



"مقاله پژوهشی"

بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرساینده‌ی باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزندچای

موسی عابدینی

استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، (نویسنده مسوول: Abedini@uma.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۷

صفحه: ۱۰۰ تا ۱۱۱

چکیده

با توجه به گسترش چشمگیر سازندهای سطحی و زمین شناسی حساس به عوامل فرسایش خطی و دخالت شدید انسان‌ها، فرسایش خندقی یکی از عوامل مهم در اتلاف خاک‌های سطح اراضی حوضه هرزندچای است. به دلیل اهمیت موضوع فرسایش خندقی در حوضه مذکور ۳۵ نمونه از خندق‌های حوضه در کارهای میدانی انتخاب شد و برخی از ابعاد آنها مانند طول، عرض، عمق شیب متوسط خندق‌ها مورفومتری گردید. سپس اقدام به تعیین روابط همبستگی پارامترها از طریق رگرسیون خطی و تجزیه و تحلیل اثرگذاری آنها به همدیگر شد. برای تعیین و ارزیابی میزان استعداد حوضه به فرسایش خطی به ویژه خندقی از شاخص‌های نوسان رطوبت خاک (Ws) و ضریب هیدروترمال (ET) و هم‌چنین میزان (pH) و هدایت الکتریسته (Ec) خاک‌های حوضه بعد از نمونه برداری تعیین شد. مقادیر منفی نوسان رطوبت خاک (Ws) به غیر از ماه‌های دی، بهمن، اسفند، سایر ماه‌های سال نشان دهنده استعداد بالای فرسایش خندقی است. مقادیر ضریب هیدروترمال ۲,۵۲۴ پ.هائس و هدایت الکتریسته نمونه‌ها به ترتیب بین ۶/۳ تا ۸/۲ نشانگر استعداد خاک‌ها به فرسایش خطی هستند. در مجموع متوسط فرسایش‌زائی باران حوضه برحسب تن در هکتار در سال با توجه به نتایج فرمول‌های مذکور ۲۰۱/۰۵ ton.hec.y و مجموع کل فرسایش سالانه خاک در حوضه ۴۱۲۱۵۲۵ تن و برای هر هکتار ۲۹۱ تن برآورد شد. نتایج تحقیق نشانگر میزان بالای فرسایش خاک و توسعه خندق‌ها در حوضه مورد تحقیق است. در نهایت پیشنهادهایی جهت کاهش و کنترل فرسایش خاک و به ویژه خندقی ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تولید رسوب، حوضه هرزندچای، شاخص‌های فرساینده‌ی، فرسایش خندقی، مورفومتری و رگرسیون خطی

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان، اهمیت مطالعات فرسایش خاک به عنوان یکی از مهمترین مسائل بخش توسعه پایدار کشاورزی و تولید غذا و عوارض زیست‌محیطی آن، بیشتر آشکار می‌باشد. فرسایش خاک یکی از مسایل مهم زیست محیطی جهان است (۲۶،۴۰). فرسایش آبکندی یکی از اشکال پیشرفته و پروسوب فرسایش آبی است که به کاهش توان خاک و ایجاد محدودیت در کاربری اراضی منجر می‌شود و می‌تواند خطری برای سازه‌های مختلف باشد (۳۲).

مسأله‌ی فرسایش خاک و تخریب زمین یکی از مهمترین مسائل در علوم طبیعی است که ارزیابی پیامدهای زیست محیطی و اقتصادی آن به داده‌های کمی نیاز دارد (۲۸). در ضمن فرسایش خاک و آثار مخربی در بلند مدت بر اکوسیستم‌های طبیعی و نیز تحت مدیریت انسان دارد. فرسایش خاک موجب کاهش حاصلخیزی و بازده خاک، تأثیر نامطلوب بر کیفیت و کمیت روان‌آب‌ها، کاهش بازدهی سدها و کانال‌های آبیاری و تولید مواد غذایی دارد (۱۴). بنابراین مطالعه و مدیریت حوضه‌های آبخیز جهت جلوگیری از به هم خوردن وضعیت آب و خاک، گیاه و زمین، امری بسیار ضروری است. در اغلب موارد، حدود ۹۰٪ مواد تنها از ۱۰٪ سطح یک حوضه به دست می‌آید که مطالعه اینگونه نقاط بحرانی بسیار مهم است (۳۶). خاک‌های حوضه‌های آبخیز یا آبریز تحت عوامل گوناگونی فرسایش می‌یابند که یکی از مهمترین آنها فرسایش خندقی است. فرسایش خندقی در آب

و هوای نیمه‌خشک بسیار معمول است (۳۸،۱۷). خندق آبراه‌های است نسبتاً دائمی که جریان‌های موقت آب در هنگام بارندگی از آن می‌گذرد و مقدار بسیار زیادی رسوب توسط آنها تخلیه می‌گردد (۲۲،۱).

هرگونه برنامه‌ریزی محیطی در خصوص آمایش سرزمین، مدیریت‌زراعی، آبیاری، سیلاب و نحوه استفاده از روان‌آب‌های سطحی نیازمند مطالعات حوضه‌های آبریز است. سرعت تشکیل خاک در مناطق اقلیمی مختلف متفاوت می‌باشد. خندق‌ها به علت تمرکز روان‌آب‌ها در شیارها و عریض‌تر و عمیق‌تر شدن آنها شکل می‌گیرند.

فرسایش خندقی یکی از مهمترین و پیچیده‌ترین نوع فرسایش می‌باشد که جهت کنترل آن باید عوامل مؤثر را شناخت. رشد خندق در اغلب موارد به‌عنوان معیار عمده تغییرات محیطی در نظر گرفته می‌شود. به دلیل تمرکز جریان آب در شیارهای کوچک و آبراهه‌ها به سهولت حجمی زیادی از خاک‌های سطح‌الارضی مفید در مدت کوتاهی به واسطه فرسایش شیاری و خندقی نسبت به سایر عوامل فرسایش جابه‌جا می‌شود.

رامشت و همکاران (۳۵) در تحقیقی به روش‌های کمی به ارزیابی خندق‌ها پرداخته و در نهایت پیشنهاد کرده‌اند که بر حسب ویژگی‌های اقلیمی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی، مدل مناسب برای ارزیابی میزان فرسایش خندقی در هر منطقه مشخص شود. فرج‌زاده و همکاران (۱۵) در محیط نرم‌افزار ArcGIS اقدام به تهیه نقشه حساسیت خاک‌ها به فرسایش خندقی شدن با استفاده از مدل رگرسیون چند

اهمیت فرسایش خندقی در حوضه هرزند چای، در این تحقیق به بررسی‌های مورفومتری خندق‌ها و با بهره‌مندی از رگرسبون خطی و نیز شاخص‌های فرساینده‌ی باران جهت تجزیه و تحلیل کمی مسائل آنها کردیم.

مواد و روش‌ها

این مقاله نتیجه حاصل از طرح پژوهشی دانشجویی دانشگاه اتمام یافته نگارنده است. با بررسی میدانی سازندهای سطحی و نمونه برداری از خاک‌های نقاط مختلف حوضه جهت تعیین میزان (pH و EC) و انجام کارهای مورفومتری خندق‌ها و با استفاده از فرمول‌های تجربی به عمل آمده است. جهت پی بردن به استعداد خندق‌زائی در حوضه از شاخص‌های معمول اقلیمی مانند (شاخص HTK.Ws) استفاده شد. از شاخص‌های فرساینده‌ی باران و فرسایش و رسوب سپاسخواه، فورنیه^۲ و آرنولدوس^۳ نیز استفاده گردید. به‌علاوه بعد از مورفومتری ابعاد خندق‌ها (طول، عمق، عرض، ارتفاع متوسط محل، شیب متوسط) در کارهای میدانی در طول انجام طرح پژوهشی^۴، با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Excel و ArcGIS ترسیم نقشه‌ها و نمودارها و تعیین روابط همبستگی رگرسبون خطی و سطح معنی‌داری، متغیرها تجزیه و تحلیل گردید. در ضمن از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و داده‌های اقلیمی شهرستان مرند استفاده شد. لازم به ذکر است که نقشه‌های زمین‌شناسی برای تهیه نقشه لیتولوژی (شکل ۲)، از نقشه‌های توپوگرافی جهت تهیه نمودار هیپسومتر (شکل ۳) و نقشه شکل (۱) و از داده‌های اقلیمی بلند مدت که در جدول (۳) آورده ایم برای تعیین شاخص‌های اقلیمی فرساینده‌ی باران و... استفاده شده است.

