می‌باشد. Zhang *et al.* (2002) با بررسی جدا شدن ذرات خاک توسط جریان کم‌عمق سطحی را با استفاده از تنش برشی و قدرت جریان نشان دادند که میزان جدا شدن ذرات همبستگی بهتری با قدرت جریان نسبت به تنش برشی و یا قدرت واحد جریان دارد. Adelpur *et al.* (2006) با بررسی تأثیر جریان‌های سطحی بر فرسایش خاک نشان دادند که با نگهداری کاه و کلش روی خاک، تنش برشی جریان کاهش و مقاومت برشی خاک افزایش پیدا می‌کند. Knapen *et al.* (2007) و Cao *et al.* (2009) نشان دادند که قدرت جریان، شاخص بهتری از تنش برشی برای پیش‌بینی جدا شدن ذرات خاک است. Sadeghi *et al.* نشان دادند که مصرف کاه و کلش برنج موجب کاهش معنی‌دار هدررفت آب و خاک تحت باران شبیه‌سازی شده می‌شود.

از جمله روش‌های جلوگیری از هدررفت خاک (Soil Loss) استفاده از مالچ (Mulch) یا خاکپوش و پس‌ماندهای زراعی (Crop residues) است. خاکپوش شامل بقایای طبیعی یا مصنوعی است که به‌عنوان یک محافظ طبیعی در برابر نیروی فرساینده باران، از برخورد قطرات باران بر سطح خاک جلوگیری می‌کند و فرسایش را کاهش می‌دهد. از طرفی خاکپوش باعث کاهش سرعت و مقدار رواناب می‌شود. تأثیر پس‌ماندهای گیاهی در ویژگی‌های خاک و فرسایش در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که پوشش خاکپوش باعث افزایش عمق جریان رواناب و زبری هیدرولیکی و کاهش سرعت جریان می‌شود. یکی از انواع خاکپوش، بقایای گیاهی است که به‌عنوان یک عامل زبری عمل می‌کند و همچنین باعث بهبود ویژگی‌های خاک و کاهش فرسایش‌پذیری خاک و البته کاهش تولید رواناب می‌شود (Blanco and Lal, 2008). بقایای گیاهی نیز با تأثیر بر ویژگی‌های جریان و مقاومت خاک بر فرسایش شیاری اثر می‌گذارد (Center for Watershed Protection, 2001). در طول مراحل بحرانی استقرار گیاه، خاکپوش‌های آلی می‌توانند برای کاهش سرعت رواناب و حفظ فوری سطح خاک در مقابل نیروهای فرساینده باران و رواناب استفاده شوند (Smet *et al.*, 2011). Robichaud *et al.* (2013) نشان دادند که حضور خاکپوش کاه و کلش در خاک، ویژگی‌های خاک، هیدرولوژی و ویژگی‌های هیدرولیک رواناب را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهشی Robichaud *et al.* (2013) نشان دادند که حضور خاکپوش کاه و کلش در خاک، ویژگی‌های خاک، هیدرولوژی و ویژگی‌های هیدرولیک رواناب را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار می‌دهد. and Donjadee and Tingsanchali (2016) در آزمایشی با بارش شبیه‌سازی شده با



(الف)



(ب)

شکل ۱- نمایی از مصرف کاه و کلش گندم (الف) و ایجاد نوارها یا شیارهای کشت (ب)

اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان و فرسایش شیاری

جریانی با دبی ثابت ۲ لیتر بر دقیقه به وسیله دستگاه موتور پمپ آب از مخزن به درون شیارها هدایت شد. این مقدار جریان، کم‌ترین دبی جریان برای ایجاد فرسایش در شیارها بود که بر مبنای پیش‌آزمایش در شیارها انتخاب شد. وقوع چنین جریان‌هایی در رگبارهای شدید در اوایل بهار محتمل است. از بین ویژگی‌های جریان، ویژگی‌هایی مانند سرعت جریان، عمق، سطح مقطع جریان و محیط خیس شده مورد بررسی قرار گرفت. سرعت جریان سطحی با استفاده از پرمنگنات پتاسیم ($KMnO_4$) به‌عنوان یک ردیاب مشخص شد (Abrahams *et al.*, 1986). شعاع هیدرولیکی (h) با اندازه‌گیری عمق جریان (d) در شیار مشخص شد:

$$h = d \quad \text{رابطه (۱)}$$

تنش برشی جریان که از دیگر ویژگی‌های مهم جریان سطحی است، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Nearing *et al.*, 1991):

$$\tau = \rho g h s \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن: τ تنش برشی جریان (Pa)، ρ چگالی آب (kg m^{-3})، g شتاب جاذبه زمین ($m s^{-2}$)، R شعاع هیدرولیکی جریان (m) و S شیب هیدرولیکی ($m m^{-1}$) است. مقدار S بر اساس شیب زمین به دست آمد.

طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک بر اساس اطلاعات نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی کشور، به ترتیب زیریک و مزیک است و مطابق با شیوه طبقه‌بندی خاک آمریکا (Soil Survey Staff, 2010) خاک‌ها آهکی هستند. عمده واحدهای فیزیوگرافی در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای دشت دامنه‌ای آبرفتی و فلات‌ها هستند. مواد مادری زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل تراس‌های جوان آبرفتی است (Zarinabadi, 2014). شخم و کشت موازی شیب، عامل اصلی هدررفت خاک از کشتزارهای دیم منطقه است.

روش پژوهش

به‌منظور بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی جریان بر فرسایش شیاری در کشت دیم گندم، آزمایش بر روی اراضی شخم به روش سنتی صورت پذیرفت. آزمایش در هفت سطح مصرف کاه و کلش گندم شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد پوشش سطح در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی طی سال زراعی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶ انجام گرفت. مقدار خاکپوش کاه و کلش گندم در تیمار ۱۰۰ درصد برابر با ۵ تن در هکتار بود. این مقدار بقایا، طی چند سال کشت گندم قابل برگشت به خاک است. در زمان اجرای آزمایش، قیمت یک تن کاه و کلش گندم برابر با ۲۳۰۰۰۰۰ ریال بود.

برای مصرف کاه و کلش گندم در طول دامنه مطالعاتی، یک قطعه زمین دارای شیب جنوبی انتخاب شد. پس از آماده‌سازی بستر بذر (تسطیح زمین و شخم موازی شیب با گاواهن برگردان‌دار)، هفت سطح کاه و کلش گندم به سطح خاک اضافه شد. مقدار کاه و کلش مربوط به هر سطح، روی سطح خاک به‌طور یکنواخت پخش شد؛ به‌عنوان مثال در تیمار ۱۰۰ درصد خاکپوش، نیم کیلوگرم خاکپوش در هر مترمربع روی سطح خاک پخش شد. سپس با استفاده از دستگاه خطی‌کار، کاشت گندم انجام گرفت.

آزمایش مربوط به هر سطح از خاکپوش، در سه قطعه شیار که به‌طور یک در میان قرار داشتند و فاصله آنها از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر بود، اجرا شد. مجموع شیارهای مورد بررسی ۲۱ قطعه بود. عرض درونی هر شیار ۲۳ سانتی‌متر بود و طول آن ۱۰ متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). ابعاد کرت مربوط به هر تیمار خاکپوش (شامل سه شیار)، ۱ متر در ۱۰ متر بود. کرت‌های مربوط به هر سطح مالچ با فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر در جهت شیب قرار گرفتند. مساحت زمین تحت آزمایش نزدیک به ۱۶۰ مترمربع بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان و فرسایش شیاری در ۲۱ قطعه شیار (۱۲۶ داده)، قبل از تجزیه و تحلیل از نظر چگونگی توزیع آماری و تشخیص نرمال بودن آنها به روش چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفتند. تحلیل داده‌های مربوط به تنش برشی و قدرت جریان و فرسایش شیاری با استفاده از روش تجزیه واریانس صورت گرفته و مقایسه میانگین داده‌های هیدرولیکی جریان و فرسایش شیاری با استفاده از آزمون توکی انجام شد. از روابط رگرسیونی نیز به منظور بررسی رابطه بین میزان کاه و کلش گندم و ویژگی‌های جریان و فرسایش شیاری استفاده شد. برای رسم نمودار از محیط نرم‌افزاری Excel نسخه ۲۰۱۰ و هم‌چنین برای تجزیه آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک کشتزار

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به میانگین درصد شن، سیلت و رس، بافت خاک کشتزار لومی شنی بود. با توجه به مقدار آهک (۱۵/۶۱ درصد)، خاک کشتزار در گروه خاک‌های آهکی قرار دارد (Tan, 2005). میانگین هدایت الکتریکی ۲/۵۷ دسی زیمنس بر متر بود و خاک از نظر شوری در گروه خاک‌های غیر شور قرار گرفت (Bohn et al., 2002). خاک کشتزار به لحاظ داشتن محتوای اندک ماده آلی (کم‌تر از ۱/۵ درصد) و نیز ذرات پیونددهنده مانند رس، دارای خاکدانه‌های کوچک‌تر و به نوبه خود دارای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار پایین‌تری (۱/۱ میلی‌متر) بود (Bouajila and Gallali, 2008) که احتمال فروپاشی خاکدانه‌ها تحت تأثیر نیروی آب را افزایش می‌دهد. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (۱۱/۷۴ میلی‌اکی والان بر ۱۰۰ گرم) و درصد سدیم تبدالی خاک (۵/۵۹ درصد) پایین بود. نفوذپذیری خاک به دلیل فراوانی زیاد ذرات درشت و در نتیجه وجود منافذ درشت بیش‌تر و قرارگیری بر روی تشکیلات آبرفتی، بالا بود.

