

## بررسی مقایسه‌ای آستانه‌های هیدرولیک جریان فرسایش خندقی در کاربری‌های مختلف اراضی (مطالعه موردی: منطقه قصر شیرین، استان کرمانشاه)

- ❖ خسرو شهبازی\*؛ استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ایران.
- ❖ علی سلاجقه؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ محمد جعفری؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ حسن احمدی؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ علی اکبر نظری سامانی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ محمد خسرو شاهی؛ دانشیار پژوهشی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ایران.

### چکیده

پیامدهای فرسایش خندقی در اراضی ماری به دلیل استفاده نامناسب از اراضی از جمله آبیاری و شخم غیراصولی، چرای دام و تخریب پوشش گیاهی قابل توجه است. هدف از این پژوهش مقایسه آستانه‌های هیدرولیک جریان در سه کاربری کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر بود که در اراضی ماری منطقه قصر شیرین در استان کرمانشاه به عمل آمد. به این منظور، با استقرار نه پلات صحرایی (فلوم) در کاربری‌ها، ویژگی‌های هیدرولیک جریان مؤثر بر آستانه‌های فرسایش خندقی شامل دبی، سرعت جریان، اعداد فرود و رینولدز، ضریب دارسی، تنش برشی، پوشش گیاهی و ابعاد بالاکنند مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که آستانه حداقل دبی برای ایجاد بالاکنند در کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر به ترتیب ۱/۵۳، ۱۲/۰ و ۴/۴۹ لیتر در ثانیه بود که در کاربری مرتع متوسط به دلیل داشتن پوشش گیاهی متراکم‌تر بیشتر بود. عدد فرود در کاربری‌ها با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند، اما عدد رینولدز به ترتیب کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و فقیر ۳۱۱۳، ۲۶۰۹۲ و ۹۵۲۵ به دست آمد که در کاربری مرتع متوسط بیشتر بود. متوسط تنش برشی در آستانه فرسایش خندقی برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر به ترتیب ۱۲/۱۲، ۱۴/۰۱ و ۹/۲۸ نیوتن بر متر مربع بود که در هر سه کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشتند. بنا بر نتایج این تحقیق، نوع کاربری اراضی نقش تعیین‌کننده‌ای از طریق تغییر پوشش گیاهی در آستانه هیدرولیک جریان دارد و به همین دلیل کاربری مرتع متوسط با پوشش گیاهی نسبتاً متراکم نقش کلیدی در افزایش آستانه‌های فرسایش خندقی داشتند.

**واژگان کلیدی:** آستانه‌های فرسایش خندقی، تنش برشی، هیدرولیک جریان، کاربری زمین، قصر شیرین

## ۱. مقدمه

منابع آب و خاک و گیاهان، دامنه فرسایش خندقی را فراتر از نوع معینی از سازندهای زمین شناسی، شرایط توپوگرافی و نوع خاک گسترش داده است [۵].

یکی از اقدامات ضروری پیرامون فرسایش خندقی شناخت فرآیندهای مؤثر و آستانه‌های آن بر حسب شرایط کلی زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و اقلیم است که هر یک به نوبه خود ویژگی‌های متعددی را در بر دارند که بر حسب شرایط محلی متفاوت است. در این میان، آستانه‌های هیدرولیک جریان به شکل ملموس‌تری بازتابی از شرایط شکل‌گیری و توسعه خندق است [۴۲]. براساس نظریه هورتون تنها زمانی که انرژی هرزاب از مقدار مقاومت ذرات خاک بیشتر شود حالت چاله مانند در سطح زمین ایجاد شده و بالاکنند نمایان می‌گردد که با تنش برشی بر اساس ویژگی‌های هیدرولیک جریان از جمله عدد فرود، تنش برشی بحرانی، سرعت جریان و دبی جریان قابل ارزیابی است [۳۱ و ۴۷] که شدیداً متأثر از کاربری اراضی است.

معمولاً آستانه فرسایش خندقی در خاک‌ها و سازندهای مقاوم بیشتر است [۴۳]، اما نقش کاربری اراضی به دلیل تأثیری که بر روی پوشش گیاهی و ماده آلی خاک دارد، برجسته‌تر است. بر این اساس، زراعت و تغییر پوشش گیاهی به عنوان عامل گسترش و تجدید فعالیت خندق‌های جانبی در امتداد آبراهه‌های فصلی است [۴۴]. در این اراضی شخم مفرط آستانه هیدرولیک جریان مؤثر بر فرسایش خندقی را به شدت کاهش داده و میزان تشکیل و گسترش آن را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد [۲۲ و ۴۰]. همچنین چرای مفرط و جنگل‌زدایی از طریق تخریب ساختمان خاک و ایجاد رواناب موجب کاهش آستانه فرسایش خندقی می‌گردد [۲۱].

تحقیقات متعدد نشان داده است که تغییر حد بحرانی (آستانه) هریک از مشخصات هیدرولیک جریان تابع عوامل مختلفی است، اما پوشش گیاهی نقش قابل توجهی در این زمینه دارد و به همین دلیل محققین تأثیرات مقاومت برشی ناشی از پوشش گیاهی را طی

فرسایش خندقی نقش قابل توجهی در تخریب سرزمین به دلیل اثرات درون حوزه‌ای و برون حوزه‌ای، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک دارد. این فرسایش از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که بسته به شدت عوامل مختلف بین ۱۱ تا ۴۹ درصد از کل فرسایش آبی جهان را شامل می‌شود [۳۸]. گسترش روزافزون این فرسایش باعث تشدید رواناب، سیل و غیرقابل استفاده شدن اراضی می‌شود و در مواردی که بهره‌برداری از منابع خاک، آب و پوشش گیاهی متناسب با توان‌های طبیعی و شرایط محیطی نباشد، موجب تغییرات قابل ملاحظه سرزمین می‌گردد که در چنین حالتی پیامدهای زیان بار اقتصادی و اجتماعی، رسوبزایی و افزایش گرمای زمین از طریق انتشار کربن آلی بیشتر است [۱۴ و ۴۳].

مسلماً شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی و کاربری اراضی ایران زمینه‌های تشکیل و گسترش فرسایش خندقی با اشکال متنوع و شدت‌های مختلف به‌وجود آورده است که در مناطق نیمه‌خشک زاگرس و البرز قابل ملاحظه است. در چنین مناطقی شروع فرسایش خندقی با تمرکز رواناب و جریان‌ات سطحی ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌ویژه بهره‌برداری نامناسب از اراضی مانند شخم غلط، آتش‌سوزی، عملیات عمرانی و تخریب پوشش گیاهی رخ می‌دهد که در نواحی مدیترانه‌ای بیشتر متداول است [۳۰، ۴۲، ۴۵ و ۴۷]. فرسایش خندقی در ایران گسترش وسیعی در اراضی مارنی، لسی، دشت‌ها و اراضی حاشیه رودخانه‌ها دارد که تحت تأثیر شرایط اقلیمی و شیوه بهره‌برداری از اراضی مانند شخم بی‌رویه، آبیاری غیر اصولی، چرای مفرط دام، راه‌سازی و از همه مهم‌تر تخریب پوشش گیاهی، تشدید خواهد شد. معمولاً مناطق مارنی نسبت به فرسایش خندقی آسیب پذیرتر هستند [۳۹]. افزون بر این، پیچیده بودن چگونگی شکل‌گیری و روند رشد و گسترش آن در شرایط مختلف محیطی و فعالیت‌های متنوع و مخرب انسانی در بهره‌برداری از

خندقی بر اساس اندازه‌گیری مؤلفه‌های هیدرولیک جریان در کاربری‌های مختلف است که تحت یک مطالعه موردی در منطقه قصرشیرین استان کرمانشاه انجام گرفت. منطقه مطالعاتی به دلیل مارنی بودن و کاربری نامناسب از جمله شخم غیر اصولی و چرای مفرط دام نسبت به فرسایش خندقی حساس است.

