



دانشگاه گوارا

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی نقش شیب و ویژگی‌های خاک در ایجاد فرسایش شیاری در دامنه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال‌غرب زنجان)

*علی‌رضا واعظی^۱، حکیمه قره‌داغلی^۲ و سعیده مرزوان^۳

^۱دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، آ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان،

^۲دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش شیاری یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایش خاک در دامنه‌ها است که به دلیل تمرکز رواناب سطحی به وجود می‌آید. به‌طور معمول شیارها به‌عنوان مسیرهای کوچک و موقت جریان متمرکز هستند که به‌عنوان منبع مهم رسوب و تحویل رسوب در دامنه‌ها نقش ایفاء می‌کنند. گسترش شیارها اغلب در اراضی مرتعی تحت چرای شدید که ظرفیت نگهداشت آب آن‌ها پایین بوده و یا در اراضی تازه شخم‌خورده که ساختمان آن‌ها از بین رفته است، رخ می‌دهد. فرسایش شیاری بخش بزرگی از فرسایش آبراه‌های را در این عرصه‌ها به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک دربرمی‌گیرد. فرسایش شیاری در دامنه‌ها می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله خصوصیات توپوگرافی، وضعیت پوشش گیاهی، شرایط بارندگی، ویژگی‌های خاک و روش‌های مدیریتی قرار گیرد. شناخت عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش شیاری برای برنامه‌ریزی مناسب جهت کاهش گسترش این نوع فرسایش ضروری است. این پژوهش تلاشی برای یافتن عوامل مؤثر بر گسترش شیار در دامنه‌های مرتعی بود.

مواد و روش‌ها: برای این منظور تعداد ده دامنه با شیب متفاوت و تحت فرسایش شیاری و فاقد پوشش گیاهی در حوزه آبخیز تهم‌چای در شمال‌غربی زنجان انتخاب شد و تمام مشخصات شیارها همراه با برخی ویژگی‌های خاک در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. تفاوت مشخصه‌های شیار، درجه شیب و ویژگی‌های خاک بین دامنه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. تأثیر تندی شیب و ویژگی‌های خاک بر فرسایش شیاری با استفاده از روش ماتریس همبستگی تعیین شد. از روش رگرسیون خطی چندگانه برای ارائه رابطه‌ای برای برآورد فرسایش شیاری در دامنه‌های منطقه استفاده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، غیر از طول شیار، سایر ویژگی‌های شیار تفاوت معنی‌دار بین دامنه‌ها داشتند. همچنین تفاوتی معنی‌دار بین خاک شیارها از نظر شن، سیلت، رس، هدایت هیدرولیکی اشباع و درصد سدیم تبادلی وجود داشت. مساحت مقطع عرضی شیار از ۰/۱ تا ۰/۲۹ مترمربع با میانگین ۰/۰۷ مترمربع بین دامنه‌ها متغیر بود. این متغیر به‌عنوان شاخص مهم شیار برای توصیف گسترش فرسایش شیاری در دامنه‌ها تشخیص داده شد. این شاخص، همبستگی معنی‌دار با تندی شیب، سیلت، رس و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشت. مقدار مساحت مقطع عرضی شیار در دامنه‌هایی که دارای تندی شیب بالاتری بوده یا در دامنه‌هایی که دارای خاکی با ذرات سیلت و رس بیش‌تری بودند، بالاتر بود. تجزیه رگرسیونی خطی چندگانه نشان داد که سطح مقطع عرضی شیار رابطه‌ای معنی‌دار با تندی شیب و

* مسئول مکاتبه: vaezi.alireza@gmail.com

درصد سیلت خاک دارد ($P < 0/01$ و $R^2 = 0/38$). در واقع حدود ۳۸ درصد از تغییرات فرسایش شیاری در دامنه‌های منطقه، با استفاده از معادله به‌دست آمده قابل توصیف بود. تندی شیب مهم‌ترین خصوصیت توپوگرافی بود که حدود ۲۰ درصد از تغییرات فرسایش شیاری در دامنه‌ها را تحت‌تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری: با توجه به اهمیت تندی شیب و درصد سیلت خاک در بروز فرسایش شیاری، حفظ پوشش گیاهی با جلوگیری از چرای بی‌رویه برای مهار فرسایش شیاری در دامنه‌هایی است که دارای شیب بالایی بوده و خاک آن‌ها به فرآیندهایی فرسایشی حساس می‌باشد، بسیار ضروری است. نگاهی به معادله به‌دست آمده نشان می‌دهد که سایر متغیرهایی در منطقه وجود دارند که به سهم خود گسترش شیارها در منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. شکل شیب، ویژگی‌های نیم‌رخ خاک و پوشش سطح زمین از متغیرهای ناشناخته‌ای بودند که در مطالعات آینده برای ارائه مدلی مطمئن جهت پیش‌بینی فرسایش شیاری می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اراضی مرتعی، گسترش فرسایش شیاری، مشخصه‌های شیار، منطقه نیمه‌خشک، هدررفت خاک