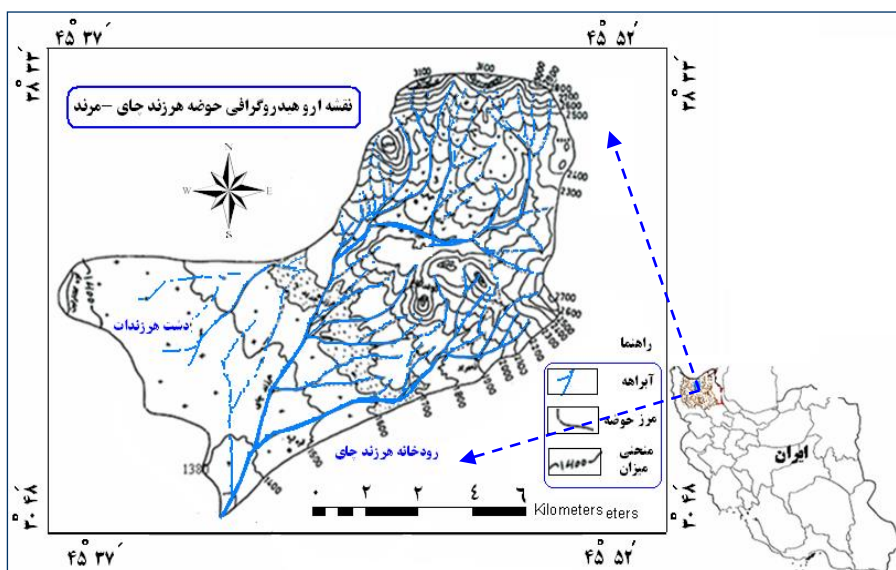
موقعیت جغرافیایی

حوضه هرزندچای با مساحت ۲۰۵ کیلومترمربع در یک منطقه کوهستانی سردسیر در شمال غرب ایران و در بین عرض شمالی ۳۳ درجه ۲۸ دقیقه تا ۴۸ درجه ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۴۵ درجه ۵۲ دقیقه الی ۴۵ درجه ۳۷ دقیقه در شهرستان مرند قرار دارد. این حوضه دارای خاک‌های بسیار حاصلخیز برای کشاورزی است و میزان بارندگی آن حدود ۳۲۰ میلی‌متر و غالباً به صورت برف در فصول سرد سال می‌باشد. حوضه مورد تحقیق از شهرستان مرزی جلفا و رودخانه دائمی ارس، ۱۶ کیلومتر فاصله دارد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه مورد تحقیق نشان داده شده است.

متغیره برای جنوب شرق استان مازندران؛ کیاسر کرده‌اند. در طبقه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی، بیشترین سهم به ترتیب مربوط به به فاکتورهای لیتولوژی، خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی و کاربری زمین بوده است. عابدینی (۲) از طریق تجزیه و تحلیل کمی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز کلکان‌چای در نزدیکی شهر تبریز، با بهره‌مندی از روش‌های مورفومتری و تحلیل‌های آماری، خاک‌های حوضه را به لحاظ پتانسیل فرسایش خندقی بسیار بالا ذکر نموده‌اند. واعظی و بخشی‌راد (۴۳) به بررسی ویژگی‌های مورفومتری آبکندها و عوامل مؤثر بر گسترش آن‌ها در کاربری زراعت دیم در جنوب استان آذربایجان شرقی نموده‌اند و نتایج نشان داده که طول دامنه مهم‌ترین عامل مؤثر بر گسترش آبکندها در منطقه است. به‌طوری که در دامنه‌های طولانی، توسعه طولی آبکند و در نتیجه گسترش حجمی آبکند بیش‌تر است.

در تحقیق میدانی دیسکروس و همکاران (۱۳) اقدام به اندازه‌گیری روان‌آب‌ها و مقادیر خاک فرسایش یافته در منطقه سیرامادر در شمال مکزیک کرده و نقش فرسایش صفحه‌ای و خندقی را ممیزی کرده‌اند. اسمولسکا (۳۳) در شمال شرق لهستان با تحقیق در مورد فرسایش خندقی به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات رسوبی و ماهیت آن ارتباط تنگاتنگی با تغییرات کاربری اراضی زراعی و جنگلی دارد. هم چنین مرحله پیدایش (سن) در ارتباط با فعالیت‌های انسانی و نوع سازند، اقلیم و سرعت توسعه خندق‌ها آنها نیز در ارتباط متقابل دخالت انسانی انجام می‌گیرد. کمپن و همکاران (۲۴) با بهره‌مندی از GIS نقشه فرسایش خندقی برای منطقه آنامبرا^۱ در جنوب شرق نیجریه، تهیه نموده‌اند. آنان در آن نقش فرسایش خاک‌های منطقه را به ۹ گروه به لحاظ فرسایشی دسته‌بندی کرده و ۲ طبقه از تپ خاک‌ها را، مستعد خندق‌زایی بیان کرده‌اند. به علاوه ناکونانو و اوکیکی (۲۹) با بهره‌مندی از نقشه‌های خاک‌شناسی منطقه از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تعیین خندق‌های فعال با توجه به ویژگی‌های خاک‌ها (به ویژه بافت) آنها کرده است. همچنین محققین زیادی از جمله بشارتی و همکاران (۱۰)، تاهو ونگ و همکاران (۴۲)، ضمیر (۴۵)، منفرد و همکاران (۲۶)، سقفی و اسماعیلی (۳۹)، نیری (۲۸)، صادقی و همکاران (۴۱)، پروین (۳۰)، عرب‌عامری (۷،۹)، آرمین و همکاران (۸)، سادهیوسام و همکاران (۳۱)، احمد جی و همکاران (۴)، جیبیانگ سی و همکاران (۲۱) و یمانی و همکاران (۴۴)، در مورد فرسایش خاک، مورفومتری و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی خندق‌ها کار کرده‌اند.

در حوضه هرزندچای فرسایش شیاری و خندقی یکی از فرایندهای مهم تخریب و جابجائی مواد و عناصر در روی دامنه‌ها و سطوح کم شیب دشت‌های منطقه است. لذا به دلیل



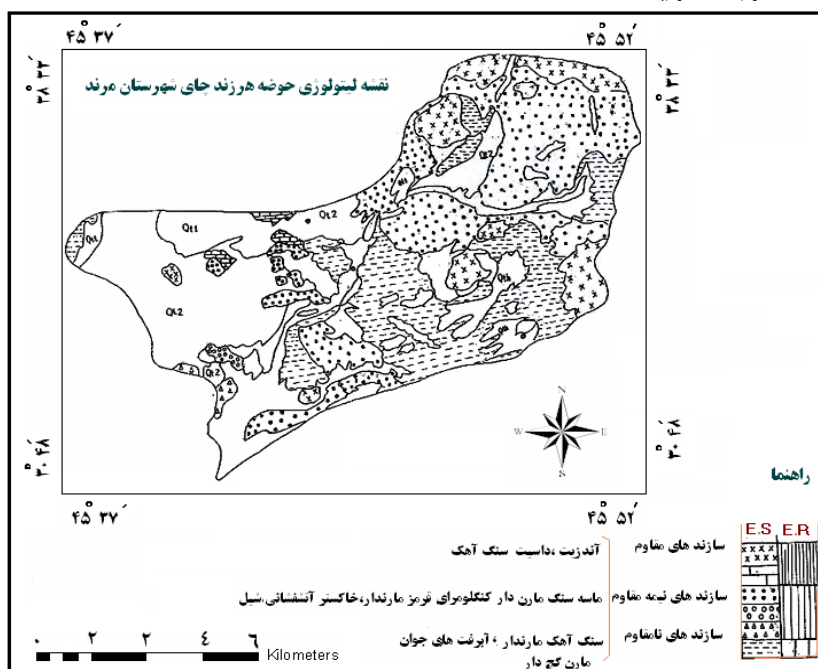
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه هرزند چای در شمال غرب ایران
Figure 1. Geographical location of Chazandeh Chai basin in northwestern Iran