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی قصرشیرین در غرب استان کرمانشاه با مساحت ۱۰۷۱۰ هکتار در ۳۵°، ۴۵' تا ۴۶° و ۴۵' طول شرقی و ۲۵°، ۳۵' تا ۲۹°، ۳۳' عرض شمالی با ارتفاع ۱۸۰ تا ۳۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). توپوگرافی این منطقه به شکل اراضی نسبتاً کم شیب حاصل از سازند مارنی آجاجاری است که به شکل دشت سر دیده می‌شود. حالت ناهمواری این منطقه متأثر از چینه شناسی این سازند است که تناوبی از مارن و ماسه سنگ است. میانگین بارش سالانه حدود ۳۷۰ میلی‌متر و دارای اقلیم نیمه‌خشک متعادل است. میانگین دمای سالانه ۲۲/۵ سانتیگراد که در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۳۵/۱ و در خنک‌ترین ماه سال (بهمن) ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی سالانه ۳۷۰ میلی‌متر است که بارش‌های مؤثر از آبان ماه شروع و تا اردیبهشت ماه ادامه دارد. به طور میانگین ماه بهمن با ۸۰/۳ میلی‌متر پر بارانترین و ماه مرداد بدون بارندگی خشک‌ترین ماه سال است.

### ۲.۲. تهیه نقشه ژئومورفولوژی

در این مرحله ابتدا نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی تهیه شد و سپس محدوده سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از GPS کنترل میدانی گردید. نقشه پراکنش فرسایش خندقی با بررسی دقیق میدانی تهیه شد. در مرحله بعدی نقشه‌های توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع)

تحقیقات میدانی بررسی کرده‌اند. نتایج غالب این تحقیقات به افزایش قابل توجه حد بحرانی ویژگی‌های هیدرولیک جریان بر اثر پوشش گیاهی در مقایسه با خاک لخت تأکید دارد [۴۰]. این مورد تنها به تاج پوشش گیاهی محدود نشده و نقش ارزنده ریشه گیاهان نیز در این زمینه قابل تأمل است. بر اساس تحقیقاتی در کالیفرنیا آمریکا وجود ریشه‌ها در خاک، مقاومت برشی سطح خاک را تا سه برابر افزایش داد [۴]. همچنین تحقیق در زمینه نحوه وقوع بالاکنند نشان داد که عامل انرژی جریان اهمیت دارد در حالی که برای گسترش خندق عامل مساحت بالادست اهمیت بیشتری دارد [۳۱] و [۱۵]. در مجموع تغییر کاربری زمین به عنوان یک شاخص اساسی تغییرات پوشش گیاهی و فعالیت‌های نامناسب کشاورزی از جمله شخم، سوزاندن بقایای گیاهی و کاهش مقاومت خاک در اراضی مارنی مناطق زاگرس اهمیت بیشتری دارد.

در ایران نیز نوع کاربری اراضی از طریق تأثیر در زبری خاک و مقاومت آن در برابر رواناب عامل مهم در میزان سطح آستانه‌های فرسایش خندقی است [۳، ۱۴ و ۳۷] و استفاده از پلات صحرایی (فلوم) یکی از متداول‌ترین روش‌های تعیین آستانه‌های هیدرولیک جریان در کاربری‌های مختلف است. عادل پور [۳۷]، با مبنا قرار دادن تحقیقات پروسر<sup>۱</sup> و همکاران [۳۵] اقدام به ساخت یک فلوم صحرایی به طول ۲۰ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر از طریق ایجاد یک جریان ماندگار غیریکنواخت نمود و ویژگی‌های هیدرولیک جریان را در ایجاد فرسایش خندقی و بالاکنند بررسی نمود که نتایج آن بیانگر تفاوت معنی‌دار مولفه‌های هیدرولیک جریان در کاربری‌های مختلف است. نتایج تحقیقات دیگر با فلوم نتایج مشابه را به دست داد، به طوری که با تبدیل اراضی مرتعی به دیم‌زار، مقاومت برشی خاک به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد [۲ و ۲۹].

هدف از این تحقیق مقایسه آستانه‌های فرسایش

<sup>۱</sup>Prosser

زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری) به عنوان واحد کاری مبنای بررسی میدانی قرار گرفت [۲]. رخساره‌های فرسایش خندقی با ۳ کاربری کشاورزی، مرتع فقیر و مرتع متوسط (مرتع قشلاقی و فاقد مرتع خوب) تفکیک شد.

با استفاده از نرم افزار GIS (Arc Gis نسخه 9.3) تهیه شد. با روی هم‌گذاری لایه‌های مورد اشاره نقشه ژئومورفولوژی منطقه تهیه گردید. در مرحله بعدی هر رخساره فرسایشی با مشخصات مختص خود (سازند



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (قصر شیرین) در استان کرمانشاه و ایران

#### ۴.۲. نصب پلات صحرایی (فلوم) و تعیین

##### آستانه هیدرولیک جریان

به منظور شبیه سازی جریان سطحی بر روی خاک برای تعیین آستانه هیدرولیک جریان از پلات صحرایی (پلات فرسایشی) استفاده گردید. محل پلات‌های صحرایی از نظر ویژگی‌های خاک سطحی و سنگ شناسی و سازند یکسان و در یک واحد کاری بود. هر پلات

#### ۳.۲. اندازه‌گیری مشخصات پوشش سطح خاک

مشخصات مهم پوشش سطح زمین شامل درصد پوشش گیاهی، لاشبرگ سطحی، سنگریزه سطحی و خاک لخت و نیز فاصله گیاهان داخل پلات از هم و ارتفاع گیاهان با استفاده از پلات یک متر مربعی اندازه‌گیری شد. همچنین شیب کف پلات با دوربین نیوو به‌طور دقیق به‌دست آمد.

احداثی نهایت دقت به عمل آمد به گونه‌ای که کوچک‌ترین تغییراتی در کف کانال مشاهده نشد. همچنین مشخصات داخل پلات صحرائی اعم از پوشش گیاهی، لاشبرگ، سنگریزه و خاک لخت ثبت شد. پس از اشباع خاک کف پلات و ثابت شدن دبی ورودی و خروجی (با فرض عدم کاهش دبی خروجی از ۵ درصد کل) یک جریان پیوسته و ماندگار برقرار شد که بعد از آن با افزایش دبی و انجام آزمایشات متعدد تا مشاهده آثار کنش (به عمق سه سانتی‌متر)، آستانه ایجاد بالاکنند بر مبنای پارامترهای هیدرولیک جریان در طول ۹ متری میانی پلات اندازه‌گیری گردید (شکل ۲).

آزمایش در ابتدا با جریان دبی ۰/۱ لیتر بر ثانیه به مدت ۲۰ دقیقه شروع شد تا کف پلات صحرائی به طور کامل خیس و خاک اشباع گردد. در طی هر آزمایش پارامترهای جریان از جمله دبی جریان، عمق جریان، نمونه‌های رسوب و سرعت سطحی آب به طور مستقیم اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های عمق جریان در محدوده ۹ متری وسط پلات صحرائی به صورت مقاطع با فاصله یک متر و در هر مقطع در پنج نقطه حدوداً در فواصل ۵، ۱۲، ۲۰، ۲۷ و ۳۵ سانتیمتری از دیواره جانبی پلات صحرائی انجام شد. سایر پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل تنش برشی جریان (بیانگر قدرت فرساینده‌گری جریان)، عدد رینولدز، شروع کنش (آستانه ایجاد بالاکنند) بر اساس روابط زیر محاسبه شد [۱۱]:

$$\tau = \rho g d s \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:

$\tau$  تنش برشی بر حسب نیوتن بر متر مربع

$\rho$  چگالی سیال (کیلوگرم بر متر مکعب)

$g$  شتاب ثقل زمین (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)

$d$  عمق متوسط جریان (متر)

$s$  (شیب کف پلات صحرائی بر حسب متر به متر)

عدد رینولدز که معرف میزان تلاطم جریان است با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد و عدد فرود که بیانگر حالت جریان (حاصل تقسیم سرعت متوسط جریان بر

صحرائی به ابعاد ۱۵ در ۰/۴ و یا ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر استفاده شد که معمولاً برای مقایسه با نتایج مشابه همان ابعاد متداول در ایران بود. گرچه این ابعاد بر حسب شرایط منطقه و امکانات قابل انعطاف است [۱]. در این پلات صحرائی یک جریان ماندگار و غیریکنواخت ایجاد و پس از ثابت شدن دبی ورودی و خروجی پارامترهای هیدرولیک جریان در محدوده ۹ متر میانی پلات صحرائی در مقاطع یک متری (در هر مقطع پنج نقطه) اندازه‌گیری و محاسبه شد. اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی پلات صحرائی با فلوم نمره پنج که توسط مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی وزارت جهاد کشاورزی به صورت استاندارد طراحی، ساخت و کالیبره شده، انجام شد. آب مورد نیاز با تانکرهای ۱۶۰۰۰ لیتری و مجهز به پمپ تخلیه (برای تنظیم دبی جریان ورودی) به صحرا حمل گردید.