مقدمه

روش‌های مدیریتی جهت پیشگیری یا کاهش وقوع این فرسایش به نوبه خود اهمیتی زیاد دارد. در این راستا تعیین مورفولوژی شیار در یک دامنه برای ارائه و واسنجی یک مدل معتبر ضروری است (۱۶). شناخت عوامل مؤثر بر تشکیل شیار در دامنه‌ها برای توسعه مدل‌های وقوع فرسایش شیاری ضروری است. برای بررسی فرسایش شیاری در هر منطقه، بررسی مشخصه‌های شیار شامل طول، عرض، عمق و حجم ضروری است (۴۱). در پژوهش‌های مختلف ویژگی‌های مختلف شیار و تأثیر عوامل مختلف بر آن مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا گاورز (۱۹۸۵) نشان داد که فرآیندهای هدررفت خاک از دیواره‌های جانبی شیارها عامل مهمی در عریض شدن مقطع شیار می‌باشد. این فرآیندها تحت‌تأثیر مشخصات جریان بوده و بسیار کم مورد توجه قرار گرفته شده است. لی و همکاران (۲۰۰۳) بیان داشتند که عرض و عمق شیار، تابعی از حجم و سرعت رواناب در شیار بوده و شاخصی مهم در تخمین فرسایش شیاری است. فرآیندهای مؤثر بر بخش عرضی مورفولوژی شیار، به شکل غیرمستقیم بر سرعت و تلاطم جریان و در نتیجه فرسایش جریان در شیارها اثر می‌گذارند. کاسالی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که اندازه‌گیری مستقیم

فرسایش خاک توسط آب، تابعی پیچیده از بازخورد رفتار توپوگرافی، کاربری زمین و فرآیندها و شرایطی است که حساسیت ذرات خاک به جدا شدن توسط بارندگی و رواناب را تعیین می‌کنند (۲۲). فرسایش شیاری که در نتیجه تمرکز رواناب در روی دامنه به وجود می‌آید، یکی از انواع مهم فرسایش آبی است (۲۵). شیارها جوی‌های کوچکی هستند که در دامنه‌های حساس به فرسایش به‌عنوان منبع تولید و انتقال رسوب عمل می‌کنند (۵۴). این نوع فرسایش به‌عنوان آغازین مرحله فرسایش‌های درون آبراه‌های در دامنه‌ها محسوب می‌شود. به همین دلیل، شناخت عوامل مؤثر بر آن از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۸). در این نوع از فرسایش، خاک از بالای شیب به پایین حرکت کرده و با وارد شدن مواد منتقله به آب‌ها، کیفیت آب کاهش و مخازن از رسوبات پر می‌شود (۶، ۴۵). در بسیاری از مطالعات، اهمیت اندازه‌گیری و مدل کردن حجم رسوبات منتقل شده در شیارها برای پی بردن به نقش شیارها در انتقال مواد فرسایش یافته بررسی شده است (۱۲، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۵، ۴۷). در کنار این بررسی‌ها، شناخت دامنه‌های حساس به فرسایش شیاری برای اتخاذ