نقشه لیتولوژی حوضه با توجه به مقاومت لیتولوژیکی، نوع سازندهای زمین شناسی و سطحی نشان داده شده است، شکل (۲). سازندهای زمین شناسی حوضه شامل سازندهای مقاوم (آندزیت، داسیت و سنگ آهک)، سازندهای نیمه مقاوم (شیل، ماسه سنگ‌های مارن دار، کنگلومرای قرمز و خاکسترهای آتشفشانی) و سازندهای نامقاوم شامل مارن‌های گچ دار، آبرفت‌های جوان، سنگ آهک مارنی نازک لایه است.

نتایج و بحث

لیتولوژی و اقلیم حوضه

سازندهای زمین شناسی در حوضه مورد تحقیق از ماسه سنگ‌های دونین تا نهشته‌های آبرفتی عصر کنونی قابل در این حوضه وجود دارند. از لحاظ سختی و نرمی (لیتولوژی) و مقاومت سازندهای زمین شناسی و سطحی حوضه مورد تحقیق در برابر عوامل فرسایش حاکم به سه دسته (سازندهای مقاوم، نیمه مقاوم، نامقاوم) طبقه بندی شدند. در

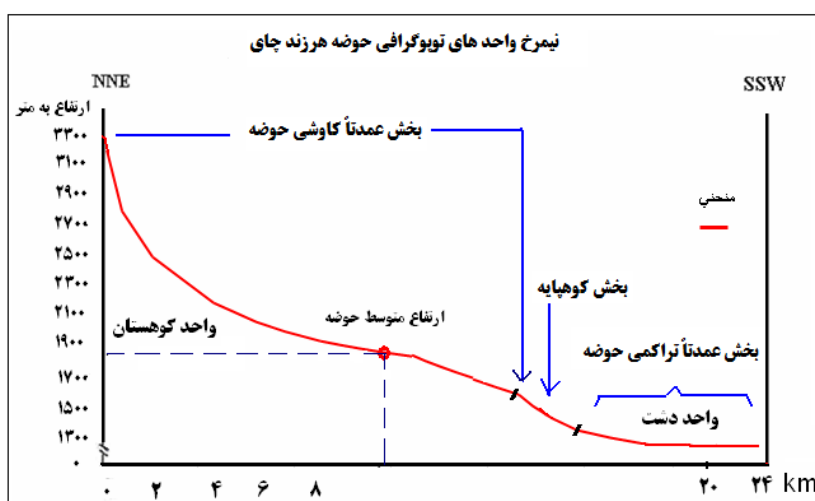


شکل ۲- نقشه لیتولوژی حوضه هرزند چای مرند
Figure 2. Lithology map of Harzand Chai Marand basin

وضعیت توپوگرافی و اقلیمی حوضه

حوضه هرزندچای با شیب متوسط ۶/۲٪ و با حداکثر ارتفاع ۳۳۰۰ متر و حداقل ۱۳۵۰ متر، از سه واحد توپوگرافی مستقل (واحد کوهستان نسبتاً مرتفع، واحد کوهپایه و واحد دشت تشکیل شده است (شکل ۳). منحنی هیپسومتری حوضه هرزندچای که بر مبنای نقشه توپوگرافی بر اساس داده‌های واقعی ترسیم شد که توزیع تجمعی سطح را به ازای ارتفاع نشان می‌دهد (شکل ۳). در حدود ۵۰٪ از حوضه هرزندچای عوامل تراکمی بر کاوشی و حفر برتری دارد که این قسمت شامل محدوده‌ای از منحنی میزان ۱۳۲۰ الی ۱۷۶۰ متر را شامل می‌شود. با وجود این در این بخش‌ها روان آب‌ها منجر به فرسایش خندقی شده‌اند

با توجه به داده‌های اقلیمی ۲۵ ساله ایستگاه کلیماتولوژی متوسط بارش حوضه مورد تحقیق ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. به طور متوسط تعداد روزهای یخبندان ۱۱۷ روز و میانگین تغییرات شبانه‌روزی دما سالانه ۲۶/۶۰ و حداکثر دمای مطلق ۳۸/۵ و حداقل آن در بهمن ماه ۲۲/۸- می‌رسد. نوع اقلیم حوضه (با ضریب خشکی ۱۵/۵) طبق روش دومارتن نیمه‌خشک می‌باشد. تغییرات شبانه‌روزی دما در سطح حوضه به ویژه در سطوح دامنه‌های سنگلاخی نقش مهمی را در تخریب فیزیکی سنگ‌ها دارد. به‌علاوه بی‌نظمی در بارش در فصول گرم موجب فرسایش شدید خاک، توسعه شیارها و خندق‌ها در حوضه می‌شوند.



شکل ۳- نمودار هیپسومتری حوضه آبریز هرزندچای واحدهای توپوگرافی (منبع نگارنده)

Figure 3. Hypsometric diagram of wastewater catchment area of topographic units (author source)

سطحی و زمین‌شناسی نامقاوم و نیمه‌مقاوم مانند آبرفت‌های جوان و قدیمی باترکیبی از شن، ماسه، قلوه سنگ، رسی و سیلت (آبرفت‌ها، ریگولیت‌ها)، انواع مارن‌های نمک‌دار و آهکی میوسن و نئوژن و کنگلومراهای رسی و مارنی در حوضه گسترش زیادی دارند و حساس به فرسایش خطی روان‌آب‌ها هستند (شکل ۲). حوضه‌هایی که بین ۵۰ - ۱۰۰ درصد از مساحت آنها از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده باشد به حوضه‌های بالقوه فرسایش‌پذیر معروفند (۲۲). در سطح سازندهای مارنی و ریزدانه زمان تمرکز سریع روان‌آبها در واحد سطح، منجر به پیدایش فرسایش خندقی خاک در حوضه هرزندچای می‌شود.

از خاک‌های نقاط مختلف حوضه در اواسط اردیبهشت ماه برای آزمایش میزان هدایت الکتریکی (EC) و پ.هاش (pH) یا اسیدیته آنها نمونه برداری شد و نتایج در جدول (۱) آورده شده است. میزان پ.هاش خاک‌های حوضه هرزندات از ۶ تا ۸/۳ به ترتیب از شیب‌های بسیار کم تا شیب‌های ۲۵٪ طبق نتایج آزمایشات در اواسط اردیبهشت ماه متغیر بوده است. میزان پ.هاش خاک‌های تحول یافته (عمدتاً خاک‌های ریزدانه سطح دشت)، پائین ولی هدایت الکتریسته آن قسمت‌ها بر عکس بالا بود. از نظر مستعد بودن برای فرسایش خندقی، مقدار پتانسیل هیدروژن (pH=۵/۹) و هدایت الکتریکی (۰/۱)، حد آستانه برای پیدایش فرسایش خطی ای پینگ، شیاری و خندقی می‌باشند. سازندهای

جدول ۱- یستگاه‌های مورد مطالعه حوضه هرزندچای برای هدایت الکتریکی EC و پ. هاش (pH)

Table 1. The studied stations of Harzandchai basin for electrical conduction of EC and p. Hash (pH)