قدرت جریان نیز که از عامل‌های مؤثر بر فرسایش شیاری خاک می‌باشد با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Prosser and Rustomji, 2000).

$$\omega = \tau V \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن: ω قدرت جریان ($W m^{-2}$) و V سرعت جریان ($m s^{-1}$) را نشان می‌دهد. سرعت جریان با استفاده از ماده رنگی در شیاریها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری رسوب همزمان با کشت گندم در اوایل آبان ۱۳۹۵ آغاز و تا پایان دوره رشد گندم (آخر خرداد ماه ۱۳۹۶) ادامه یافت. اندازه‌گیری رواناب و غلظت رسوب با استفاده از ظروف پلاستیکی پس از رسیدن جریان به انتهای شیار به مدت یک ساعت صورت پذیرفت. فرسایش شیاری بر اساس هدررفت خاک (گرم) در واحد سطح شیار (مترمربع) و واحد زمان (ثانیه) برحسب گرم بر مترمربع در ثانیه به دست آمد.

تعیین ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار در نمونه‌های برداشت‌شده از خاک در ابتدای فصل رشد تعیین شدند. برای این منظور سه نمونه خاک از طول زمین مورد آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت و نهایتاً یک نمونه مرکب تهیه شد. نمونه خاک پس از گذرانده شدن از الک دو میلی‌متر، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Day, 1965)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (Klute, 1986)، درصد آهک به روش خنثی‌سازی به وسیله اسیدکلریدریک نرمال (Sadusky et al., 1987) و ماده آلی خاک به روش واکلی و بلک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. درجه شوری خاک بر مبنای رسانایی الکتریکی عصاره گل اشباع به‌وسیله دستگاه EC سنج مدل TetraCon 325, WTW GmbH ساخت آلمان اندازه‌گیری شد. پایداری خاکدانه‌ها در آب به روش الک تر (Yoder, 1936)، در خاکدانه‌های با قطر دو تا چهار میلی‌متر به مدت یک دقیقه (Akbari and Vaezi., 2015) بر مبنای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار تعیین شد. نفوذپذیری خاک با استفاده از استوانه مضاعف در شرایط مزرعه (Bouwer, 1986) تعیین شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار

ویژگی‌های فیزیکی	میانگین	انحراف معیار	ویژگی‌های شیمیایی	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۶۰/۱۶	۳/۶۴	آهک (%)	۱۵/۶۱	۳/۴۳
سیلت (%)	۲۰/۵۹	۳/۹۹	ماده آلی (%)	۱/۴۳	۰/۲۵
رس (%)	۱۹/۲۵	۳/۱۹	هدایت الکتریکی (dS/m)	۲/۵۷	۰/۴۳
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (mm)	۱/۰۹	۰/۳۶	سدیم تبدالی (%)	۵/۵۹	۲/۴۶
نفوذپذیری (cm/h)	۱۰/۰۲	۰/۴۲	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100g)	۱۱/۴۷	۱/۷۲

(2013) نشان دادند که سطوح مختلف خاکپوش کاه و کلش گندم بر میانگین سرعت جریان به طور معنی داری تأثیر داشت. بررسی های Poesen *et al* (1990) و Guo *et al* (2010) نیز نشان دادند که با افزایش پوشش سطحی، سرعت جریان کاهش یافت. Wang *et al* (2016) بیان کردند قدرت جریان به شدت تحت تأثیر شیب و سرعت جریان می باشد. با افزایش سرعت جریان آب، قدرت جریان نیز افزایش می یابد.

نتایج نشان داد که مقدار میانگین فرسایش شیاری در تیمارهای تحت مصرف کاه و کلش گندم (۲۵ تا ۱۲۵ درصد کاه و کلش) حدود ۰/۰۰۹ گرم بر مترمربع بر ثانیه شد که حدود ۵۵ درصد کم تر از تیمار شاهد (۰/۰۲۱ گرم بر مترمربع بر ثانیه) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کاه و کلش گندم اثری معنی دار بر فرسایش شیاری داشت ($P < 0/01$). در پژوهشی Unger Ji and (2001) دریافتند که کاربرد یک خاکپوش مانند کاه و کلش گندم بر روی سطح خاک، برای ذخیره آب خاک و افزایش عمق نفوذ آب سودمند است که می تواند منجر به کاهش فرسایش شیاری خاک شود. همچنین Donjatee and Tingsanchali (2016) نتایج مشابهی گزارش کردند که در آن میزان فرسایش خاک با افزایش خاکپوش کاهش می یابد؛ به عنوان مثال، خاکپوش نی برنج در سطح پنج تن در هکتار، رواناب و رسوب به ترتیب در حدود ۴۷/۵ و ۶۲/۹ درصد کاهش داد. در پژوهشی Khera and Bhatt (2006) نشان دادند که استفاده از خاکپوش کاه و کلش در تمام سطح کرت، مقدار رواناب را در مقایسه با کرت شاهد تا ۳۳ درصد کاهش داد.