آب از تانکر به یک حوضچه ذخیره با ابعاد  $۱/۲ \times ۱/۲ \times ۰/۸$  متر منتقل و کف آن با استفاده از دو لایه پلاستیک ضخیم پوشش داده شد. ضمناً در کف حوضچه تعدادی آجر قرار داده شد تا تلاطم آب را به حداقل برساند. سپس آب داخل حوضچه با استفاده از یک کانال خاکی (به منظور ایجاد جریان یکنواخت و موازی) به طول حدود ۶ متر و عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۷ متر به فلوم متصل شد. شیب کف این کانال صفر درصد و با دو لایه پلاستیک ضخیم پوشش داده شد. فلوم‌های ورودی و خروجی به طور دقیق و بدون شیب تراز گردید.

سپس دیواره‌های پلات صحرائی متشکل از ورق‌های آهنی به طول دو متر، برای جلوگیری از دست خوردگی خاک با نیروی فشاری و ضربه پتک تا عمق ۱۰ سانتیمتر در خاک کوبیده شد. به منظور جلوگیری از نشت و تراوش آب و هدر رفت آن دو سر ورق‌ها به همدیگر پرچ شدند و توسط ملات گچ و خاک برای جلوگیری از هرگونه تراوش دیواره پشتی آن عایق‌بندی شد. در مرحله بعد پلات صحرائی نصب گردید که شیب طولی آن برابر با شیب طبیعی زمین بود که این شیب و پروفیل طولی به وسیله دوربین نقشه‌برداری نیوو برداشت و محاسبه شد. به منظور جلوگیری از بهم خوردگی و تغییر در کف کانال

$$F = 8gds/u^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن:

$F$  ضریب مقاومت دارسی

$g$  شتاب ثقل زمین (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)

$d$  عمق متوسط جریان (متر)

$s$  (شیب کف پلات صحرائی بر حسب متر به متر)

$u$  سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

در عمل برای محاسبه تنش برشی آستانه ایجاد بالاکنند، به محض مشاهده آثار پلکانی یا بالاکنند به ارتفاع حداقل سه سانتیمتر، ویژگی‌های مرفولوژی آن و فاصله آن‌ها هم اندازه گیری گردید. این مرحله می‌تواند به عنوان نشانه‌ای برای آستانه ایجاد خندق و شروع آن به شمار آید [۱]. پس از مشاهده بالاکنند در داخل پلات صحرائی کلیه مشاهدات و تغییرات ایجاد شده از جمله ابعاد بالاکنندها، فاصله آن‌ها از هم، سرعت متوسط و سرعتی که باعث ایجاد بالا کند شده (سرعت آستانه) در دبی‌های مختلف ثبت گردید.

سرعت موج) است نیز از رابطه (۳) بدست آمد:

$$R_e = Ud/\delta \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن:

$R_e$  عدد رینولدز

$U$  سرعت متوسط جریان (سانتی‌متر بر ثانیه)

$d$  عمق متوسط جریان (سانتی‌متر)

$\delta$  لزوجت سینماتیک آب که در عمل برابر ۰/۰۱

سانتی‌متر مربع بر ثانیه)

$$F_r = U/\sqrt{gy} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن:

$F_r$  عدد فرود

$U$  سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)

$g$  شتاب ثقل زمین (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه)

$Y$  عمق متوسط جریان (متر)

ضریب مقاومت دارسی: یکی از پارامترهای اساسی است که تأثیر تراکم پوشش گیاهی در افزایش مقاومت برشی سطح خاک را نشان می‌دهد که بر اساس رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.



شکل ۲. مراحل نصب پلات صحرائی به ترتیب (۱) - نصب فلوم (۲) - نصب دیواره پلات صحرائی (۳) - پایاب (خروجی جریان) و محل نمونه برداری رسوب، (۴) - کانال نفوذ ناپذیر قبل از ورود جریان، به منظور ایجاد جریان یکنواخت (۵) - اشباع خاک و جریان هیدرولیک (شبیه سازی برای تعیین آستانه‌های هیدرولیک)، (۶) - فلوم انتهایی به منظور اندازه گیری دبی خروجی و رسوب

## ۵.۲. تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آمار توصیفی و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۶/۱۲) انجام شد.

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. سازند مارنی آغاچاری در منطقه قصرشیرین

فرسایش خندقی منطقه مورد بررسی غالباً بر روی سازند مارنی آغاچاری (گروه فارس) قرار دارد. به‌طور کلی سازند آغاچاری به ضخامت تقریبی ۲۹۷ متر با تناوبی از ماسه سنگ آهکی قهوه‌ای و لایه ضخیم تر قرمز رنگ در محل نمونه‌برداری واقع در شهرستان آغاچاری شناسایی شده است [۲۶]. از نظر سنی، سازند آغاچاری متعلق به میوسن بالایی است. بررسی‌های میدانی نشان داد که در غالب نقاط کم شیب و تحت فرسایش خندقی لایه مارنی رخنمون داشته و لایه ماسه‌سنگی به شکل عوارض نسبتاً برجسته و فرسوده با تشکیل واریزه‌های محدود پراکنش دارند.

#### ۲.۳. متغیرهای هیدرولیک جریان

در مجموع تعداد ۹ پلات صحرایی در منطقه مورد مطالعه استقرار و مشخصات هیدرولیک جریان در محدوده فرسایش خندقی کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری‌های متعدد (تکرار در هر فلوم) نهایتاً دبی آستانه فرسایش بر مبنای حداقل عمق کنش (۳ سانتی‌متر) سایر ویژگی‌های جریان و آستانه آن‌ها تعیین گردید (جدول‌های ۱ و ۲). لازم به ذکر است که برای مقایسه مطلوب‌تر و نیز نقش پوشش گیاهی در افزایش آستانه‌های مورد اندازه‌گیری، یک پلات صحرایی در محدوده بسیار کوچکی از منطقه با مشخصات مرتع خوب نیز استقرار یافت که نتایج آن در جدول‌های ۱ و ۳ درج گردیده است. این محدوده مرتعی با مساحت حدود یک هکتار توسط اداره منابع طبیعی

شهرستان قصرشیرین قرق شده بود.

#### ۱.۲.۳. آستانه دبی جریان

با میانگین‌گیری از مناطق مختلف، متوسط دبی آستانه جریان در کاربری کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر به ترتیب ۱/۵۳، ۱۲/۰ و ۴/۴۹ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد که مقایسه میانگین آن‌ها (جدول ۲) نشان داد که هر چهار کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ( $p < 0.05\%$ ). کمترین و بیشترین دبی‌های آستانه ثبت شده اراضی کشاورزی به ترتیب ۰/۷ و ۲/۲۳ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد در حالی که این اعداد در مرتع متوسط به ترتیب ۷/۷۳ و ۱۶/۷ لیتر بر ثانیه بود و در مرتع فقیر ۱/۹۴ و ۷/۰۴ لیتر بر ثانیه بود. این اعداد بیانگر تفاوت آن‌ها در هر سه کاربری است. به‌طوریکه در جدول (۱) مشاهده می‌گردد، تمامی دبی‌های اندازه‌گیری شده در مقایسه با حداکثر دبی ایجاد شده در مرتع خوب در همان منطقه (با ۶۸ درصد پوشش گیاهی) تفاوت چشم‌گیری داشتند. حداکثر دبی ممکن که در مرتع خوب ایجاد شد ۱۸/۵۸ لیتر بر ثانیه بود که منجر به ایجاد کنش و آثار فرسایش خندقی و حتی فرسایش سطحی نیز به دلیل تراکم نسبتاً خوب پوشش گیاهی نگردید.

حداقل عمق کنش ایجاد شده برای تشکیل اولیه بالاکنده سانتیمتر برای کاربری‌های کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر این حداقل عمق کنش با کمترین دبی در کاربری اراضی کشاورزی ایجاد شده در حالی که در کاربری مرتع دبی بیشتری نیاز است. عدم تفاوت حداقل عمق کنش به دلیل تعیین عمق حداقل ۳ سانتی‌متر برای شروع آستانه فرسایش خندقی می‌باشد که علی‌رغم یکسان بودن عمق کنش، دبی‌های متفاوتی برای شروع آن نیاز خواهد بود. این تفاوت آستانه در میزان تعمیق و گسترش جانبی بالاکنده با افزایش دبی نمایان خواهد شد.