EC	pH	نام ایستگاه‌های نمونه برداری
۱	۶/۲	کنار پمپ بنزین در وسط دشت هرزندات
۰/۸	۷/۵	شرق روستای میاب
۰/۲۳	۷/۱	جنوب روستای میاب
۰/۶۳	۶	دشت هرزندات روستای قره تپه
۰/۲۴	۸/۲	تراس رودخانه هرزندات در بالا دست

فرو ریزش کرده و در مواقع جاری شدن آب‌ها عریض نیز می‌شوند. در شکل (۵) نمودار رگرسیون خطی بین پارامترهای طول و شیب با مقدار همبستگی منفی و معکوس ($R=0/43$) نشانگر تأثیرگذاری این دو پارامتر برهم‌دیگر است. بدین مفهوم که با افزایش میزان شیب بستر خندق‌ها، طول آنها کاهش یافته است. علت این امر کوتاه شدن بخش شیب‌دار دامنه‌های حوضه که حاوی سازندهای سست تخریبی مستعد به فرسایش خطی است. افزایش طول آنها در مناطق با شیب نسبتاً ملایم حوضه نیز در نتیجه وجود سازندهای سست و ضخیم در در بخش‌های میانی، پایکوهی و اراضی دشتی حوضه است. شکل‌گیری خندق در اراضی کم شیب و همواره ۶/۱ برابر اراضی نسبتاً شیب‌دار است، این میزان در فصول بهار به ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. زیرا در اراضی کم شیب خاکزائی به خوبی صورت گرفته و به علاوه روان‌آب‌ها فرصت کافی برای هیدرولیز، انحلال و جدا سازی عناصر و خارج کردن مواد سست را دارند. خاک‌های حاوی ۴۰ الی ۶۰ درصد سیلت حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش آبی هستند (۳۷). در دامنه‌های کم شیب حوضه درصد سیلت بسیار بالاست و لذا حساسیت زیادی به فرسایش خطی روان‌آب‌ها دارند. تجربه نشان داده که با کشت گیاهان بوته‌ای و مرتعی و درختان سازگار با اقلیم منطقه تلفات خاک ۷۵ تا ۹۰ درصد و سرعت خندقی شدن تا ۶۵ درصد تا ۸۰ درصد کاهش می‌یابد (۵).

در مطالعات میدانی حدود ۳۵ نمونه خندق، انتخاب شد و پارامترهای مختلف آنها بررسی و تجزیه و تحلیل گردید. طبقه‌بندی خندق‌های حوضه نیز بر مبنای پارامتر طول مطابق روش احمدی (۵) انجام گرفت. مطابق آن، خندق‌های کمتر از ۱۲۰ متر طول کوچک، بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ متوسط و بزرگتر از ۲۴۰ بزرگ محسوب می‌شود. نتایج طبقه‌بندی خندق‌های حوضه مورد تحقیق در جداول (۲) آورده شد. اغلب خندق‌های حوضه در سطوح دامنه‌های کم-شیب حوضه، در سازندهای سست ریزدانه مارنی، به ویژه در سطح سازندهای آبرفتی جوان (حاوی شن، ماسه و رس، سیلت دشت‌میاب و هرزندات مرنده) گسترش دارند. با افزایش درصد سیلت میزان فرسایش پذیری خاک به دلیل مستعد بودن ذرات سیلتی و رسی (۲ تا ۵۰ میکرون) به فرسایش، به شدت بالا می‌رود (۳۵). خندق‌های سطوح کم شیب از بخش کوهپایه تا وسط دشت‌ها هم از لحاظ طول، هم از لحاظ عرض و عمق برخندق‌های بخش‌های تند شیب دامنه‌ها حوضه برتری دارند. چنانکه در نمودار شکل (۴) می‌توان مشاهده کرد، رابطه همبستگی خطی مثبت معنی‌دار ($R=0/77$) بین پارامترهای عمق و عرض خندق‌های حوضه وجود دارد. لذا این حالت نشانگر تأثیر عمق آنها بر عرض‌شان می‌باشد. خندق‌ها هرچه در سازندهای سست به مرور زمان عمیق‌تر می‌شوند، تحت فرسایش زیاد خاک کناره دیواره آنها

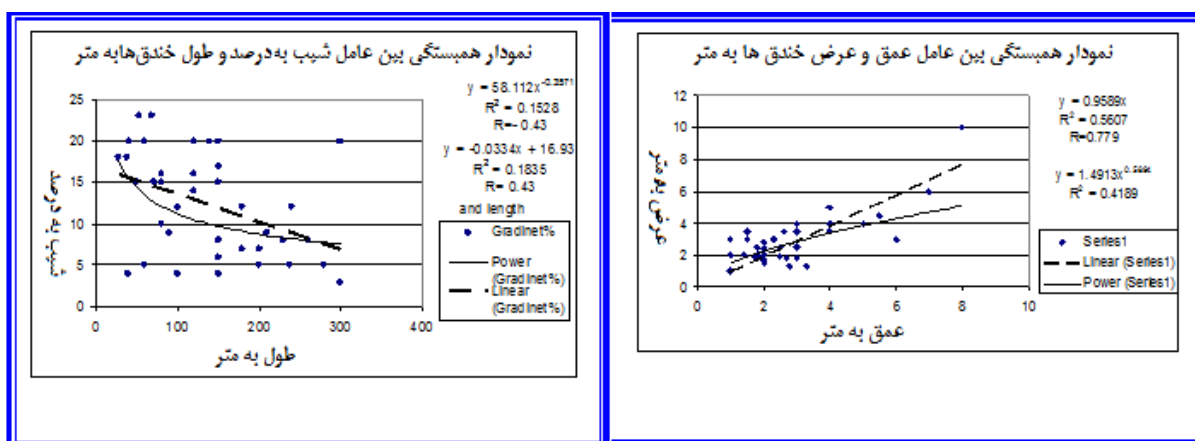
جدول ۲- پارامترهای مورفومتری شده خندق‌های حوضه، نوع سازند و طبقه‌بندی خندق‌ها بر مبنای طول

Table 2. Morphometric parameters of basin ditches, formation type and classification of ditches based on length

تعداد نمونه	متوسط ارتفاع	شیب %	طول به متر	عرض به متر (m)	عمق به متر (m)	نوع سازند	طبقه‌بندی خندق‌ها با توجه به ارتفاع
۱	۱۳۲۰	۹٫۵	۱۵۰	۲	۱/۳	ریگولیت	متوسط
۲	۱۳۴۰	۷	۱۸۰	۱/۸	۳	ریگولیت	بزرگ
۳	۱۴۰۰	۶	۱۵۰	۲	۲	لومی ماسه‌ای و سیلتی رسی	متوسط
۴	۱۳۶۰	۱۳	۲۵۰	۲/۵	۳	رس و مارن	متوسط
۵	۱۴۰۰	۱۰	۸۰	۳	۱	مارن و آبرفت	بزرگ
۶	۱۳۶۰	۱۵	۲۳۰	۱/۹	۱/۷	آبرفت‌های رسی شنی و ماسه ای	متوسط
۷	۱۵۰۰	۲۰	۱۴۰	۲/۵	۲/۵	ریگولیت	متوسط
۸	۱۵۵۰	۱۷	۱۵۰	۱/۸	۱/۸	شیل، مارن	کوچک
۹	۱۸۰۰	۲۰	۴۱	۲/۴	۲	آبرفت‌های ریز دانه	کوچک
۱۰	۱۸۴۰	۱۵	۶۳	۴	۳	مارن‌های آهکی	کوچک
۱۱	۱۰۰۰	۱۲	۱۰۰	۱/۷	۲	لوم و سیلت و رس	کوچک
۱۲	۲۱۵۰	۲۵	۹۰	۱/۷	۳	مارن‌های آهکی	کوچک
۱۳	۲۰۰۰	۲۰	۱۲۰	۳	۱/۵	لومی ماسه‌ای و سیلتی رسی	متوسط
۱۴	۱۱۰۰	۷	۲۱۰	۱/۳	۲/۸	آبرفت‌های ریز دانه	بزرگ
۱۵	۲۲۰۰	۲۸	۵۳	۱	۱	شن، ماسه، سیلت، رس	کوچک
۱۶	۲۰۵۰	۱۵	۷۱	۱/۶	۱	شن، ماسه، سیلت، رس	کوچک