تأثیر کاه و کلش بر ویژگی های جریان و فرسایش شیاری
مقادیر میانگین متغیرهای هیدرولیکی جریان و فرسایش شیاری در سطوح مختلف کاه و کلش گندم و تجزیه واریانس آنها در جدول (۲) ارائه شده است. مصرف خاکپوش کاه و کلش موجب تغییرات ویژگی های هیدرولیکی جریان شد. مقدار میانگین سرعت، تنش برشی و قدرت جریان در تیمارهای مورد بررسی به ترتیب ۰/۰۹ متر بر ثانیه، ۴۴/۱۳ پاسکال و ۴/۰۳ وات بر مترمربع بود. در تیمارهای تحت مصرف کاه و کلش گندم (۲۵ تا ۱۲۵ درصد کاه و کلش)، میانگین سرعت (۰/۰۸۷ متر بر ثانیه) و قدرت جریان (۳/۹ وات بر مترمربع) به ترتیب ۱۸ و ۲۳ درصد کم تر از تیمار شاهد بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کاه و کلش اثر معنی دار بر سرعت جریان و قدرت جریان داشت ($p < 0/05$) اما تأثیر آن بر شعاع هیدرولیکی و تنش برشی جریان غیر معنی دار بود که دلیل آن می تواند وقوع جریان کم عمق باشد. در واقع، کاه و کلش به عنوان مانعی در برابر جریان عمل کرده و از افزایش سرعت آن جلوگیری می کند که این کار باعث نفوذ بیشتر آب به خاک می شود؛ باین حال تغییری در افزایش عمق جریان رخ نمی دهد. افزایش خاکپوش کاه و کلش گندم موجب افزایش بیشتر میزان نفوذ آب به خاک نسبت به سطح بدون خاکپوش (Sharma *et al*, 2011) و افزایش زبری سطح (Rieke-Zapp *et al*, 2007) می شوند. از طرفی خاکپوش به کار رفته در خاک مقاومت جداولی ذرات خاک را توسط جریان سطحی افزایش می دهد. وجود مواد آلی همراه با ذرات رس می تواند ثبات خاکدانه ها را افزایش دهد (Mulumba and Lal, 2008). در نتیجه عمق جریان، با افزایش مصرف کاه و کلش به طور جزئی کاهش می یابد. در مطالعه ای Rahma *et al*

جدول ۲. میانگین ویژگی های هیدرولیکی و تجزیه واریانس آنها در سطوح مختلف کاه و کلش گندم

تجزیه واریانس				میانگین سطوح کاه و کلش	منابع تغییر
P	F	میانگین مربعات	درجه آزادی		
۰/۰۰۶	۵/۰۶	۰/۰۱	۶	۰/۰۹	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
۰/۱۵۸	۱/۸۷	۰/۰۰	۶	۰/۰۸	شعاع هیدرولیکی (متر)
۰/۱۵۸	۱/۸۶	۱۱۷/۳۳	۶	۴۴/۱۳	تنش برشی جریان (پاسکال)
۰/۰۴۲	۲/۹۹	۶/۰۱	۶	۴/۰۳	قدرت جریان (وات بر مترمربع)
۰/۰۰۶	۵/۰۱	۰/۰۱	۶	۰/۰۱	فرسایش شیاری (گرم بر مترمربع بر ثانیه)

در تیمار ۱۰۰ درصد کاه و کلش (۰/۰۸۰ متر در ثانیه) بود که نشانگر کاهش ۲۴ درصد در سرعت جریان بود. مقایسه میانگین بین سطوح مختلف کاه و کلش گندم نشان داد که تمامی سطوح غیر از سطح ۲۵ درصد خاکپوش در مقایسه با تیمار

تغییرات ویژگی های هیدرولیکی جریان در سطوح مختلف کاه و کلش در شکل (۲) نشان داده شده است. با افزایش سطح کاه و کلش گندم سرعت جریان کاهش یافت. بیشترین سرعت جریان در تیمار شاهد (۰/۱۰۵ متر در ثانیه) و کمترین مقدار آن

گرفت. همان‌طور که شکل (۲) نشان می‌دهد، با افزایش کاه و کلش گندم، مقدار سرعت جریان و قدرت جریان به صورت خطی کاهش یافت ($P < 0.05$). در تحقیقات پیشین با بررسی اثر خاکپوش کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک دریافتند که افزایش کاربرد خاکپوش کاه و کلش گندم موجب بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک و افزایش نفوذ آب به خاک نسبت به سطح بدون خاکپوش می‌شوند (Sharma et al, 2011). یکی از اثرات اصلی مصرف کاه و کلش اثر آن بر افزایش زبری سطح خاک شیار بود. Jordan et al (2010) نیز نشان دادند که با افزایش میزان کاه و کلش گندم شدت و سرعت جریان به دلیل افزایش زبری سطح کاهش یافت. بررسی رابطه بین مقدار فرسایش شیار و مقدار مصرف کاه و کلش گندم نشان داد که رابطه خطی کاهشی بین مقدار فرسایش شیار و مقدار مصرف کاه و کلش وجود داشت ($P < 0.05$ و $R^2 = 0.75$).