### ۲.۲.۳. سرعت متوسط آستانه جریان

سرعت متوسط آستانه جریان در پلات‌های صحرایی برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و فقیر به ترتیب ۲۰/۷، ۶۴/۰ و ۳۷/۵ سانتی‌متر در ثانیه به‌دست آمد که مقدار آن در کاربری کشاورزی به‌طور معنی‌داری کمتر از دو کاربری دیگر است. حداقل و حداکثر سرعت ثبت شده به ترتیب در کاربری‌های کشاورزی ۱۲ و ۳۷، مرتع متوسط ۴۸ و ۷۹ و مرتع فقیر ۲۳ و ۵۲ سانتی‌متر در ثانیه به‌دست آمد. حداکثر سرعت در کاربری مرتع خوب ۷۵ سانتی‌متر در ثانیه ایجاد گردید که به دلیل تراکم پوشش گیاهی و لاشبرگ سطحی به آستانه فرسایشی منجر نگردید و هیچگونه آثاری از فرسایش خاک در کف پلات به‌دلیل پوشش گیاهی با تراکم ریشه‌ای قوی و لاشبرگ کافی مشاهده نگردید.

### ۳.۲.۳. آستانه آشفستگی جریان

آستانه آشفستگی جریان با توجه به اعداد فرود و رینولدز و نیز ضریب داری بر اساس روابط (۲)، (۳) و (۴) محاسبه گردید. بر این اساس:

- متوسط عدد فرود در کاربری‌های اراضی کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۸۸ و ۰/۵۷ به‌دست آمد (نشان‌دهنده جریان زیر بحرانی). کمترین و بیشترین مقدار این عدد به ترتیب ۰/۴۱ (مرتع فقیر) و ۱/۰۴ (مرتع متوسط) به‌دست آمد.

- آستانه فرسایش خندقی بر اساس عدد رینولدز در کاربری‌های کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر به ترتیب ۳۱۱۳، ۲۶۰۹۲ و ۹۵۲۵ به‌دست آمد که با هم تفاوت معنی‌داری داشتند. این عدد در مرتع خوب ۴۶۳۶۳ بود که به دلیل تراکم زیاد پوشش گیاهی و مقاومت بیشتر خاک (ماده آلی و پوشش سطحی)، حدود ۱۵، ۲ و ۵ برابر سایر کاربری‌ها است. متوسط ضریب مقاومت داری ۶/۸۴، ۰/۳۶ و ۱/۴۵ به ترتیب در کاربری‌های اراضی کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر بود که در کاربری اراضی

کشاورزی به‌طور معنی‌داری بیشتر است اما در کاربری مراتع متوسط و ضعیف میانگین‌ها با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. این ضریب برای مرتع خوب ۰/۳۷ به‌دست آمد.

### ۴.۲.۳. آستانه تنش برشی

متوسط تنش برشی در آستانه فرسایش خندقی برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر به ترتیب ۱۲/۱۲، ۱۴/۰۱ و ۹/۲۸ پاسکال بود که در هر سه کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشت. این حد در مرتع خوب ۲۳/۳۸ نیوتن بر متر مربع است (جدول‌های ۱ و ۲).

کاهش آستانه تنش برشی در کاربری‌های کشاورزی و مرتع فقیر تقریباً متناسب با سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده هیدرولیک جریان بوده که می‌توان آن‌را به تغییر کاربری اراضی و در نتیجه تضعیف پوشش گیاهی و تنش‌های مکانیکی بیرون از خاک از قبیل حرکت ماشین‌آلات کشاورزی و تردد دام نسبت داد. این روند با ایجاد فرونشست در سطح خاک منجر به تمرکز جریان‌های سطحی و در نتیجه ایجاد شکاف به عنوان مقدمه فرسایش‌های خطی و از جمله تشکیل بالاکنده (هدکت) خندق‌ها می‌گردد. در زمان بارش، این شکاف‌ها همراه با سله تشکیل می‌گردد که شدت توسعه آن‌ها به پایداری خاکدانه‌ها و مقدار ماده آلی، نوع کانی رسی بستگی دارد [۲۰]. نقش تنش برشی ناشی از جریان‌های سطحی در فرسایش خندقی ۲۰ برابر فرسایش شیاری است [۴۷]. تفاوت معنی‌دار آستانه (حد بحرانی) تنش برشی کاربری‌های اراضی مورد نظر این تحقیق با نتایج تحقیقات مشابه نیز مطابقت دارد، به‌طوری‌که این آستانه در خاک‌های رسی، چمنزارهای مورد چرا، اراضی با تخریب ناچیز و اراضی فاقد تخریب به ترتیب ۲۱، ۷۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ نیوتن بر متر مربع متغیر است [۱]، ۲۸، ۲۹ و ۳۵].



جدول ۱. مشخصات هیدرولیک جریان و آستانه‌های آن‌ها در پلات‌های صحرایی منطقه قصر شیرین

| کاربری        | دبی<br>لیتر بر ثانیه | سرعت<br>cm/s |       | شیب کف<br>پلات<br>صحرایی | عدد<br>فروود | عدد<br>رینولدز | ضریب<br>مقاومت<br>داری | تنش برشی<br>(پاسکال) |
|---------------|----------------------|--------------|-------|--------------------------|--------------|----------------|------------------------|----------------------|
|               |                      | آستانه       | متوسط |                          |              |                |                        |                      |
| اراضی کشاورزی | ۲/۲۳                 | ۲۸           | ۳۷    | ۳/۴۵                     | ۰/۷۱         | ۴۴۸۰           | ۰/۵۵                   | ۵/۴۲                 |
| اراضی کشاورزی | ۰/۷                  | ۱۲           | ۱۳    | ۳/۹۸                     | ۰/۳۵         | ۱۴۲۸           | ۲/۵۸                   | ۴/۶۵                 |
| اراضی کشاورزی | ۱/۶۶                 | ۱۱           | ۱۲    | ۸/۵۹                     | ۰/۲          | ۳۴۳۲           | ۱۷/۳۸                  | ۲۶/۲۹                |
| متوسط         | ۱/۵۳                 | ۱۷           | ۲۰/۷  | ۵/۳                      | ۰/۴۲         | ۳۱۱۳/۳         | ۶/۸۴                   | ۱۲/۱۲                |
| مرتع متوسط    | ۱۶/۷                 | ۷۱           | ۷۹    | ۲/۹۰                     | ۱/۰۴         | ۳۳۷۲۵          | ۰/۲۱                   | ۱۳/۵۱                |
| مرتع متوسط    | ۱۱/۶۸                | ۵۷           | ۶۵    | ۳/۴۶                     | ۰/۸۳         | ۲۹۱۱۶          | ۰/۴۱                   | ۱۷/۰۴                |
| مرتع متوسط    | ۷/۶۳                 | ۴۵           | ۴۸    | ۳/۴۱                     | ۰/۷۶         | ۱۵۴۳۵          | ۰/۴۵                   | ۱۱/۴۸                |
| متوسط         | ۱۲/۰                 | ۵۷/۷         | ۶۴/۰  | ۳/۲۵                     | ۰/۸۸         | ۲۶۰۹۲          | ۰/۳۶                   | ۱۴/۰۱                |
| مرتع فقیر     | ۷/۰۴                 | ۵۱           | ۵۲    | ۱/۶۱                     | ۰/۷۳         | ۱۴۰۷۰          | ۰/۲۴                   | ۵/۲۹                 |
| مرتع فقیر     | ۱/۹۴                 | ۲۰           | ۲۳    | ۵/۴۳                     | ۰/۴۱         | ۴۹۸۰           | ۲/۶۵                   | ۱۳/۲۶                |
| متوسط         | ۴/۴۹                 | ۳۵/۵         | ۳۷/۵  | ۳/۵۲                     | ۰/۵۷         | ۹۵۲۵           | ۱/۴۵                   | ۹/۲۸                 |
| مرتع خوب*     | ۱۸/۵۸                | ۷۱           | ۷۵    | ۳/۶۵                     | ۰/۸۹         | ۴۶۳۶۳          | ۰/۳۷                   | ۲۳/۳۸                |