مشخصه‌های شیار از جمله سطح مقطع و حجم شیار شناختی بهتر از وضعیت فرسایش شیار در حوزه آبخیز به دست می‌دهد. با این وجود این کار به نوبه خود دشوار، پرهزینه و زمان‌بر است. واعظی و قره‌داغلی (۲۰۱۳) نشان دادند که حجم شیار شاخصی مهم در گسترش فرسایش شیار در سازندهای ماری است. فرسایش شیار یکی از عوامل اصلی هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی است (۶، ۴۵). خاکورزی متمرکز و کشت در جهت شیب از یکسو شرایط را برای تشکیل جریان متمرکز آب روی سطح زمین فراهم می‌کند و از سوی دیگر مقاومت برشی خاک را کاهش می‌دهد. وقوع این شرایط در خاک‌های تازه شخم خورده بیش‌تر است (۲۹). فرسایش شیار علاوه بر زمین‌های کشاورزی، در سایر اراضی حساس به فرسایش نیز مشاهده می‌شود. وجود سازندهای حساس به فرسایش و در نتیجه فرسایش‌پذیری خاک بالا و پوشش گیاهی ضعیف شرایط را برای وقوع جریان‌های متمرکز روی دامنه‌ها به ویژه به هنگام بارندگی‌های شدید فراهم می‌آورد (۴۱). به‌طور کلی فرسایش شیار متمرکز تحت‌تأثیر وضعیت توپوگرافی (تندی، طول و جهت)، الگوهای گیاهی، میکروتوپوگرافی طبیعی و خصوصیات خاک قرار می‌گیرد (۱۱). شیب از جمله عوامل مؤثر بر تشکیل شیار در دامنه می‌باشد. فرسایش شیار با افزایش درجه و طول شیب و در نتیجه افزایش سرعت، حجم و دبی رواناب، گسترش می‌یابد (۱۸، ۳۰، ۴۹). پوشش گیاهی عاملی دیگر است که در کاهش فرسایش شیار بسیار مهم است. پوشش گیاهی، خاک را از تماس با ریزش باران حمایت می‌کند و به‌عنوان مانعی در برابر جریان آب عمل می‌کند. همچنین توده ریشه‌ای، ذرات خاک را در جای خود نگه می‌دارد. معمولاً زمانی که سطح خاک از موانع مختلفی مانند سنگ‌ریزه، بقایای گیاهی و به‌ویژه گونه‌های گیاهی پوشیده شده باشد، میزان وقوع جریان، سرعت اولیه جریان و در نتیجه

فرسایش‌پذیری جریان بسیار پایین است (۵، ۸، ۱۵). حساسیت خاک برای تشکیل شیار که با مفهوم فرسایش‌پذیری شیار^۱ بیان می‌شود، یکی دیگر از عوامل مهم مؤثر بر تشکیل شیار می‌باشد (۲۱) که تحت‌تأثیر خصوصیات مختلف خاک قرار دارد. به‌طور کلی هرچه مقاومت خاک در برابر جریان‌های متمرکز بیش‌تر باشد، فرسایش‌پذیری خاک کم‌تر شده و ذرات کم‌تری از خاک کنده می‌شوند و در نتیجه از گسترش شیار جلوگیری می‌شود. توزیع اندازه ذرات خاک مشخصه مهم خاک از نظر فرسایش‌پذیری شیار است. این مشخصه خاک در شدت جداشدن ذرات از شیارها و در نتیجه توسعه شیار نقش اساسی دارد (۴۳). توزیع اندازه ذرات خاک در میزان انتقال ذرات نیز مؤثر است. انتقال ذرات خاک در شیارها به‌وسیله جریان آب از یک الگوی انتخابی پیروی می‌کند که به نوبه خود به شرایط هیدرولیکی جریان وابسته است. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با افزایش قدرت جریان، از میزان ذرات ریز در رسوب کاسته شده و میزان مشارکت کلاس‌های اندازه‌ای درشت در رسوب افزایش می‌یابد (۹). میزان فرسایش‌پذیری شیار به ساختمان خاک نیز وابسته است. پایداری خاکدانه مهم‌ترین خصوصیت ساختمانی خاک از دیدگاه فرسایش‌پذیری شیار است (۱۹).

مطالعات میدانی روی عوامل مؤثر بر فرسایش شیار در دامنه‌ها به‌دلیل تأثیر عوامل مختلف بر شکل‌گیری شیار و برهمکنش بین آن‌ها بسیار دشوار است. از این‌رو برخی پژوهش‌گران برای تعیین دقیق نقش هر یک از عوامل، ناگزیر از انجام کارهای آزمایشگاهی در نمونه‌های خاک هستند. در چنین پژوهش‌هایی اغلب سعی بر آن بوده که رابطه بین عوامل مختلف تأثیرگذار بر فرسایش شیار مشخص شود. تأثیر رواناب بر شدت جداشدگی ذرات در شیار و همچنین نقش عواملی مانند طول شیب، نفوذپذیری

فرسایش شیاری، اطلاعات ارزشمندی را جهت برنامه‌ریزی برای مهار کردن آن در اختیار می‌گذارد.