همبستگی بین فرسایش شیار و ویژگی‌های هیدرولیکی جریان تحت تأثیر مصرف کاه و کلش گندم در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که فرسایش شیار همبستگی بسیار نزدیکی و مثبت با سرعت جریان و قدرت جریان دارد. دلیل این امر این است که مصرف کاه و کلش گندم در سطح خاک باعث افزایش اصطکاک سطحی می‌شود و سرعت جریان کم شده، فرسایش شیار کاهش می‌یابد. بین فرسایش شیار و مقدار مصرف کاه و کلش در خاک همبستگی منفی برقرار بود ($P < 0.01$ ، $r = 0.71$). در گزارشی Rieke-Zapp et al (2007) بیان کردند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی، زبری و اصطکاک سطح خاک را افزایش و سرعت جریان سطحی را کاهش می‌دهد. در پژوهشی Wang et al (2016) نشان دادند سرعت جریان و قدرت جریان ارتباط نزدیکی با جدا شدن ذرات خاک در جریان کم‌عمق داشته و با افزایش سرعت جریان، مقدار جدا شدن ذرات خاک نیز افزایش می‌یابد. بین جدا شدن ذرات خاک و تنش برشی رابطه ضعیفی برقرار است. Nzeyimana et al (2017) بیان کردند که خاکپوش باعث افزایش استحکام خاک، کاهش اختلال خاک، افزایش ظرفیت نفوذ خاک و در نتیجه افزایش مقاومت خاک در برابر جدا شدن ذرات خاک توسط جریان زمینی می‌شود. Tingsanchali and Donjadee (2016) بیان کردند با افزایش مصرف خاکپوش کاه و کلش برنج و چمن مقدار فرسایش خاک کاهش یافت. پژوهش حاضر نشان داد که سرعت جریان آب در شیار مهمترین ویژگی هیدرولیکی جریان از نظر تأثیر فرسایش شیار در کشتزار دیم است.

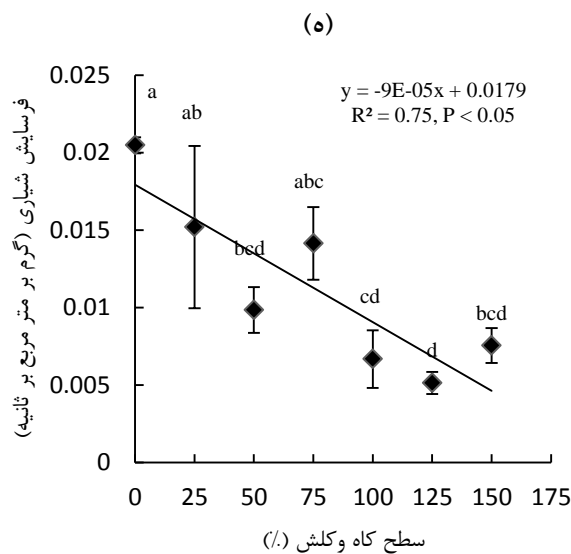
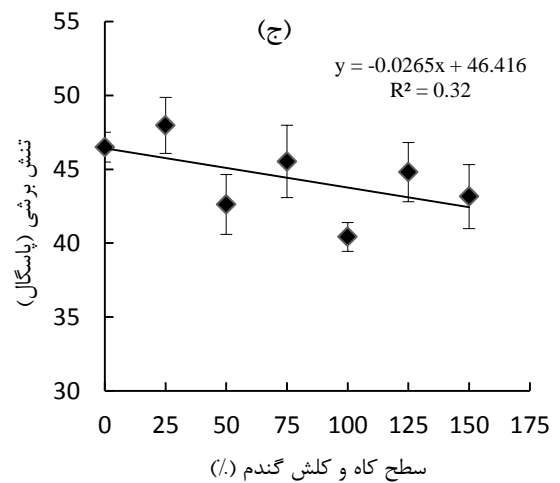
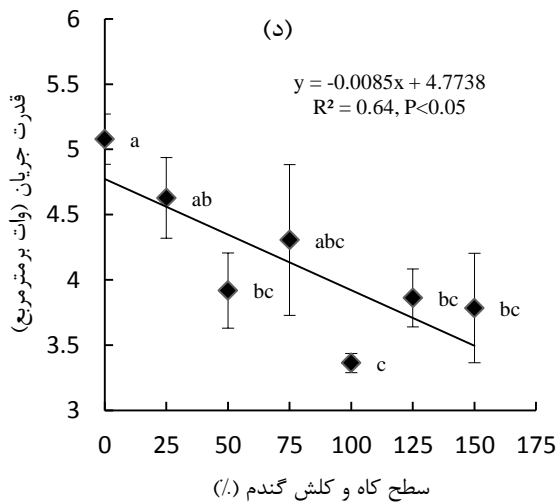
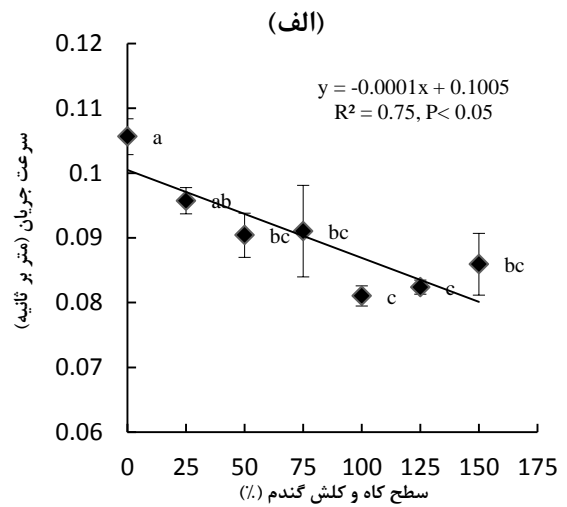
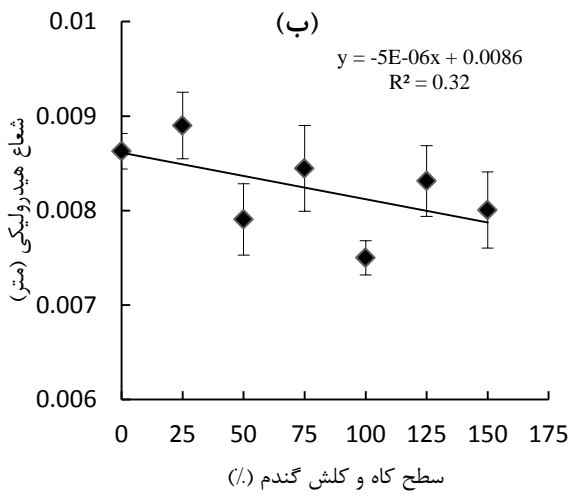
شاهد اثر معنی‌داری بر سرعت جریان داشتند. سرعت جریان به دلیل افزایش زبری سطح کاهش یافت.