\* در منطقه مورد مطالعه فقط یک محدوده مرتعی با مساحت حدود یک هکتار دارای شرایط مرتع خوب (قرق شده توسط اداره منابع طبیعی) یافت شد که به منظور مقایسه از آن استفاده گردید

جدول ۲. مقایسه میانگین آستانه متغیرهای هیدرولیک جریان پلات‌های صحرایی در کاربری‌های مختلف منطقه قصر شیرین

| Pr>F*  | کاربری    |            |               | متغیر       |
|--------|-----------|------------|---------------|-------------|
|        | مرتع فقیر | مرتع متوسط | اراضی کشاورزی |             |
| ۰/۰۳۲  | ۴/۴۹(ab)  | ۱۲/۰ (a)   | ۱/۵۳ (b)      | دبی         |
| ۰/۰۳۳  | ۳۷/۵ (b)  | ۶۴/۰(a)    | ۲۰/۷ (ab)     | سرعت آستانه |
| ۰/۰۰۹  | ۰/۵۷ (a)  | ۰/۸۸ (a)   | ۰/۴۲ (a)      | عدد فروود   |
| ۰/۰۲۷  | ۹۵۲۵(ab)  | ۲۶۰۹۲ (a)  | ۳۱۱۳(b)       | عدد رینولدز |
| ۰/۰۰۰۳ | ۱/۴۵(b)   | ۰/۳۶(ab)   | ۶/۸۴(a)       | عدد داری    |
| ۰/۰۳۹  | ۹/۲۸(b)   | ۱۴/۰۱(a)   | ۱۲/۱۲ (ab)    | تنش برشی    |

### ۳.۳. آستانه پوشش سطح خاک در فرسایش

#### خندقی

در محل استقرار فلوم درصد پوشش سطح زمین شامل تاج پوشش گیاهی، لاشبرگ، خاک لخت و سنگریزه

با پلات یک متر مربعی برای هر یک از کاربری‌ها برآورد گردید که نتایج آن در جدول (۳) درج گردیده است. بر این اساس، متوسط تاج پوشش گیاهی کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر در محل استقرار پلات‌های صحرایی به ترتیب ۱۳/۷، ۳۳ و ۱۲/۵ درصد

درج شده است. بر این اساس:

- متوسط تعداد بالاکندهای ایجاد شده در طول جریان پلات‌های صحرایی در اراضی کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر به ترتیب ۵/۷، ۴ و ۵ مورد بود و در مرتع خوب با ایجاد حداکثر جریان ممکن منجر به تشکیل بالاکند نگردید؛
  - طول هدکت به ترتیب کاربری‌های مورد اشاره ۲۶/۷، ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر بدست آمد که مانند تعداد هدکتهای نیز در کاربری مرتع متوسط کمتر از اراضی کشاورزی و مرتع فقیر بود؛
  - عرض متوسط بالاکندهای ایجاد شده (سانتی‌متر) در کاربری‌های اراضی کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر تفاوت چندانی با هم نداشتند و در حدود ۷ سانتی‌متر بود؛
  - فاصله اولین بالاکند از سر پلات صحرایی به ترتیب کاربری‌های بالا ۳۲۰، ۴۷۰ و ۳۴۰ سانتی‌متر به دست آمد که در مرتع متوسط این فاصله طولانی‌تر بود. معمولا فاصله کمتر در حجم رسوب و تمرکز رواناب مؤثر است.
- نتایج تحقیقات دقیق‌تر در این مورد نشان داد که شخم و تخریب پوشش گیاهی به‌ویژه در کناره دیواره‌های خندق منجر به تشدید گسترش آن تا دو برابر می‌گردد [۲۲]. البته نقش کاربری‌های غیر کشاورزی از جمله جاده‌سازی را در کاهش آستانه هیدرولیک جریان نباید از نظر دور داشت. این قبیل فعالیت‌ها از طریق تمرکز جریان‌ات سطحی و تغییر در مساحت حوزه آبخیز خندق ایجاد می‌کنند و در تشدید فرسایش خندقی نقش دارند [۲۵ و ۲۷]. در مقابل، تبدیل اراضی تخریب یافته به جنگل با گونه‌های بومی در نیوزیلند بعد از ۴۰ سال فرسایش خندقی را از طریق افزایش آستانه‌های هیدرولیک جریان کنترل نمود [۲۱].

بود که در مرتع متوسط به طور معنی‌داری بیشتر از دو کاربری دیگر به دست آمد. همچنین پوشش گیاهی در مرتع خوب ۶۸ درصد بود که به ترتیب حدود ۲، ۵/۵ و ۵ برابر مرتع متوسط، مرتع فقیر و کشاورزی است. لاشبرگ گیاهی نیز در هر یک از این کاربری‌ها به تناسب تاج پوشش گیاهی بود ولی در مرتع متوسط اندکی بیش از مرتع خوب بود که دلیل آن تراکم زیاد گیاهان در داخل پلات و همپوشانی لاشبرگ بود. مقدار سنگریزه سطحی همه کاربری‌ها به دلیل نسبت زیاد رس و سیلت (در مجموع بیش از ۸۵ درصد) و شرایط مارنی ناچیز است، اما سطح خاک لخت به ترتیب کاربری‌های مورد اشاره ۸۱/۷، ۴۹، ۷۷ و ۱۶ درصد بود که با هم تفاوت چشمگیری داشتند.

فاصله گیاهان داخل هر پلات نیز اندازه‌گیری گردید (جدول ۳) که با توجه به آن متوسط فاصله گیاهان در کاربری کشاورزی، مرتع متوسط، مرتع فقیر و مرتع خوب به ترتیب ۵۱/۳، ۶/۳، ۱۴ و ۳ سانتی‌متر به دست آمد. اهمیت این موضوع در افزایش ضریب زبری و در نتیجه کاهش سرعت جریان است. عدم ایجاد بالاکند در مرتع خوب به همین دلیل است. همچنین تراکم و سیستم ریشه‌ای گیاهان نقش بارزی در جلوگیری از ایجاد حفره‌ها و شکاف‌های کوچک به عنوان مقدمه تشکیل تونل و بالاکند دارد. این شکاف‌ها در غیاب پوشش گیاهی متراکم منجر به تمرکز رواناب و تشکیل جریان زیرقشری موجب پیدایش تونل شده که با ریزش سقف به بالاکند تبدیل می‌گردد [۲۴].

### ۴.۳. مشخصات بالاکندهای ایجاد شده

نتایج ارزیابی بالاکندهای ایجاد شده بر اثر هیدرولیک جریان پلات‌های صحرایی بر اساس مشاهده آثار تشکیل آن‌ها در دبی آستانه شامل تعداد، ابعاد (طول و عرض) و فاصله اولین بالاکند از سر پلات صحرایی در جدول (۳)

جدول ۳. ابعاد و مشخصات بالاکندهای ایجاد شده در آستانه هیدرولیک جریان در منطقه قصرشیرین

| فاصله اولین بالاکند از سر پلات صحرائی (cm) | عرض بالاکند (cm) | طول بالاکند (cm) | تعداد بالاکند ایجاد شده | فاصله گیاهان از هم (cm) | درصد پوشش سطح زمین |         |        | کاربری زمین |               |
|--|------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|---------|--------|-------------|---------------|
|  |                  |                  |                         |                         | خاک لخت            | سنگریزه | لاشبرگ |             |               |
| ۲۳۰  | ۸                | ۲۰               | ۸                       | ۵۰                      | ۹۱                 | ۱       | ۷      | ۱           | اراضی کشاورزی |
| ۲۲۰  | ۸                | ۲۰               | ۶                       | ۱۰۰                     | ۹۶                 | ۱       | ۳      | ۰           | اراضی کشاورزی |
| ۵۱۰  | ۵                | ۴۰               | ۳                       | ۴                       | ۵۸                 | ۱       | ۱      | ۴۰          | اراضی کشاورزی |
| ۳۲۰  | ۷                | ۲۶/۷             | ۵/۷                     | ۵۱/۳                    | ۸۱/۷               | ۱       | ۳/۶    | ۱۳/۷        | متوسط         |
| ۷۶۰  | ۶                | ۳۰               | ۴                       | ۴                       | ۴۱                 | ۱       | ۱۹     | ۳۹          | مرتع متوسط    |
| ۳۰۰  | ۷                | ۱۵               | ۴                       | ۵                       | ۴۸                 | ۱       | ۱۶     | ۳۵          | مرتع متوسط    |
| ۳۵۰  | ۶                | ۳۰               | ۴                       | ۱۰                      | ۵۸                 | ۱       | ۱۶     | ۲۵          | مرتع متوسط    |
| ۴۷۰  | ۶/۳              | ۲۵               | ۴                       | ۶/۳                     | ۴۹                 | ۱       | ۱۷     | ۳۳          | متوسط         |
| ۵۵۰  | ۸                | ۳۰               | ۴                       | ۲۰                      | ۹۰                 | ۱       | ۳      | ۶           | مرتع ضعیف     |
| ۱۳۰  | ۶                | ۴۰               | ۶                       | ۸                       | ۶۴                 | ۲       | ۱۵     | ۱۹          | مرتع ضعیف     |
| ۳۴۰  | ۷                | ۳۵               | ۵                       | ۱۴                      | ۷۷                 | ۱/۵     | ۹      | ۱۲/۵        | متوسط         |
| ۰  | ۰                | ۰                | ۰                       | ۳                       | ۱۶                 | ۱       | ۱۵     | ۶۸          | مرتع خوب*     |