مواد و روش‌ها

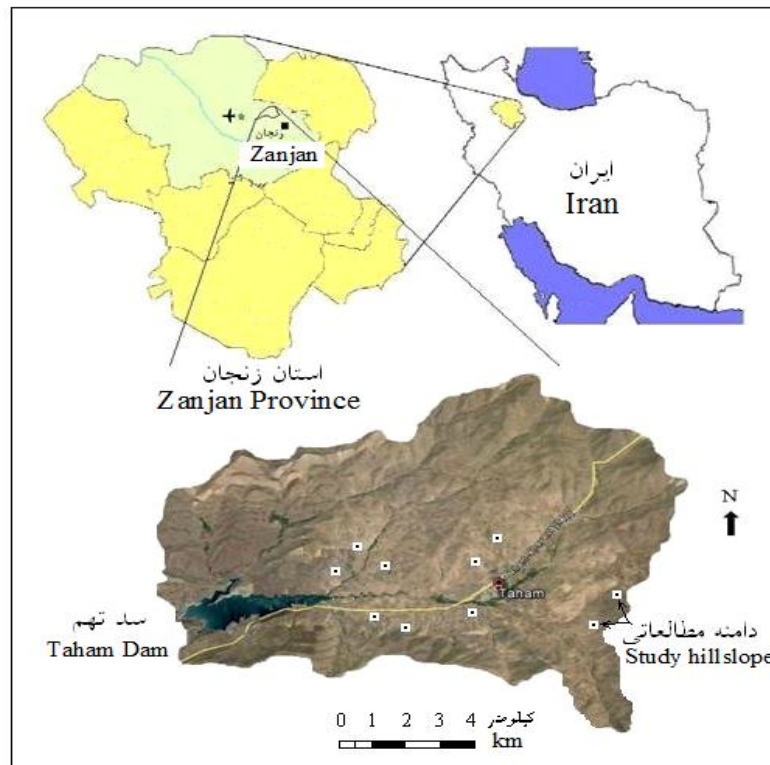
دامنه‌های تحت فرسایش شیاری: حوزه آبخیز تهم‌چای که دربرگیرنده رودخانه تهم‌چای می‌باشد، در شمال‌غربی ایران در استان زنجان، بین طول جغرافیایی $48^{\circ}17'$ تا $48^{\circ}37'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}46'$ تا $36^{\circ}53'$ قرار دارد. رودخانه تهم‌چای به طول ۴۰۴ کیلومتر بوده و در پایین‌دست آن سد مخزنی تهم برای تأمین آب شرب شهر زنجان احداث شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۶۷۷ متر و حداقل ارتفاع در پایین‌دست رودخانه تهم‌چای ۱۸۰۰ متر می‌باشد. بارندگی سالانه آن در دوره آماری ۵۰ ساله ۳۷۸ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۰ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک می‌باشد. بیش‌ترین وسعت این حوضه در شیب‌های ۲۰ تا ۳۵ درصد قرار گرفته است. از نظر زمین‌شناسی این منطقه جزء رشته کوه‌های طارم بوده و به‌طور عمده از تشکیلات آذرین دوره ترشیاری که شامل طبقاتی از توف‌های مختلف، شیل، ماسه‌سنگ، سنگ‌های رسی - شیلی و توده‌های نفوذی از جنس گرانیت و آندزیت می‌باشد، تشکیل شده است. منطقه دارای پوشش مرتعی ضعیف است. از گونه‌های مهم گیاهی موجود در منطقه می‌توان چگن، کاکوتی، تپاله گون، چای کوهی، خاکشیر، گلایل، ورک، خارشتر، لاله، سنگ و استیپا را نام برد (۴۰). مشاهدات میدانی نشان‌دهنده وجود انواع مختلف فرسایش آبی، به‌ویژه فرسایش سطحی، شیاری و آب‌کندی در سطح حوضه می‌باشد. شیارها در دامنه‌های با شیب بالا و تحت چرا قابل مشاهده هستند که در پایین‌دست به آب‌کندها پیوسته‌اند. اگرچه بندهایی در طول آب‌کندها برای جلوگیری از انتقال رسوبات از ۲۰ سال گذشته احداث شده است، ولی به‌دلیل شدت فرسایش خاک