بیشترین مقدار میانگین قدرت جریان نیز در تیمار شاهد با ۵/۰۸ وات بر مترمربع می‌باشد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ۱۰۰ درصد کاه و کلش (۳/۳۷ وات بر مترمربع) مشاهده شد که بیانگر کاهش ۳۴ درصدی در قدرت جریان بود. دلیل این امر کاهش سرعت جریان آن در اثر افزایش درصد کاه و کلش گندم می‌باشد. به عبارت دیگر با توجه به رابطه‌ی مورد استفاده برای محاسبه قدرت جریان (رابطه ۲) مشخص می‌شود که کاهش سرعت جریان سبب کاهش شدید مقدار قدرت جریان می‌شود. بیشترین کاهش در سرعت جریان و قدرت جریان در سطح ۱۰۰ درصد مصرف کاه و کلش (معادل با پنج تن در هکتار) رخ داد. سطح ۱۰۰ درصد کاه و کلش بیشترین تأثیر را روی متغیرهای هیدرولیکی داشت. هزینه مصرف این مقدار کاه و کلش در یک هکتار حدود ۲۳۰۰۰۰۰ ریال است. این مقدار کاه و کلش را می‌توان به صورت تدریجی با حفظ بقایای گیاهی در زمین و افزودن مقادیر کاه و کلش طی چند سال به خاک افزود. بیشترین مقدار تنش برشی در تیمار شاهد (۴۷/۹۸ پاسکال) و کم‌ترین مقدار آن نیز در سطح ۱۰۰ درصد کاه و کلش گندم (۴۰/۴۳ پاسکال) شد. همچنین بیشترین مقدار شعاع هیدرولیکی در سطح ۲۵ درصد کاه و کلش گندم (هشت میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار آن در سطح ۱۰۰ درصد کاه و کلش گندم (هفت میلی‌متر) بود. هر دو متغیر هیدرولیکی با تغییرات سطح کاه و کلش گندم از روند کاهش جزئی پیروی کردند.

بررسی مقدار فرسایش شیار بین سطوح مختلف مصرف کاه و کلش نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش شیار در تیمار شاهد (۰/۰۲۱ گرم در مترمربع در ثانیه) و کم‌ترین مقدار آن در سطح ۱۲۵ درصد کاه و کلش (۰/۰۰۵ گرم در مترمربع در ثانیه) بود. تیمار ۱۰۰ درصد تفاوتی معنی‌دار با تیمار ۱۲۵ درصد از این نظر نشان نداد و در آن، کاهش فرسایش شیار نسبت به تیمار شاهد حدود ۷۱ درصد (۰/۰۰۶ گرم در مترمربع در ثانیه) بود. سرعت جریان یک ویژگی مهم هیدرولیکی جریان است. با کاهش سرعت جریان، انرژی جنبشی و قدرت جریان کاهش می‌یابد. بنابراین فرسایش شیار با کاهش سرعت جریان کاهش می‌یابد.