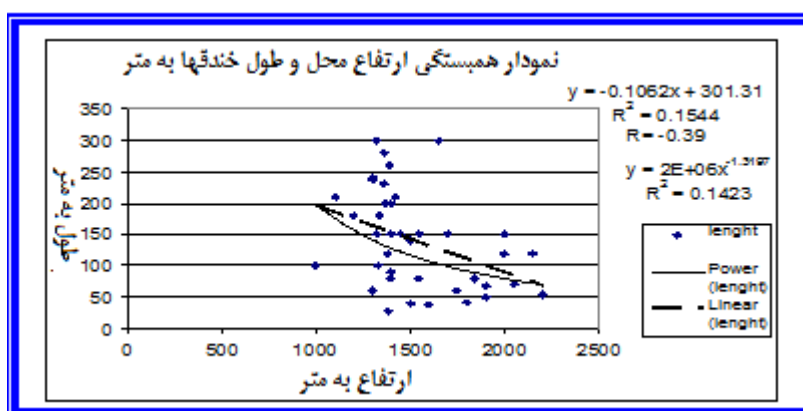
ادامه جدول ۲- پارامترهای مورفومتری شده خندق‌های حوضه، نوع سازند و طبقه‌بندی خندق‌ها بر مبنای طول
Continuad of Table 2. Morphometric parameters of basin ditches, type of formation and classification of ditches based on length

تعداد نمونه	متوسط ارتفاع	شیب %	طول به متر	عرض به متر	عمق به متر (m)	نوع سازند	طبقه‌بندی خندق‌ها با توجه به ارتفاع
۱۷	۲۲۰۰	۲۰	۱۵۰	۳	۱/۵	ریگولیت	متوسط
۱۸	۱۳۹۰	۸	۲۶۰	۳	۲/۳	آبرفت‌های ریز دانه	بزرگ
۱۹	۱۲۰۰	۱۲	۱۶۰	۲	۲/۵	لوم و سیلت و رس	متوسط
۲۰	۱۳۰۰	۱۰	۲۴۰	۱/۳	۳/۳	مارن‌های آهکی	بزرگ
۲۱	۱۹۰۰	۲۰	۵۰	۱/۸	۱	شن، ماسه، سیلت، رس	کوچک
۲۲	۱۹۰۰	۲۵	۶۸	۲	۱/۸	شن، ماسه، سیلت، رس	کوچک
۲۳	۱۶۰۰	۵	۱۰۵	۱/۸	۲/۷	ریگولیت	کوچک
۲۴	۲۸۸	۵	۲۸۸	۳/۵	۲/۶	ریگولیت	بزرگ
۲۵	۱۶۰۰	۱۸	۳۸	۱/۹	۱/۷	آبرفت‌های ریز دانه	کوچک
۲۶	۱۶۵۰	۲۰	۸۸	۲	۱/۴	شیل‌های مارن دار و رسی	کوچک
۲۷	۱۷۴۰	۲۰	۴۵	۱	۱	آبرفت‌های ریز دانه	کوچک
۲۸	۱۷۰۰	۱۵	۱۵۰	۳	۱/۳	ریگولیت	متوسط
۲۹	۱۵۵۰	۱۶	۸۰	۲/۵	۱/۸	ریگولیت	کوچک
۳۰	۱۴۰۰	۹	۵۰	۲/۵	۳	لومی ماسه‌ای و سیلتی رسی	کوچک
۳۱	۱۴۰۰	۱۵	۸۰	۲	۱/۸	لومی ماسه‌ای و سیلتی رسی	کوچک
۳۲	۱۵۰۰	۴	۴۰	۵	۴	آبرفت‌های ریز دانه	کوچک
۳۳	۱۳۸۰	۱۸	۲۸	۳/۵	۴	ریگولیت	کوچک
۳۴	۱۴۰۰	۷	۲۰۰	۵/۱	۲	شن، ماسه، سیلت، رس	متوسط
۳۵	۱۴۵۰	۴	۱۵۰	۳/۵	۳	ماسه، سیلت، رس	متوسط



شکل ۴- نمودار رگرسیون خطی و توانی بین پارامترهای عمق و عرض خندق‌های حوضه و شکل ۵ نمودار رگرسیون خطی و توانی بین پارامترهای طول و شیب بستر خندق‌های حوضه

Figure 4. Diagram of linear and power regression between depth and width parameters of basin ditches and Figure 5 Linear and power regression diagram between bed length and slope parameters of basin ditches



شکل ۶- نمودار رگرسیون خطی و توانی بین پارامترهای ارتفاع محل و طول خندق‌های حوضه
Figure 6. Linear and power regression diagram between site height parameters and basin ditches length

برآورد میزان فرسایش و رسوبدهی حوضه

جهت پی بردن به مقدار رسوب‌ویژه در هکتار به عنوان شاخص فرسایش‌زائی باران (فرسایش خطی) و نیز استعداد خندق‌زائی منطقه، از فرمول‌های تجربی متفاوتی که با شرایط اقلیم کشورمان به ویژه اقلیم آذربایجان سازگاری دارند، استفاده شده است. برای مشخص کردن استعداد خندق‌زائی حوضه به فرسایش خندقی از ضرایب ساده و مهم، ضریب هیدروترمال^۱ بهره گرفتیم.

ضریب هیدروترمال

رابطه (۱):

$$HTK = (ER/ET) 10$$

$$HTK = (ER/ET) 10$$

$$ER = 346.5 \quad ET = 1570.4$$

$$HTK = (346.5/1570.4) 10 = 2.524$$

که در آن ER مجموع بارش سالانه به میلی‌متر و ET ضریب دمائی برای ماه‌هایی از سال که دمای منطقه بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد است^۲.

اگر میزان ضریب هیدروترمال در محدوده ۱/۲۵ الی ۲/۵ نوسان کند این مناطق برای خندق‌زائی بسیار مستعد می‌باشند (۱،۳)، مقدار ضریب هیدروترمال بر اساس داده‌های اقلیمی منطقه، ۲/۵۲۴ می‌باشد و نشانگر آن است که این حوضه از لحاظ اقلیمی برای فرسایش خندقی تا حدودی مستعد است.

تعیین شاخص^۳Ws (نوسان رطوبت خاک)

این شاخص جهت ارزیابی استعداد مناطق و یا حوضه‌ها به فرسایش خطی روان‌آبها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این ضریب استعداد بالقوه خندق‌زائی مناطق را در ارتباط با پارامترهای اقلیمی منطقه محاسبه می‌کنند (۲۷،۱۱) و عابدینی (۱۰). به استثنای ماه‌های دی، بهمن، اسفند و مهر بقیه ماه‌های حوضه دارای شاخص نوسان رطوبتی منفی (Ws منفی) می‌باشند (جدول ۳). ماه‌هایی که دارای نوسان رطوبتی منفی هستند برای فرسایش خطی به ویژه فرسایش خندقی مستعد هستند. بدین مفهوم که فرسایش خاک‌های حوضه در صورت وقوع بارندگی نسبتاً شدید در ماه‌های دارای منفی به شدت صورت می‌گیرد^۴. تناوب فصول خشک و مرطوب موجب می‌شود که در فصول خشک با خشک شدن و

جدول ۳- داده‌های اقلیمی حوضه (دوره آماری ۲۰ ساله موجود)

Table 3. Climate data of the basin (existing 20-year statistical period)