\* در منطقه مورد مطالعه فقط یک محدوده مرتعی با مساحت حدود یک هکتار دارای شرایط مرتع خوب (قرق شده توسط اداره منابع طبیعی) یافت شد که به منظور مقایسه از آن استفاده گردید.



شکل ۳. اندازه‌گیری عمق کنش و رسوبات حاصل از جریان رواناب در پلات‌های صحرائی

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج این بررسی نشان داد که آستانه فرسایش خندقی بر اساس ویژگی‌های هیدرولیک جریان در کاربری‌های مختلف با شرایط یکسان زمین‌شناسی (سازند)، توپوگرافی، اقلیم و کلیات خاکشناسی با هم متفاوت است. بر اساس بررسی‌های خاک‌شناسی و کانی‌شناسی، سازندهای مارنی منطقه زاگرس و از جمله قصرشیرین نسبت به فرسایش و انحلال بسیار حساس هستند. این ویژگی‌ها به نوبه خود کاهش نفوذپذیری نسبت به عمق و ایجاد پتانسیل انحلال را به عنوان مراحل اولیه فرسایش خندقی فراهم نموده است. مطالعات مختلف نشان داده است که اسمکتیت<sup>۱</sup> کانی غالب سازند و خاک حاصل از آن است. اسمکتیت و ورمیکولایت رس‌های غالب مارن و شیل در زاگرس و جنوب غربی ایران هستند [۱۶ و ۳۲].

با میانگین‌گیری از مناطق مختلف، متوسط دبی آستانه جریان در کاربری کشاورزی، مراتع متوسط و فقیر به ترتیب ۱/۵۳، ۱۲/۰ و ۴/۴۹ لیتر بر ثانیه به دست آمد که مقایسه میانگین آن‌ها (جدول ۲) نشان داد که هر سه کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ( $p < 0.05$ ). حداقل دبی متوسط برای ایجاد بالاکنند در فرسایش خندقی در کاربری مرتع متوسط ۸ برابر کشاورزی و ۲/۷ برابر مرتع فقیر است. تحقیقات رئیسی نجات و همکاران [۳۶]، بر روی مقدار برش و عقب نشینی دیواره‌های خندق و تولید رسوب ناشی از آن در منطقه طالقان نشان داد که عقب نشینی خندق حدود ۰/۲ متر در سال با یک متر برش در بالاکنند رخ داد که منجر به تولید بیشترین رسوب نیز گردید.

این مقایسه نقش کلیدی تغییر پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی و یا بهره‌برداری نامناسب از اراضی را بازتاب می‌نماید. نتایج تحقیقات مختلف در دنیا و مقایسه آن‌ها با هم نشان داد که نقش پوشش گیاهی در آستانه

فرسایش خندقی کلیدی بوده و حتی بالاتر از عوامل اقلیمی است [۴۴]. کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه توسعه فرسایش خندقی بیشتر بر اثر تغییر کاربری و توسعه اراضی کشاورزی ایجاد می‌گردد [۱، ۲۷ و ۴۰]. کاهش آستانه دبی در فرسایش خندقی علاوه بر مشخصات مورد اشاره در اراضی کشاورزی به فعالیت‌های انسانی در بهره‌برداری از اراضی از جمله تردد ماشین‌آلات نیز مرتبط می‌گردد که معمولاً یکی از عوامل مؤثر بر کاهش آستانه فرسایش خندقی از طریق افزایش رواناب بر اثر کوبیدگی سطحی خاک در اراضی کشاورزی و کلاً مناطقی است که تردد ماشین‌آلات سنگین زیاد است. بررسی این روند در اراضی کشاورزی نشان داد که افزایش رواناب و در نتیجه توسعه ابعاد فرسایش خندقی با تردد ماشین‌آلات همبستگی زیاد و معنی‌داری داشت [۹].

با توجه به اینکه عدد فرود برای تمام کاربری‌ها کمتر از یک است، جریان ایجاد شده در داخل پلات صحرایی در حالت زیر بحرانی قرار داشته است. در مقابل، عدد رینولدز در کاربری مراتع متوسط و خوب به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر کاربری‌ها بود که معرف آشفستگی جریان برای ایجاد آستانه تنش برشی است. به عبارت دیگر با افزایش این عدد به همان نسبت نیاز به قدرت بیشتری برای کنش خواهد بود تا منجر به ایجاد بالاکنند گردد. این اختلاف بین مراتع خوب و فقیر نزدیک ۵ برابر است (عدد ۴۶۳۶۳ در مرتع خوب در مقایسه با ۹۵۲۵ در مرتع فقیر).

متوسط تنش برشی در آستانه فرسایش خندقی برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع متوسط و مرتع فقیر به ترتیب ۱۲/۱۲، ۱۴/۰۱ و ۹/۲۸ نیوتن بر متر مربع بود که در هر سه کاربری با هم تفاوت معنی‌داری داشت. این حد در مرتع خوب ۲۳/۳۸ نیوتن بر متر مربع بود. این تفاوت‌ها به تأثیر نوع کاربری بر ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی مرتبط می‌گردد. سطح اندک ماده آلی و نوع کانی رسی پتانسیل کاهش آستانه تنش برشی ناشی از جریان‌ات سطحی را فراهم می‌نمایند که در منطقه مورد

<sup>1</sup> Smectite

بوده و فاقد پوشش گیاهی است و به همین دلیل تنش برشی، دبی و سرعت جریان آن با کاربری مرتع متفاوت است. الگوی کشت اراضی کشاورزی این منطقه معمولاً مبتنی بر سوزاندن بقایای گیاهی و شخم پاییزه بدون رعایت آیش است و سطح خاک در بخش زیادی از فصل بارش لخت و بدون پوشش گیاهی است. همچنین مشاهدات دقیق‌تر میدانی نشان داد که شکاف‌ها و تونل‌های تازه در نقاطی که بقایای گیاهی سوزانده شده و شخم در جهت شیب اعمال گردیده، قابل ملاحظه تر بود. معمولاً سوزاندن بقایای گیاهی و شخم با گاو آهن برگرداندار از طریق کاهش ماده آلی و پایداری خاکدانه‌ها منجر به تشدید انحلال و ایجاد تونل می‌گردد [۱۲، ۲۰، ۲۳ و ۲۴]. این الگوی کشاورزی علاوه بر پیامدهای متعدد، موجب تغییرات فاحش پوشش گیاهی در مقیاس‌های زمان و مکان می‌گردد (حداقل ممکن در پاییز و حداکثر در بهار و تغییرات زیاد از یک مزرعه به مزرعه دیگر) و افزایش سطح خاک لخت به عنوان عامل مهم گسترش فرسایش خندقی در اراضی کشاورزی نواحی مدیترانه‌ای است [۸].

اقدامات مکانیکی بدون توجه به استقرار پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی قادر به کنترل فرسایش خندقی نیست [۱۷]. به‌طور کلی نتایج تحقیقات گسترده نشان داده است که ریشه قوی و گسترده گراس‌ها تا ۳ برابر مقاومت برشی سطح خاک را در مقابل تنش برشی ناشی از جریان سطحی افزایش می‌دهد. این حد برای خاک لخت و پوشش علفی، به ترتیب ۴۴ و ۲۶۰ نیوتن بر متر مربع است [۴].