خاک، تندی شیب، شدت بارندگی، سرعت جریان، تنش برشی بحرانی بر مورفولوژی بستر شیار و توسعه شیار موضوعاتی بوده‌اند که در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۱، ۱۳، ۲۴). با این حال مشکل اصلی مطالعات آزمایشگاهی این است که نتایج حاصل از آن را اغلب نمی‌توان با اطمینان به شرایط طبیعی تعمیم داد (۴۶). بنابراین برخی پژوهش‌گران روشی بینابین (مابین کارهای آزمایشگاهی و کارهای میدانی) را در مطالعات خود برگزیده و آزمایش‌های خود را در دامنه‌ها در کرت‌های آزمایشی تحت شرایط معین با استفاده از باران‌های شبیه‌سازی شده انجام داده‌اند (۱۸). به هر حال باید پذیرفت که آزمایش‌های میدانی تحت شرایط طبیعی در مطالعه فرآیندهای فرسایش بسیار مهم هستند، زیرا آن‌ها یک تصویر واقعی از آنچه که به شکل طبیعی در دامنه رخ می‌دهد، فراهم می‌کنند (۳۰). شیارها در اثر برهمکنش عوامل متعدد مانند توپوگرافی، بارندگی، پوشش گیاهی و خاک در دامنه‌ها به وجود می‌آیند. اگرچه در دامنه‌های با خاک فرسایش‌پذیر در اوقاتی از سال که تراکم پوشش گیاهی پایین می‌باشد یا چرای بی‌رویه انجام می‌گیرد، یا دامنه‌ها تحت شخم در راستای شیب قرار می‌گیرند، فرآیند وقوع شیارها در رگبارهای شدید تسریع می‌گردد (۶، ۲۹، ۴۵)، ولی در شرایط طبیعی، تشکیل شیارها فرآیندی تدریجی و زمان‌بر است. از این‌رو مطالعه چنین عوارض طبیعی در دامنه‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر آن بسیار دشوار است و البته تعیین نقش هر عامل و برهمکنش بین آن‌ها برای کمی‌سازی دقیق تشکیل شیار امکان‌پذیر نیست. به هر حال با آگاهی از فواید آزمایش‌های میدانی و نیز محدودیت‌های پیش‌رو، این مطالعه با بررسی مشخصه‌های شیارهای طبیعی موجود در دامنه‌ها و تعیین مشخصات دامنه‌ها (شیب و خصوصیات خاک) به‌منظور شناسایی برخی از عوامل مؤثر بر ایجاد شیار انجام گرفت. آگاهی از عوامل مؤثر بر

گردید دامنه‌های انتخابی دارای حداقل سه عارضه فرسایش شیاری باشند. موقعیت جغرافیایی دامنه‌ها با استفاده از سامانه مکان‌یاب جهانی^۱ (GPS) مشخص گردید. حداکثر فاصله بین دامنه‌ها ۷۲۰۰ متر و ارتفاع بلندترین و کوتاه‌ترین دامنه مطالعاتی به ترتیب ۲۱۸۵ متر و ۱۹۸۰ متر بود. شکل ۱ موقعیت دامنه‌های تحت فرسایش شیاری در حوزه آبخیز تهم‌چای در شمال‌غرب زنجان را نشان می‌دهد. با توجه به اختلاف ارتفاع به نسبت پایین دامنه‌ها و نزدیکی آن‌ها به یکدیگر، وجود تغییرات شدید آب و هوایی در درازمدت (مقدار بارندگی سالانه، نوع بارش‌ها) در سطح محدوده مطالعاتی قابل انتظار نیست. بدین ترتیب تشکیل و گسترش شیارها انتظار می‌رود به‌طور عمده تابعی از شرایط توپوگرافی و خصوصیات خاک باشد.

به‌وسیله آب در زمین‌های بالادست، اغلب آن‌ها با رسوبات پر شده و عملکرد خود را از دست داده‌اند (۴۰). با توجه به اهمیت فرسایش شیاری به‌عنوان یکی از عوامل مهم انتقال ذرات در دامنه‌های با پوشش گیاهی ضعیف، بررسی عوامل مؤثر در بروز شیارها می‌تواند، در ارائه روش مناسب برای جلوگیری از گسترش آن‌ها سودمند باشد.

برای مطالعه عوامل مؤثر بر شکل‌گیری شیارها، ده دامنه که تحت فرسایش شیاری و فاقد پوشش گیاهی بودند، انتخاب گردید. برای حذف تأثیر جهت دامنه بر ایجاد فرسایش شیاری، دامنه‌های مورد بررسی در شیب‌رو به جنوب انتخاب شدند. در این شیب‌ها ذخیره رطوبتی خاک اغلب پایین بوده (۴۲) و تراکم پوشش گیاهی در منطقه بسیار اندک است. سعی



شکل ۱- موقعیت دامنه‌های تحت بررسی در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال‌غرب زنجان.