ماهها	متوسط بارش ماهانه mm	متوسط دمای ماهانه C	تعداد روزهای یخبندان	Rp	Pi متوسط بارش ماهانه mm	Pi ² /p بارش ماهانه به سالانه	Ws
J	۳۳/۳	-۳/۷۵	۲۹/۳۷	۹۷/۵	۳۳/۳	۲/۶۵	۱۷
F	۱۹/۴۸	-۱/۹۱	۲۶/۰۶	۱۵۲/۷	۱۹/۴۸	۱/۰۹	۶۹/۷
M	۴۳/۳۴	۴/۹	۱۷/۱۲	۲۱۴/۹	۴۳/۳۴	۵/۴۲	-۳۵/۱
A	۵۵/۴۸	۱۰/۸	۲/۶۲	۵۳۴	۵۵/۴۸	۸/۹	-۴۴/۳
M	۶۸/۴۳	۱۱/۶	-	۵۵۸	۶۸/۳	۱۳/۵	-۴۲/۲
J	۲۴/۲۸	۲۰/۴۵	-	۸۲۳/۵	۲۴/۲۸	۱/۷	-۳۹/۱
J	۷/۰۴	۲۴/۶	-	۹۵۴	۷/۰۴	-۱/۴۳	-۳۸/۵
A	۵/۶۵	۲۴/۸	-	۹۳۴/۵	۵/۶۵	-۰/۹۲	-۳۷/۵
S	۱۶/۱۴	۲۰/۳	-	۸۱۹	۱۶/۱۴	-۰/۷۵	-۳۹/۶
O	۲۵/۶۹	۱۲/۹	۱۲/۵	۵۹۷	۲۵/۱۹	۱/۸۳	-۴۴/۳
N	۳۱/۶۸	۱۵/۲۱	۱۶/۲۵	۲۱۵/۲	۳۴/۶۸	۳/۵	-۳۴/۶
D	۱۶/۵	۰/۳۷	۲۶/۴۶	۲۲/۸۴	۶۶/۵۵	۰/۸	-۱۷

1- Hydrothermal coefficient

۲- این ضریب از جمع دمای ماهانه بالای ۱۰ درجه در سالهای آماری موجود در ایستگاه کلیماتولوژی مرند بدست آمده است.

3 - Soil wettness fluctuation

۴- کیفیت و شدت بارش (بارش‌های شدید) در شکل‌گیری خندق‌ها و رشد آنها به ویژه در خاک‌های سست ریز دانه (لومی و سیلتی) های نقش مهم دارد، (۲۵).

5- Arnoldus

پژمردن پوشش گیاهی محافظ در سطح سازندهای ریزدانه (رسی) ترک‌هایی به وجود آید، این ترک‌ها در زمان اولین بارشی ناگهانی، محل تمرکز روان‌آبها و موجب پیدایش فرسایش خندقی در حوضه می‌شوند.

$$WS = (R - RP) / t$$

رابطه (۲):

که در فرمول فوق R میزان بارندگی متوسط حوضه و RP از محاسبات اقلیمی دما- بارش متوسط به دست می‌آید. (جدول ۳) و میزان t از فرمول $P = 30 \times (t + 7)$ محاسبه شده است (۲،۱۱).

برآورد میزان فرساینده‌ی خاک حوضه از طریق فرمول آرنولدوس^۵

فرمول‌های تجربی زیادی جهت ارزیابی میزان فرسایش خاک با توجه به داده‌های اقلیمی و شرایط طبیعی منطقه ارائه شده است. معمولاً محققین برای پی بردن به استعداد یا پتانسیل خندق‌زائی در حوضه‌های هیدروگرافیک از ضرایب اقلیمی متفاوتی استفاده می‌کنند، یکی از فرمول‌های تجربی ارزیابی میزان فرسایش خاک فرمول آرنولدوس برای مناطق نیمه‌خشک می‌باشد (۱،۱۲،۲۰). جهت برآورد شاخص فرسایش‌زائی باران از طریق فرمول آرنولدوس، از متوسط بارش ماهانه و سالانه (برحسب میلی‌متر) و تعداد ماه‌هایی که در آنها بارش رخ داده از داده‌های جدول (۳) میانگین داده‌های ۲۰ سال ایستگاه مرند استفاده شده است. توسط این فرمول میزان فرسایش خاک برای حوضه مورد تحقیق به صورت زیر بر آورد شد.

رابطه (۳):

$$E30 = 0.302 \left(\sum_{i=1}^N P_i^2 / P \right)^{1.93} = 0.302 \times 45.94^{1.93} =$$

286.052

که در آن EI 30: متوسط شاخص فرسایش‌زائی سالانه باران (تن در هکتار (t.H))، Pi: متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر، N: تعداد ماه‌هایی که بارش رخ داده است، P: متوسط بارندگی ماهانه به میلی‌متر

فرمول سیاسخواه

فرمول (۴):

$$E30 = 1.6 \left(\sum_{i=1}^N P_i^2 / P \right)^{1.27} = 1.6 \times 38.95^{1.27} =$$

148.905 Ton.hec.y

که در آن EI30: متوسط شاخص فرسایش زائی سالانه باران (تن در هکتار (t.H))، P_i : متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر، N : تعداد ماههائی که بارش رخ داده است، P : متوسط بارندگی ماهانه به میلی‌متر

فرمول فورنیه^۱

فرمول‌های تجربی فورنیه در اقالیم نیمه‌خشک و به ویژه در کشورمان با تغییر وانطباق برخی از ضرایب^۲ مورد استفاده قرار گرفته است. جهت محاسبه میزان رسوب تولید شده در واحد هکتار به روش فورنیه ابتدا پارامترهای لازم مثل مساحت تمام زیر حوضه‌ها، متوسط ارتفاع زیر حوضه‌ها، متوسط بارندگی سالانه و ماهانه بر حسب میلی‌متر محاسبه گردیده و بعد از طریق معادله فورنیه میزان رسوبدهی زیر حوضه‌ها محاسبه شده است. از رابطه دوم فورنیه (۵) جهت برآورد رسوب حوضه به صورت زیر استفاده شد:

$$\frac{PW^2}{Log Q_s} \log + .6(\log \bar{H})(\tan \bar{S}) - 1.56 = 2.016 Q/\text{ton}/\text{hec}/y$$

که در آن Q_s : میزان رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار، PW : میانگین بارندگی پرباران ترین ماه سال به میلی‌متر، P_a : میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر، H : متوسط ارتفاع حوضه و S : شیب متوسط حوضه (می‌توان مساحت حوضه را نیز به جای شیب منظور کرد).

مجموع رسوبدهی کل حوضه طبق فرمول فورنیه ۴۱۱۲۱۵۲۵ تن در هکتار در سال بر آورد شد که در هر هکتار ۲۰۱/۰۵ تن می باشد که نشانگر شدت فرسایش خاک در حوضه است. به علاوه مقدار رسوب ویژه محاسبه شده برای حوضه طبق فرمول‌های مختلف نیز نسبتاً زیاد است.

نتیجه‌گیری کلی

از آنجائیکه در حوضه هرزندچای فرسایش شیاری و خندقی یکی از فرایندهای مهم تخریب و جابجائی مواد و عناصر در روی دامنه‌ها و سطوح کم شیب دشت‌های منطقه است. به دلیل اهمیت موضوع فرسایش خاک، این تحقیق انجام شد. در ضمن پیشینه تحقیقات بعمل نشان داد، هیچ تحقیقی با این موضوع و روش‌ها در حوضه مورد تحقیق برای مشخص کردن میزان فرسایش خاک بعمل نیامده است.