رابطه ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و فرسایش شیار با مقدار کاه و کلش

رابطه بین مقدار مصرف کاه و کلش گندم و ویژگی‌های هیدرولیکی جریان با استفاده از تابع خطی مورد بررسی قرار



شکل ۲. تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و فرسایش شیبی بر اثر مصرف کاه و کلش گندم در خاک (الف) سرعت جریان، (ب) شعاع هیدرولیکی جریان، (ج) تنش برشی جریان، (د) قدرت جریان، (ه) فرسایش شیبی

جدول ۳. همبستگی بین فرسایش شیاری و ویژگی‌های هیدرولیکی جریان تحت تأثیر مصرف کاه و کلش گندم (n=۲۱)

کاه و کلش گندم	سرعت جریان	شعاع هیدرولیکی	تنش برشی	قدرت جریان	فرسایش شیاری
کاه و کلش گندم	۱				
سرعت جریان	۰/۷۱**				
شعاع هیدرولیکی	۰/۳۷ ^{ns}	۱			
تنش برشی	۰/۷۲**	۱/۰۰***	۱		
قدرت جریان	۰/۹۴**	۰/۸۹**	۰/۸۹**	۱	
فرسایش شیاری	۰/۷۲**	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۶۳**	۱

ns, **, *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹/۹۹ درصد، ۹۹ درصد و غیر معنی‌دار

نتیجه‌گیری

جریان موجب کاهش قدرت جریان آب و تأثیر آن بر جدا شدن ذرات از شیار کشت داشت. از این رو مقدار فرسایش شیاری نیز کاهش یافت. سطح ۱۰۰ درصد مصرف کاه و کلش گندم معادل با پنج تن در هکتار، مناسب‌ترین مقدار مصرف کاه و کلش در سطح خاک برای کاهش سرعت و قدرت جریان و نیز فرسایش شیاری بود. این پژوهش نشان داد که با حفظ بقایای گیاهی در سطح زمین و افزودن مقادیر کاه و کلش در هر سال می‌توان پس از چند سال مقدار کاه و کلش موجود در خاک را به حد مناسب رساند و از هدررفت خاک ناشی از جریان شیاری در کشتزارهای دیم جلوگیری کرد.

مصرف کاه و کلش گندم در سطح خاک، ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در شیارهای کشت دیم را تحت تأثیر قرار داد؛ به طوری که با افزایش مصرف کاه و کلش، سرعت جریان و قدرت جریان به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. همچنین مقدار فرسایش شیاری با افزایش مقدار مصرف کاه و کلش گندم به صورت خطی کاهش یافت ($R^2 = 0/75$). فرسایش شیاری بیش‌تر تحت تأثیر سرعت جریان قرار داشته است ($r = 0/71$). به عبارتی وجود کاه و کلش گندم در خاک باعث افزایش جذب و نفوذ بیش‌تر آب در خاک شده، سرعت جریان کاهش یافت. کاهش سرعت

REFERENCES

- Abrahams, A. D., Parsons, A. J. and Luk, S. H. (1986). Field measurement of the velocity of overland flow using dye tracing. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11(6), 653-657.
- Akbari, S. and Vaezi, A.R. (2015). Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-arid region, north west of Zanjan. *Water and Soil Science*. 25(2), 65-77. (In Farsi)
- Adelpur, A.A., Soufi, M. and Behnia, A.K. (2006). Evaluation of the impact of mulches in rainfed farms on soil conservation in the arid and semi-arid region in south of Iran. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*. 13(2), 1-8.
- 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.
- Blanco, H. and Lal, R. (2008). Principles of Soil Conservation and Management: *Springer Science Business Media BV*, pp. 626.
- Bohn, H. L., Myer, R. A. and O'Connor, G. A. (2002) *Soil Chemistry* (3th ed.). Canada, John Wiley and Sons, Inc.
- Bouajila, A. and Gallali, T. (2008). Soil organic carbon fractions and aggregate stability in carbonated and no carbonated soils in Tunisia. *Journal of Agronomy*, 7(2), 127-137.
- Bouwer H. (1986) Intake rate: Cylinder infiltrometer. P. 825-844, In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical methods*. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of American, Inc., Madison.
- Cao, L., Zhang, K. and Zhang, W. (2009). Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena*, 76(2), 155-162.
- Center for Watershed Protection. (2001). Mats and blankets. Erosion and Sediment Control Fact Sheet 9. *Center for Watershed Protection*, Ellicott City, MD. pp 371.
- Cochrane, T. A. and Flanagan, D. C. (1997). Detachment in a simulated rill. *Transactions of the ASAE*, 40(1), 111-119.
- Day, P. R. (1965). Particle fractionation and particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*, (methods of soil analyze), 545-567.
- Donjadee, S. and Tingsanchali, T. (2016). Soil and water conservation on steep slopes by mulching using rice straw and vetiver grass clippings. *Agriculture and Natural Resources*, 50(1), 75-79.
- Duran., Z.V.H., Garcia, T.I., Francia, M.J.R. and Muriel, F.J.L. (2010). Soil erosion: causes processes and effects. In A.J. Fournier (Ed.), *Soil Erosion: Causes, Processes and Effects*. Nova