پوشش گیاهی مراتع منطقه نیز علاوه بر تغییر کاربری زمین با تعداد زیاد دام و افزایش دوره چرا به دلیل کوچ‌های زود هنگام ناشی از تغییرات اقلیمی و کاهش سطح مراتع در سالیان اخیر دچار تخریب شدید شده که نتیجه آن افزایش سطح مراتع فقیر است. در این راستا، طی دوره (۹۱-۱۳۸۲) سطح مراتع خوب و متوسط از ۱۰/۳ و ۴۲/۲ درصد به ترتیب به ۸/۵ و ۲۵ درصد کاهش

مطالعه (سازند مارنی آغاچاری) حائز اهمیت است. فاصله بین لایه‌ای این کانی در اراضی مارنی منطقه زاگرس تا ۱۷ آنگسترم است که شرایط بالقوه فرسایش خندقی است [۱۰، ۱۶ و ۱۹]. از طرفی حد خمیری<sup>۱</sup> و ظرفیت بالای جذب آب این کانی به سبب فاصله زیاد بین لایه‌ای و سطح تماس زیاد آن موجب فشار تنش برشی در موقع جذب آب و در نتیجه گسیختگی (وارفتگی) می‌گردد [۶]. این اولین مراحل تشکیل شکاف است که با تنش برشی بسیار کمتری در مقایسه با سایر کانی‌های رسی رخ می‌دهد و با جذب آب بیشتر با توسعه فرسایش خندقی نیز از طریق تشدید تشکیل شکاف‌های اولیه و تونل همراه است.

این مراحل با طبقه‌بندی خاک از نظر مهندسی و مکانیک خاک<sup>۲</sup> قابل تفسیر است. هرگاه رس خاک بین ۱۵ تا ۳۰ درصد بوده و مجموع مقادیر سیلت و شن ریز نیز بیش از ۵۰ درصد باشد، خاک در حد خیلی زیاد مستعد تشکیل تونل به دلیل فراهم بودن شرایط گسیختگی خاک<sup>۳</sup> بوده و کمترین تنش برشی مستعد تشکیل تونل است. این شرایط با نتایج آزمایشات خاک منطقه مطابقت دارد. بررسی‌های سالیان اخیر نشان داد که مقاومت برشی خاک در آغاز تشکیل خندق‌ها به دلیل تغییرات ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها و مقدار رس و سیلت مقدم بر آستانه توپوگرافی است که به نوبه خود بستگی زیادی به میزان مواد آلی، پوشش سطحی و رطوبت خاک دارد [۳۴]. به همین دلیل توجه محققین در ارائه مدل‌های آستانه فرسایش خندقی به مشخصات هیدرولیک جریان از جمله زبری سطحی، تنش برشی بحرانی خاک و روان‌آب سطحی معطوف گردیده است [۱۸ و ۱۷].

بررسی‌های میدانی نشان داد که در اراضی کشاورزی منطقه در بخش قابل توجهی از فصل بارش، خاک لخت

<sup>۱</sup> plasticity index

<sup>۲</sup> Unified Soil Classification

<sup>۳</sup> Soil dispersion

کمتر بود. نتایج این پژوهش نشان داد که آستانه فرسایش خندقی متأثر از عوامل کاهش کیفیت خاک، تخریب پوشش گیاهی و مدیریت نامناسب اراضی است که موجب گسترش بیشتر فرسایش خندقی در اراضی کشاورزی نسبت به مراتع شده است. در نهایت نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خندقی از طریق آستانه‌های هیدرولیک جریان، به‌ویژه تنش برشی نقش کلیدی در کاهش پیامدهای این فرسایش رو به گسترش در اراضی مارنی و کشاورزی مناطق نیمه‌خشک ایفا می‌نماید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که گراس‌ها بهترین نقش را در کنترل فرسایش خندقی و سطحی به دلیل تراکم و قابلیت ارتجاعی ساقه‌ها در مقابل جریان، سیستم ریشه‌ای قوی و تولید قابل توجه لاشبرگ و ماده آلی در اراضی مارنی منطقه قصر شیرین را ایفا می‌کنند.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری محققین و کارشناسان آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی، سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه، مدیریت جهاد کشاورزی قصرشیرین، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه به‌خاطر همکاری در انجام آزمایشات، تأمین فلوم، تهیه امکانات و محل اسکان و تأمین خودرو صحرائی و همچنین اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه، به‌ویژه اداره منابع طبیعی شهرستان قصرشیرین که در استقرا پلات‌های صحرائی و فراهم نمودن تجهیزات مورد نیاز از جمله تانکر آب همکاری نمودند، کمال سپاسگزاری به‌عمل می‌آید.

یافته و در مقابل مراتع فقیر از ۴۸ درصد به حدود ۶۵ درصد رسیده است [۴۱]. هر نوع کاربری که منجر به کاهش پوشش گیاهی گردد، به‌طور مؤثری حد بحرانی تنش برشی را در فرسایش خندقی کاهش می‌دهد. این کاهش به دلیل تاثیر منفی تغییر کاربری بر پایداری و نفوذ پذیری خاک و نیز ضریب رواناب است که از طریق کاهش ماده آلی، افزایش تراکم خاک و کاهش پایداری خاکدانه‌ها و همچنین افزایش سطح خاک لخت (بدون پوشش گیاهی) رخ می‌دهد [۱۸، ۲۱ و ۲۴]. سلیمان پور و همکاران [۴۰]، آستانه‌های فرسایش خندقی در ۳ کاربری کشاورزی، زمین لخت و مرتع در استان فارس را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از تفاوت معنی‌دار آستانه‌های فرسایش خندقی متأثر از کاربری اراضی بود. تحقیقات مشابه نیز نشان داد که تخریب پوشش گیاهی بیشترین نقش را در فرسایش خاک از جمله گسترش خندقها دارد [۷، ۱۳، ۳۶ و ۴۶]. به‌طور خلاصه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که علی‌رغم اینکه حداقل عمق کنش در همه کاربری‌ها ۳ سانتی‌متر بود، اما عرض و طول آنها با هم اختلاف معنی‌دار داشتند. به عبارت دیگر حداقل عمق کنش با کمترین دبی در کاربری اراضی کشاورزی ایجاد شده، در حالی که در کاربری مرتع متوسط دبی بیشتری نیاز است. این کنش با حداقل سرعت در کاربری اراضی کشاورزی ایجاد شد و بر اساس اعداد فرود و رینولدز آشفستگی جریان نیز در کاربری اراضی کشاورزی و مرتع فقیر به دلیل عدم برخورداری از ریشه و تاج پوشش گیاهی (در مقایسه با مرتع متوسط) با کمترین سرعت رخ می‌دهد که یکی از عوامل موثر در ایجاد تنش برشی است. بر این اساس، تنش برشی مورد نیاز برای جدا کردن ذرات خاک از هم در کاربری اراضی کشاورزی