گسترش زیاد خاک‌های آبرفتی حساس به فرسایش خطی روان‌آب‌ها، موجب بالا بودن پتانسیل رسوبدهی حوضه شده است. چرای مفراط، تخریب پوشش گیاهی، موجب کاهش چسبندگی و ذرات و پوشش محافظ خاکدانه در برابر انرژی جنبشی قطرات باران و روان‌آب‌ها می‌شود. خاک‌های آبرفتی عمدتاً جوان، دخالت شدید انسان‌ها، و بارش‌های کم و بیش نامنظم رگباری از عوامل مهم تسریع کننده شکل‌گیری و توسعه فرسایش خندقی در حوضه مورد تحقیق هستند. طبق

نتایج تحقیق میزان اسیدیته یا پ.هاش خاک‌های حوضه هرزندت از ۶/۳ تا ۸/۲ به ترتیب از شیب‌های بسیار کم تا شیب‌های ۳۰٪ متغیر بوده است. میزان پ.هاش خاک‌های تحول یافته عمدتاً ریزدانه سطح دشت پائین بود که این حالت مسمومیتی برای رشد و نمو گیاهان زراعی و غیر زراعی ندارد. با وجود این از لحاظ متوسط پ.هاش (pH)، هدایت الکتریسته (EC)، ضریب هیدروترمال (ET) و شاخص نوسان رطوبت خاک (Ws) نشانگر پتانسیل بالای خندقی زائی در خاک‌های حوضه است. استفاده بیش از حد از خاک‌های حوضه روند فرسایش خاک را تسریع نموده و اثرات آن به صورت زمین لغزش‌های کوچک، گسیختگی‌های دامنه‌ای، فرسایش شیاری و خندقی در حوضه می‌باشد. نتایج نشان داد که به غیر از دو ماه (دی و بهمن) در بقیه ماه‌های سال حوضه هرزندت دارای شاخص نوسان رطوبتی منفی (Ws) است. نیز ماه‌هایی که دارای نوسان رطوبتی منفی هستند برای فرسایش خطی به ویژه و توسعه فرسایش شیاری و خندقی در زمان بارش‌های شدید و رگباری و هم‌زمانی بارش با ذوب برف‌ها، بسیار مستعد هستند.

نتایج تحقیقات بعمل آمده در حوضه‌های مناطق نیمه‌خشک همدان (۲۰) و آذربایجان شرقی (۱۱) چه از لحاظ نتایج شاخص‌های هیدرواقلمی و ضرایب هیدروترمال و شاخص نوسان رطوبت خاک (Ws) با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشابهت زیادی باهم دارند

طبق نتایج مورفومتری اغلب خندق‌های حوضه مورد تحقیق در اراضی کوهپایه‌ای و اراضی کم شیب دشتی شکل گرفته‌اند. به عقیده احمدی (۶) شکل‌گیری خندق در اراضی کم شیب و همواره ۶/۱ برابر اراضی نسبتاً شیب‌دار است، این میزان در فصول بهار به ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. متوسط فرسایش زائی باران حوضه برحسب تن در هکتار در سال با توجه به نتایج فرمول‌های مذکور ۲۰۱/۰۵ ton.hec.y و مجموع سالانه آن ۴۱۱۲۱۵۲۵ تن برای کل حوضه هرزندچای است که نشان‌دهنده بالا بودن نرخ فرسایش خاک است. اخیراً پروژه عظیم آبرسانی از سد ارس به این منطقه در حال اجرا است. لوله‌هایی به قطر ۶۰ اینچ جهت تامین آب کشاورزی منطقه در نظر گرفته شده که با اتمام طرح آبرسانی، حوضه به دلیل داشتن خاک‌های بسیار مستعد، کشت انواع درختان میوه و صیفی جات امکان‌پذیر خواهد شد. با توجه به نتایج این تحقیق جهت کنترل فرسایش خندقی، سیلاب‌ها، حفاظت از آب و خاک و آمایش حوضه پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه شده است: ۱- تراس‌بندی در دامنه‌های با شیب نسبتاً ملایم و بانکت‌بندی (گراون‌های U, V شکل) در سطح دامنه‌ها.

۲- اعمال اصول آبخیزداری (خشکه‌چینی و احداث بندهای سرریز مانند Check Dam و Log Dam در مسیر آبراه‌ها و خندق‌ها). ۳- گابیون‌بندی و احداث دیواره‌های محافظ سنگی و بتونی در مسیر رود پیچ‌های حوضه و جلوگیری از زیربری شدید در کنار بستر رودخانه (به دلیل گسترش زیاد سازندهای ماری و مارن‌دار و فرسایش کناری شدید). ۴- دادن آگاهی از

1- Fournier

۱ - مدل فورنیه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ارائه شده و در ۷۸ حوضه آبریز جواب داده است. مدل‌های فورنیه از شرایط محیطی دیگری گرفته شده اند ولی با اعمال تغییر و آزمون ضرایب جواب قابل قبولی می دهد (۶).

لحاظ نوع و اصول کشت صحیح و جلوگیری از شخم زدن در منطقه. ۵- جلوگیری از چرای مفراط و بی‌موقع، آتش زدن بوت‌ها و گون‌ها و درختچه‌های خودرو که نقش به‌سزائی در کنترل فرسایش قطره‌بارانی، صفحه‌ای و خطی روان‌آب‌ها دارند.

منابع

1. Abedini, M. 2013. Quantitative analysis of gully erosion in Kalqanchai watershed (east of Sahand) Journal of Geography and Urban Planning and Sistan and Baluchestan regions, 7: 110-97 pp (In Persian).
2. Abedini, M. 2009. Quantitative study of hydrogeomorphological issues of Likuanchai river with emphasis on soil erosion and sedimentation (south-east of Ardabil). Journal of Geography and Development, No.15 (In Persian).
3. Abedini, M. 2006. Quantities analysis of soil erosion via runoff (emphasize to gully erosion), in the Garehgoz mountains and plains with modern methods (Iran-Northwest Azerbaijan). International soil meeting (ISM) Harran University, Turkey, pp: 442-447.
4. Ahmed, J., A. Bawi, M. Alaa A.A. Biswajeet P. Abdullah and M. Alamri. 2021. Assessing gully erosion susceptibility using topographic derived attributes, multi-criteria decision-making, and machine learning classifiers. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 12(1): <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1994024>.
5. Ahmadi, H. 1999. Applied Geomorphology (Water Erosion), Volume (1), Author, University of Tehran Press, 686 pp (In Persian).
6. Alizadeh, A. 1989. Soil erosion and protection, Translation, Astan Quds Razavi Publications, 285 pp (In Persian).
7. Arabameri, A., B. Pradhan, K. Rezaei and C. Conoscenti. 2019. Gully erosion susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Catena*, 180: 282-297. [Crossref], [Web of Science @], [Google Scholar].
8. Armin, M., H. Valinejad and V. Ghorbannia Kheybari. 2020. Estimation of Soil Erosion in the Tang-e-Sorkh Dam Watershed Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) Capabilities, *Hydrogeomorphology*, 7(23): 183-159.
9. Arab Ameri, A., H. Pahlevan and C. Artemi. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, *Science of the Total Environment*, 613-614.
10. Basharati, B., M. Abedini and S. Asghari. 2018. Investigation and analysis of factors affecting the creation and development of moat erosion in the salt water basin. *Geographical Research*, 184-199.
11. Bayati Khatibi, M. 2004. Analysis and study of the role of topographic factors in morphogenesis in gully (Case study of the northern slopes of Ghoshe Dagh between Ahar and Meshkinshahr). *Geographical Researches*, pp: 70-53.
12. Bayati Khatibi, M. 2000. The role of morphodynamic factors in the instability of the northern slopes of Ghosheh Dagh, PhD thesis, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of physical Geography, University of Tabriz, (In Persian).
13. Descroix, L. 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: their respective roles and the scale effect, *catena*, 72(3): 325-339.
14. Emamgholi, M., K. Khabat and S. Nazila. 2015. Suitable site selections for gabion check dams construction using analytical hierarchy process and decision making methods. *Journal of Soil Environment* 1: 35-44.
15. Farajzadeh, M., A. Afzali, K. Yaser and G. Ebadollah. 2013. Evaluation of susceptibility to trench erosion using multivariate regression model: southeast of Mazandaran province; Kiasar, *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, Volume 2, Number 6.
16. Gaudia Zucca, T. 2006. Annalisa Canu and Raniero Della pertua effects of lands use and landscape on spatial distribution and morphological, Features of gullies in an agropastoral area in Sardini (Italy), *Catena*, 68: 86-95.
17. Hyongqiu et al. 2008. Development of gullies and sediment production in the black soil region of northeastern China , *HGeomorphology*, 101(4): 683-691.
18. Geographical Organization of the Armed Forces, topographic maps of 1: 50,000 basins.
19. Ismaili, A. and K. Abdollahi. 2010. Watershed management and soil protection. Publisher Mohaghegh Ardabili University, 578 pp (In Persian).
20. Ildermi, A. 2002. Investigation of morphodynamic problems and the effects of instability factors in the northern slopes of Alvand massif (Hamadan), PhD thesis, University of Tabriz, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of physical Geography.