- Science Publishers, Hauppauge, New York, USA*, pp. 1-36.
- Govers, G. (1985). Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion. *Catena*, 12(1), 35-49.
- Guo, T., Wang, Q., Li, D. and Zhuang, J. (2010). Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope of fallow land in the semi-arid loess region of northwestern China. *Journal of Soils and Sediments*, 10(6), 1200-1208.
- Ji, S. and Unger, P. W. (2001). Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 442-448.
- Jordan, A., Zavala, L. M. and Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81(1), 77-85
- Klute, A. (1986). Methods of Soil Analysis. Part 1 (Physical and Mineralogical Methods). *American Society of Agronom Madison*. No.9.
- Knapen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels, G. and Nachtergaele, J. (2007). Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 80(1), 75-109.
- Mulumba, L. N. and Lal, R. (2008). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98(1), 106-111.
- Nearing, M. A., Bradford, J. M. and Parker, S. C. (1991). Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 55(2), 339-344.
- Nzeyimana, I., Hartemink, A. E., Ritsema, C., Stroosnijder, L., Lwanga, E. H. and Geissen, V. (2017). Mulching as a strategy to improve soil properties and reduce soil erodibility in coffee farming systems of Rwanda. *Catena*, 149, 43-51.
- Poesen, J., Ingelmo-Sanchez, F. and Mucher, H. (1990). The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(7), 653-671.
- Prosser, I. P. and Rustomji, P. (2000). Sediment transport capacity relations for overland flow. *Progress in Physical Geography*, 24(2), 179-193.
- Prosser, I. P., Dietrich, W. E. and Stevenson, J. (1995). Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley. *Geomorphology*, 13(1-4), 71-86.
- Rahma, A. E., Lei, T., Shi, X., Dong, Y., Zhou, S. and Zhao, J. (2013). Measuring flow velocity under straw mulch using the improved electrolyte tracer method. *Journal of Hydrology*, 495, 121-125.
- Rieke-Zapp, D., Poesen, J. and Nearing, M. A. (2007). Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(7), 1063-1076.
- Robichaud, P. R., Jordan, P., Lewis, S. A., Ashmun, L. E., Covert, S. A. and Brown, R. E. (2013). Evaluating the effectiveness of wood shred and agricultural straw mulches as a treatment to reduce post-wildfire hillslope erosion in southern British Columbia, Canada. *Geomorphology*, 197, 21-33.
- Roustaii, M., Hosseini, S. K., Hossein Pour, T. and Kalate, M. (2003). A Study of Adaptability and Stability of Grain Yield in Advanced Bread Wheat Genotypes in Warm and Semi-Warm Dryland Areas. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(2), 427-436. (In Farsi)
- Sadusky, 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 of America Journal*, 51(6), 1460-1465.
- Savat, J. and De Ploy, J. (1982). Sheetwash and rill development by surface flow. In Bryan RB and Yair A (ed.). *Badland Geomorphology and Piping*, 231-247.
- Sharma, P., Abrol, V. and Sharma, R. K. (2011). Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize-wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. *European Journal of Agronomy*, 34(1), 46-51.
- Smet, T., Poesen, J., Bhattacharyya, R., Fullen, M.A., Subedi, M., Booth, C.A., Kertesz, A., Szalai, Z., Toth, A., Jankauskas, B. and Jankauskiene, G. (2011). Evaluation of biological geotextiles for reducing runoff and soil loss under various environmental conditions using laboratory and field plot data. *Land Degradation & Development*, 22(5), 480-494.
- Soil Survey Staff. (2010). Keys to Soil Taxonomy, 11th edn. USDA-Natural Resources Conservation Service: Washington, DC.
- Tan, K.H. (2005). Soil sampling preparation and Analysis. 2nd edition. Taylor and Francis/ CRC press
- Tasumi, M. and Kimura, R. (2013). Estimation of volumetric soil water content over the Liudaogou river basin of the Loess Plateau using the SWEST method with spatial and temporal variability. *Agricultural Water Management*, 118, 22-28.
- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G. (2002). Soil erosion processes, prediction, measurement under simulated rainfall. *Soil Science*, 150: 787-798.
- Vaezi, A.R., Abbasi, M., Bussi, G. and Keesstra, S. (2017). Modeling sediment yield in semi-arid pasture micro-catchments, NW Iran. *Land Degradation and Development*, 28(4), 1274-1286.
- Walkley, A. and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, D., Wang, Z., Shen, N. and Chen, H. (2016). Modeling soil detachment capacity by rill flow

- using hydraulic parameters. *Journal of Hydrology*, 535, 473-479.
- Wirtz, S., Seeger, M., Remke, A., Wengel, R., Wagner, J. F., and Ries, J. B. (2013). Do deterministic sediment detachment and transport equations adequately represent the process-interactions in eroding rills? An experimental field study. *Catena*, 101, 61-78.
- Yoder, R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Agronomy Journal*, 28(5), 337-351.
- Yu, B. (2003). A unified framework for water erosion and deposition equations. *Soil Science Society of America Journal*, 67(1), 251-257.
- Zarinabadi, A. (2014). Soil erosion and yield of wheat under the influence of plow direction in the slope varying degrees. M.Sc. Thesis, Agriculture Faculty. *University of Zanjan*. (In Farsi)
- Zhang, G. H., Liu, B. Y., Nearing, M. A., Huang, C. H. and Zhang, K. L. (2002). Soil detachment by shallow flow. *Transactions of the ASAE*, 45(2), 351.
- Zhang, Q., Dong, Y., Li, F., Zhang, A., and Lei, T. (2014). Quantifying detachment rate of eroding rill or ephemeral gully for WEPP with flume experiments. *Journal of Hydrology*, 519, 2012-2019.