موقعیت جغرافیایی (الف)، تصویر ماهواره‌ای (ب) و نقشه توزیع نقاط نمونه‌برداری (ج) در کاربری‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the hillslopes in the Tahame Chai catchment, north west of Zanjan.

1- Global positing system

مقطع شیار شامل وسط و دو نقطه در فاصله بین دیواره‌ها و وسط شیار با استفاده از اشل اندازه‌گیری شد. نسبت عرض به عمق هر شیار با استفاده از داده‌های عرض و عمق به دست آمد. مساحت مقطع شیار نیز بر مبنای شکل مقطع که عموماً سهمی شکل بود، با استفاده از داده‌های عرض و عمق شیار در سه موقعیت در طول شیار تعیین و میانگین آن به عنوان مساحت مقطع عرضی شیار تعیین شد.

تعیین مشخصات شیارها: مشخصه‌های شیار شامل طول، عرض، عمق و مقطع عرضی شیارها در هر دامنه تعیین شد. طول شیارها از ابتدا تا انتهای آن‌ها با استفاده از متر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). عرض شیارها در سه نقطه در طول هر شیار (پایین دست، میان دست و بالادست شیار) در فاصله بین دو دیواره شیار با استفاده از متر اندازه‌گیری شدند. عمق شیارها نیز در سه موقعیت مذکور در طول شیارها اندازه‌گیری شد. برای این منظور در هر موقعیت، پنج نقطه در



شکل ۲- نمایی از دامنه تحت فرسایش شیاری و اندازه‌گیری طول شیار در حوزه آبخیز تهم‌چای شمال غرب زنجان.

Figure 2. View of a hillslope with rill erosion and measurement of rill length in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک شیارها: برای تعیین ویژگی‌های خاک هر شیار، نمونه‌های خاک به دو صورت طبیعی (دست‌نخورده) و دست‌خورده از سه نقطه (پایین دست، میان دست و بالادست) در طول شیار از سطح تا عمق شیار برداشت شد. نمونه‌های خاک طبیعی با استفاده از استوانه فلزی برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع تهیه شد و نمونه‌های دست‌خورده هم برای تعیین

تعیین مشخصات دامنه‌ها: با توجه به اهمیت درجه شیب و طول شیب در ایجاد فرسایش شیاری، این دو خصوصیت توپوگرافی در دامنه‌های تحت فرسایش شیاری مورد بررسی قرار گرفتند. طول هر دامنه در امتداد موقعیت‌های تشکیل شیارها، از نقطه تقسیم آب در بالاترین بخش دامنه تا نقطه تغییر شیب در پایین دست دامنه به وسیله متر اندازه‌گیری شد. درجه شیب با استفاده از شیب‌سنج دستی مدل کلی‌زیمنز تعیین شد و از آن درصد شیب هر دامنه به دست آمد.

و نیز تفاوت ویژگی‌های خاک شیار بین دامنه‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد تحلیل قرار گرفتند. به‌منظور بررسی تأثیر شیب دامنه و ویژگی‌های خاک بر مساحت مقطع عرضی شیار از روش ماتریس هم‌بستگی به روش پیرسون استفاده شد و سپس جهت ارائه مدلی مناسب برای پیش‌بینی مساحت مقطع عرضی شیارها بر مبنای درصد شیب دامنه و ویژگی‌هایی از خاک و از روش رگرسیون خطی چندگانه استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

نتایج و بحث

مشخصات شیارها و دامنه‌ها: مشخصه‌های شیار در دامنه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی مشخصه‌های شیار در منطقه نشان داد که طول شیارها بین ۸ تا ۵۷ متر و عرض آن بین ۰/۱۳ تا ۰/۸۱ متر بود و عمق آن‌ها از ۰/۰۳ تا ۰/۳۷ متر متغیر بود. عرض و عمق شیار شاخص‌هایی مناسب برای ارزیابی توسعه شیارها می‌باشند که اغلب تحت تأثیر شیب دامنه، شکل دامنه، پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. سطح مقطع شیار از ۰/۰۱ تا ۰/۲۹ مترمربع در شیارها تغییر کرد. این مشخصه شیار که مستقیماً تابعی از عرض و عمق شیار می‌باشد، به‌عنوان شاخصی است، که برای بیان گسترش شیار می‌تواند، مورد استفاده قرار گیرد. دامنه‌های مورد بررسی دارای شیب نسبتاً بالا (بین ۲۱/۸ درصد تا ۳۳/۷ درصد) بودند. با این وجود طول دامنه‌ها به‌نسبت کوتاه بوده و بین ۱۵ تا ۸۰ متر متغیر بود.

سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک جمع‌آوری شدند. نمونه‌های دست‌خورده با هم مخلوط و یک نمونه خاک مرکب از هر شیار تهیه شد. در مجموع تعداد ۳۰ نمونه خاک دست‌خورده از کل شیارهای تحت بررسی تهیه و پس از هوا خشک شدن، در آزمایشگاه مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. درصد سنگریزه (قطر ۲ تا ۸ میلی‌متر) به روش وزنی، توزیع نسبی اندازه ذرات به روش هیدرومتری (۱۴)، پایداری خاکدانه در خاکدانه‌هایی با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر بر اساس میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (۲) برای مدت یک دقیقه، رطوبت اشباع به روش وزنی، جرم مخصوص ظاهری بر اساس جرم خاک خشک شده در آون (۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) به حجم استوانه فلزی، هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) در نمونه‌های خاک دست‌خورده به روش بار ثابت (۳۲)، واکنش خاک (pH) در گل اشباع به‌وسیله pH متر، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به‌وسیله EC متر، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۴۴)، کربنات‌کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون (۳۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (۲۰) و درصد سدیم تبدلی (ESP) به روش استات آمونیوم (۲۰) تعیین شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: مشخصه‌های شیار، شیب و ویژگی‌های خاک دامنه‌ها با استفاده از آماره‌های کم‌ترین، بیش‌ترین، میانگین و انحراف معیار توصیف شد. تفاوت مشخصات شیارها (طول، عرض، عمق، عرض به عمق و مساحت مقطع عرضی) بین دامنه‌ها

جدول ۱- توصیف آماری مشخصه‌های شیار و شیب دامنه‌ها در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال غرب زنجان.

Table 1. Statistical descriptive of rill characteristics, hillslope slope in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

انحراف معیار St D	میانگین Mean	بیش‌ترین Max	کم‌ترین Min	مشخصه‌های شیار Rill characteristics
9.74	23.02	57.00	8.00	طول (متر) Length (m)
0.47	0.78	1.81	0.13	عرض (متر) Width (m)
0.08	0.11	0.37	0.03	عمق (متر) Depth (m)
5.49	8.18	17.25	2.63	عرض به عمق (متر در متر) Width to depth (m)
0.07	0.07	0.29	0.01	مساحت مقطع عرضی (مترمربع) Cross section area (m ²)
4.16	28.34	33.7	21.8	تندی شیب (درصد) Slope steepness (%)
7.32	38.42	80.02	15.03	طول دامنه (متر) Hillslope length (m)

دامنه‌های مورد بررسی نداشت. طول شیار به‌طور عمده تحت‌تأثیر طول دامنه بوده و در دامنه‌هایی با طول بیش‌تر، ظهور شیارهایی با طول بیش‌تر قابل مشاهده بود (۴۱). بنابراین این مشخصه شیار، به‌عنوان شاخصی دقیق در ارزیابی گسترش فرسایش شیاری در منطقه مورد توجه قرار نگرفت.

تفاوت مشخصات شیارها بین دامنه‌ها: تجزیه واریانس مشخصات شیارها در بین دامنه‌های مورد بررسی (جدول ۲) نشان داد، که تنها ویژگی‌های عرض، عمق، عرض به عمق و سطح مقطع شیارها دارای تفاوت معنی‌دار بین دامنه‌ها می‌باشد. طول شیار تنها مشخصه‌ای از شیار بوده که تفاوت معنی‌دار بین

جدول ۲- تجزیه واریانس مشخصات شیارها در بین دامنه‌ها در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال غربی زنجان.

Table 2. Analysis of variance for rill characteristics among the hillslopes in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

معنی‌داری Significance	F	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Freedom degree	ویژگی‌های شیار Rill characteristics
0.16	1.66	130.73 ^{ns}	9	طول شیار Rill length
0.00	40.68	2.65***	9	عرض شیار Rill width
0.00	5.14	0.01***	9	عمق شیار Rill depth
0.00	3.92	303.17***	9	عرض به عمق شیار Rill width to depth
0.00	7.13	0.05***	9	مساحت مقطع عرضی شیار Rill cross section area

^{ns} و *** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹/۹۹ درصد.