21. Jiang, C., W. Fan, N. Yu and E. Liu. 2021. Spatial modeling of gully head erosion on the Loess Plateau using a certainty factor and random forest model, *Science Total Environ.* 783:147040. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721021100>. [Crossref], [PubMed], [Web of Science ®], [Google Scholar]
22. Karami, F. 2002. Investigation of geomorphological issues in the northern slopes of Bozgoosh mountain range and Sarab accumulation plain, PhD thesis, University of Tabriz, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, (In Persian).
23. Karimi Sangchini, E. and M. Onagh. 2015. Evaluation of trench erosion risk with statistical models in Nagan Basin, Chaharmahal and Bakhtiari Province, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22, (5): 319-315.
24. Kempen, B., J. Dick, J. Brus, J. Stoorvogel, J. Gerard, B. Heuvelink and de F. Vries. 2013. Efficiency Comparison of Conventional and Digital Soil Mapping for Updating Soil maps, from <http://dl.sciencesocieties.org/publications>, Updating Soil maps. *International Journal of Current Research*, 5(9): 2649-2653.
25. Malik, R. 2008. Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland). *Geomorphology*, 93: 421-436.
26. Monfared, K.A. Talebi and K.H. Mahboubeh. 2020. Comparison of the effect of tree litter on hydrological components of surface erosion on slopes with linear, concave and convex profile, *Journal of Natural Land Degradation and Restoration*, 2: 102-111.
27. Neghaban, S., O. Rahimi and S. Rahimi Harabadi. 2012. Study of trench erosion susceptibility using hydrothermal and WS climatic coefficients: A case study: Bayakhi basin, leopards and thousands of minerals in Kurdistan province. *Larestan physical Geography Quarterly*, 16: 89-100.
28. Nayeri, H., M. Salari and J. Chardavoli. 2021. Prioritization of linear erosion using morphometric and geomorphological indices, a case study of Gheslugh-Sanandaj catchment, *Journal of Hydrogeomorphology*, 28: 214-191.
29. Nkwunonwo, U.C. and F.I. Okeke. 2013. GIS-based production of digital soil map for Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 6(5): 498-506.
30. Parvin, M. 2018. Prioritization of sub-basins of Ghezel Ozen-Sefidrood to identify erosion-sensitive basins based on morphometry, erosion rate and vegetation, *Arid Regions Geography Studies*, 9(33).
31. Sadhasivam, N., A. Bhardwaj, H.R. Pourghasemi and N. Priyadarshini Kamaraj. 2020. Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models, *Environmental Earth Sciences*, 79(360).
32. Sarhangi Joker, E., T. Safarrad and M. Shatitzadeh. 2022. Evaluation and Prioritization of gully erosion sensitivity using surface density and TOPSIS Models (Case Study: Chenarli Watershed, Golestan Province). *Journal of Environmental Erosion Research*, 45: 58-74.
33. Smolska, E. 2007. Development of gullies and sediment fans in last-glacial areas on the example of the suwalki Lakeland (ne Poland), *catena*, 71: 129-131.
34. Ryan, L.P. 2010. Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. *Geomorphology*, 118: 288-300.
35. Ramesht, M.H., L. Gorji and M. Entezari. 2009. Mathematical methods of Gali evaluation, *Sepehr Magazine*, 70(18): 20-16.
36. Rajaei, A. 1994. Application of geomorphology in land management and environmental management. Qom Publication, 329 pp.
37. Refahi, H. 2000. water erosion and its control. Third edition. University of Tehran Press, 578 pp.
38. Rangavar, A. 2009. A study of some characteristics of gutter soil in Khorasan Razavi. Collection of articles of the 11th Iranian Soil Science Congress - Gorgan, 1880-1876 pp.
39. Saghafi, M. and R. Ismaili. 2009. Morphometric analyzes of gull formation factors in Shakhan catchment (South Khorasan province). *Journal of Geography and Development*, No: 15.
40. Sharifi, A., H. Shirani, A.A. Basaltpour and I. Esfandiarpour Boroujeni. 2020. Modeling Factors Affecting Inter-Groove Erosion in Forest and Rangeland Lands using Artificial Neural Networks, *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 33(6): 102-85.
41. Sadeghi, S.H., A. Jafarpour, M. Zabihi Silabi, S. Mollashahi, M. Naqdi, M. Sharifi Moghani, Z. Qaisouri and E. Farzadzadeh. 2021. Biodiversity management model of soil erosion in the field Watersheds (Practical Study: Oshnoyeh Tea, West Azerbaijan), *Water and Soil Research*, 21(6): 102-85.
42. Tao Wang, F.H., Z. Anding G. Lijuan W. Yangmao, J. Weiguo and S. Hongbo. 2014. A Quantitative Study of Gully Erosion Based on Object-Oriented Analysis Techniques: A Case Study in Beiyanzikou Catchment of Qixia, Shandong, China. *The Scientific World Journal* Volume, 2014 (2014), Article ID 417325, 11 pp.

43. Vaazi, A.R. and O. Bakhshi Rad. 2021. Investigation of morphometric characteristics of gullies and factors affecting their development in rainfed agriculture in the south of East Azerbaijan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6): 1373-1384 (In Persian).
44. Yamani, M., A. Gorabi, E. Maghsoudi and M. Siddique. 2020. The relationship between sediment texture and gully development at the level of alluvial fans of the southern Alborz East (Garmsar-Seyed Abad), *Quantitative Geomorphological Research*, 35: 225-203.
45. Zamir, S. 2020. Zoning of Sensitivity of Maragheh Basin Lands to gully erosion using Fuzzy Multi-Index Decision Making Method, *Quantitative Geomorphological Research*, 34: 175-194.

Quantitative Research on Gully Erosion and Sedimentation using Rain Erosion Indices, Morphometry and Linear Regression in the Harzand Chai Watershed

Mousa Abedini

Professor in Geomorphology, Mohaghegh Ardabili, university, Department of physical Geography,
(Corresponding author: Abedini@uma.ac.ir)
Received: 31 January, 2022 Accepted: 16 April, 2022

Abstract

Due to the significant expansion of surface structures and geology sensitive to linear erosion factors and severe human intervention, moat erosion is one of the important factors in the loss of surface soils in the basin. Due to the importance of the issue of gully erosion in the basin, 35 samples of gully were selected in field work and some of their dimensions such as length, width, depth of the average slope of the gully were morphometric. Then, the correlation relationships of the parameters were determined through linear regression and their effects were analyzed. In order to determine the susceptibility of the basin to linear erosion, especially gully. Also soil moisture fluctuation (Ws) and hydrothermal coefficient (ET) indices as well as pH and electrical conductivity (Ec) of the basin soils were determined after sampling. Values of hydrothermal coefficient of 2.524, (pH) and electrical conductivity of the samples between 6.3 and 8.2, respectively, indicate the susceptibility of soils to linear erosion. In total, the average rain erosion of the basin in terms of tons per hectare per year according to the results of the above formulas was 201.05 ton. Hec.y and the total annual soil erosion in the basin was estimated at 41121525 tons and 291 tons per hectare. The results show high rate of soil erosion and development of gully in the basin. Ultimately some approaches for decreasing and controlling of soil and gully erosion are suggested.

Keywords: Erosivity indexes, Gully erosion, Harzand Chai watershed, Linear regression, morphometric, Sediment yield