## References

- [1] Adelpour, A.A. and Soufi. M. 2004. Chanel erosion thresholds for different landuses asse by concentrated overland flow on a silty loam. Conservation Soil and Water for Society; sharing solution ISCO 200-13<sup>th</sup> international Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, Austtrialia.
- [2] Agharazi, H., Davudirad, A., Mardian, M and Soufi. M. 2013. Investigation of area slope threshold of gullies in the Zahirabad Watershed, Shazand, Markazi Province. Journal of Watershed Engineering and Management (in Persian), 6 (1): 1-9.
- [3] Ahmai. H. 2011. Aplied Geomorphology (vol. 2; water erosion), 3<sup>rd</sup> edi. Tehran University. Peress. 688 p. (in Persian).
- [4] Black, T.A., Montgemery, D.R., 1991. Sediment Transport by Burroeing Mammals, Marin Country, California, Earth Sourf Process, Landforms 16: 163-172.
- [5] Bobrovitskaya, N.N. 2000. Hydrological, meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change, International Symposium on Gully Erosion under Global Change, 35.
- [6] Borchardt, G. 1989. Smectites, in: Bighman, J.M., Dixon, J.B., Milford, M.H., Roth, C.B., Weed, S.B. (Eds.), Minerals in Soil Environments. *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Washington*, pp. 728-767.
- [7] Dong, Y., Wu, Y. and Wang, W. 2011. The comparison of the effects of two approaches to control gully erosion in the Black Soil Region of China. Landform Analysis, Vol. 17: 43-46.523.
- [8] Elkhalili, A., Raclot, D., Habaeib, H. and Lamachère, G.M. 2013. Factors and processes of permanent gully evolution in a Mediterranean marly environment (Cape Bon, Tunisia). *Hydrological Sciences (Taylor & Francis)*, 58 (7):1518-1531.
- [9] Essien, O.E. and Emmanuel, O.W. 2013. Haulage Vehicle Traffic and Runoff Effect on Gully Growth on Roadside Slopes of Unpaved Sand-Quarry Road, Uyo. American Journal of Engineering Research (AJER), 02 (10):363-368.
- [10] Feiznia, S., Heshmati, M., Ahmadi, H. and Ghodos, J. 2007. Investigation of gully erosion in Marly Agha-Jari formation in Zagross (Case study: Ghasre-Shirin, Kermanshah). Pajouhesh & Sazandegi No 74 pp: 32-40.
- [11] Foster, G., 1982. Modeling the soil erosion process. Hydrologic modeling of small watershed. 297-382.
- [12] Gabriels, D., Horn, R., Villagra, M.M. and Hartman, R. 1998. Assessment, Prevention, and Rehabilitation of Soil Structure Caused by Soil Surface Sealing, Crusting and Compaction in: Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C., Stewart, B.A. (Eds.), Methods for Assessment of Soil Degradation. *CRC Press, New York*, pp. 129-167.
- [13] Gheitury, M., Heshmati, M. and Parvizi, Y. 2013. Rangeland Management affecting soil carbon sequestration and aggregate stability. *Journal of Soil Science, A (37)*; 249-257 (in Persian).
- [14] Ghoddousi, J., Tavakoli, M., 2007. Assessing effect of rangeland exclusion on control and reduction of soil erosion rate and sediment yield in Nomads Affairs. Jihad- e- Agriculture Organizing of Shiraz Province - Iran.
- [15] Hancock, G. R and Evans .K. G. 2006. Channel head location and characteristics using digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume 31, Issue 7, pages 809-824,
- [16] Heshmati M, Arifin A, Shamshuddin J, Majid NM, Ghaituri M. 2011. Factors affecting landslides occurrence in agro-ecological zones in the Merek catchment, Iran. *J. Arid Environment*, 75, 1072-1082.
- [17] Igwe, CA. 2015. Gully Erosion in Southeastern Nigeria: Role of Soil Properties and Environmental Factors . Department of Soil Science, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria. <http://dx.doi.org>.
- [18] Karimi, R., Jalalian, A., Eghbal, M.K., Ayoubi, S., Toomanian, N. 2008. Landslide hazard in central Zagros region in Iran. 15<sup>th</sup> international congress of ISCO (International Soil Conservation Organization), Budapest.
- [19] Krenz, J., Lee, B. and Owens, P. 2000. Swelling Clays and Septic Systems: High Water Tables and Septic System Perimeter Drains. *Department of Agriculture (USDA), USA* [www.ces.purdue.edu/extmedia](http://www.ces.purdue.edu/extmedia)
- [20] Lutengger, A.J. and Cerato, A.J. 2008. Surface Area and Engineering Properties of Fine-grained Soil. *University of Massachusetts Press, Amherst*.

- [21] Marden, M., A. Gregory. A. Seymour and R. Hambling. 2012. History and distribution of steep land gullies in response to land use change, East Coast Region, North Island, New Zealand *Geomorphology*, 154: 81-90.
- [22] Martinez-Casnovas, J. A., Ramos, M. C. and Garcia-Hernandez, D. 2009. Effects of land -use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 1927-1937.
- [23] Mohammad A., Adam M. (2010) The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses, *Catena*, 81,97-103.
- [24] Morgan, R.P.C., 2005. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publisher, Oxford, London.
- [25] Morgan .R.P.C., and D.Mnomezulu. 2003. Threshold conditions for initiation of valley side gullies in middle veld of Swaziland. *Catena*, vol. 50, pp 401-414.
- [26] Mutiee, H. 1993. Zaros Stratigraphy (1), in: Hoshmandzadeh,E (Eds.), *Geology of Iran*, Geological Survey of Iran.
- [27] Nachtergaele, J., Poesen, J., Sidorchuk, A., and Torri, D., 2002. Prediction of concentrated flow width in ephemeral gully channels, *Hydrological Processes* 16: 1935-1953.
- [28] Nachtergaele, J., Poesen, J., Steegen, A., Takken, I., Beuselinck, L., Vandekerckhove, L., Govers, G. 2001. The value of a physically based model versus an empirical approach in the prediction of ephemeral gully erosion for loess-derived soils, *Geomorphology* 40: 237-252.
- [29] Nazarisamani, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Boggs, G., Ghoddousi, J., and A., Malekian. 2009. Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran Boushehr- Samal watershed, *Journal of Asian Earth Sciences* 35, 180-189.
- [30] Nazari-samani, A.A., H. Ahmadi, M. Jafari and J. Ghodoosi. 2009. Investigation of factors affecting sediment yield from gully erosion in small watersheds, case study: Dareh Kareh watershed, Boushehr. *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 69: 19-34 (in Persian).
- [31] Nearing, M.A., Brafordd, J.M., 1985. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils, *Soil Science* 49: 547-552.
- [31] Owliaie, H.R., Abtahi, A. and Heckr, R.J. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma*, 134 (1-2): 62-81.
- [32] Parkner, T., M., M. Page, N. Marden. and Marutani, T. 2007. Gully systems under undisturbed indigenous forest, East Coast Region. *J. Geomorphology (New Zealand)*, 84: 241-253.
- [33] Poesen, J., Vanwalleghem, T., de Vente, J., et al. (2006) Gully erosion in Europe. In Boardman, J. and Poesen, J. (eds) *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons, Chichester, UK: 515-36.
- [24] Prosser, I.P., Dietrich, W.E., Stevenson, J., 1995. Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley, *Geomorphology* 13: 71-86.
- [35] Raeiisi-neshad, A., Refahei, H, m Sarmadian. F. and Gurji. M. 2011. Assessing gully erosion and its development using RS and GIS in Taleghan watershed. *Journal of Soil Science*, A (25); 70-81 (in Persian).
- [36] Shadfar, S. 2015. Assessment of gully erosion using GIS and Fuzzy; case study Tarood watershed, *Geographical Data (SEPEHR)*, 23 (92): 35-42.
- [37] Shafeie, A., Khazayi, M., Molayi, A. And Sofi, M. 2011. Study and Comparison of Pedological and Morphoclimatical Charastrictics of Gullies. *Iranian J. Water and Irrigation Engineering*, 2 (5); 27-38.
- [38] Sokouti, R., Mahdian, M.H. and Farshad, M. 2009. The effects of Physical and Chemical Properties of Marl Derived Soil on the Erosion Forms and Rates, *Goldschmidt Conference Abstract*, <http://www.igm.ineti.pt/>
- [39] Soleimanpour, S.M., M. Soufi and H. Ahmadi. 2010. Determining effective factors on gully development in Konartakhte region, Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 23(1): 131-141 (in Persian).
- [40] Statistical Center of Iran. 2013. Annual Reort; forest, rangeland and desert area. [amar.org.ir](http://amar.org.ir).
- [41] Torri, D., Borselli, L., Iaquina, P., Iovine, G., Poesen, J. and Terranova, O. 2012. Generalizing a complex model for gully threshold identification in the Mediterranean environment. *Geophysical Research*, 14; 2012-2764.



- [42] Valentin, C., Poesen, J. and Li. G. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *CATENA*, 63; 132–153.
- [43] Vanwallegem, T., Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., 2005. Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils, *Geomorphology* 69: 76.91.
- [44] Vente, J.d., Poesen, J, Verstraeten, G., Rompaey, A.V. and Govers, G. 2008. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60: 393–415.
- [45] Wani, P.P. and Sudi, R. 2006. Gully Control in SAT Watershed. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. SAT, Vol.2, issue 1.
- [46] Wilson, G.V., R.F. Cullum and M.J. Romkens. 2008. Ephemeral gully erosion by preferential flow through a discontinuous soil-pipe. *Catena*, 73: 98-106.