مطابق با روش طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (۳۹) در گروه خاک‌های غیرشور ($EC < 4 \text{ dS m}^{-1}$) و غیرسدیمی ($SAR < 13$) قرار داشتند. با توجه به مقدار بالای کربنات کلسیم معادل (میانگین ۲۴/۸۱) خاک‌ها جزء خاک‌های آهکی به‌شمار می‌روند. مقدار ماده آلی آن‌ها پایین (۱/۱۸ درصد) بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD) در مدت یک دقیقه ۵/۳۳ میلی‌متر بوده و به‌دلیل فراوانی بالای ذرات شن و سنگریزه، خاک‌ها دارای هدایت هیدرولیکی اشباع به‌نسبت بالایی (۴/۱۲ سانتی‌متر بر ساعت) بودند.

ویژگی‌های خاک شیارها: جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شیارها را نشان می‌دهد. توزیع اندازه ذرات خاک نشان‌دهنده مقادیر بالای شن (میانگین ۶۳/۹۳) نسبت به سیلت (میانگین ۲۲/۶۷) و رس (۱۳/۴۰) در دامنه‌های تحت فرسایش شیارها بود. بافت‌های لوم شنی، لوم، شن لومی و شنی به‌ترتیب فراوانی بیش‌تری در دامنه‌ها داشتند. خاک دامنه‌ها از نظر شیمیایی قلیایی بوده ($pH=7.98$) و با توجه به مقادیر پایین شوری ($EC=0.76 \text{ dS m}^{-1}$)، درصد سدیم تبادلی (۹/۵۰) و نیز نسبت جذب سدیمی (۴/۴۹) خاک دامنه‌ها

جدول ۳- توصیف آماری برخی ویژگی‌های خاک در نمونه‌های برداشت شده از شیارها در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال‌غربی زنجان.

Table 3. Statistical descriptive of soil properties in the rill's soil samples in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

انحراف معیار St D	میانگین Mean	بیش‌ترین Max	کم‌ترین Min	ویژگی‌های خاک Soil properties
13.10	63.93	91.01	40.47	شن (%) Sand (%)
9.45	22.67	39.12	5.07	سیلت (%) Silt (%)
4.63	13.40	21.18	3.92	رس (%) Clay (%)
9.04	41.04	55.94	23.39	سنگریزه (%) Gravel (%)
1.50	2.01	4.98	0.001	پایداری خاکدانه (میلی‌متر) Aggregate stability (mm)
0.23	1.44	2.20	1.05	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g cm^{-3})
7.87	32.62	50.81	10.07	نقطه اشباع (%) Saturated point (%)
1.68	4.12	7.81	1.84	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت) Hydraulic conductivity (cm h^{-1})
0.16	7.98	8.24	7.45	پ‌هاش pH
0.17	0.64	1.23	0.40	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS m^{-1})
58.63	78.48	107.62	40.70	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان بر صد گرم) Cation exchangeable capacity ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$)
10.28	9.50	33.31	0.06	درصد سدیم تبادلی Exchangable sodium percentage
1.95	4.49	9.73	2.04	نسبت جذب سدیمی Sodium adsorption ratio
0.58	1.18	3.22	0.25	ماده آلی Organic matter (%)
7.89	24.81	35.25	11.00	کربنات کلسیم معادل (%) Equivalent calcium carbonate (%)

معنی‌دار در دامنه‌ها بودند، را با مساحت مقطع عرضی شیار نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مساحت مقطع عرضی شیار هم‌بستگی معنی‌دار با شن ($P < 0/01$) و رس ($r = -0/49$ و $P < 0/01$)، سیلت ($r = 0/40$ و $P < 0/05$) هدایت هیدرولیکی اشباع ($r = -0/38$ و $P < 0/05$) و درصد شیب ($r = 0/53$) داشت. با افزایش مقدار شن، مساحت مقطع عرضی شیار کاهش یافت. این در حالی است که مقدار سیلت و رس و نیز شیب اثری افزایشی بر مساحت مقطع عرضی شیار نشان دادند.

تفاوت ویژگی‌های خاک شیار بین دامنه‌ها: تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک شیارها بین دامنه‌ها (جدول ۴) نشان داد که خاک‌ها دارای تفاوت معنی‌دار از نظر درصد شن ($P < 0/001$)، درصد سیلت ($P < 0/001$)، درصد رس ($P < 0/001$)، هدایت هیدرولیکی اشباع ($P < 0/001$) و درصد سدیم تبادل ($P < 0/05$) بودند. این ویژگی‌های خاک به‌عنوان ویژگی‌های خاک مؤثر بر توسعه شیار در دامنه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. جدول ۵ همبستگی شیب و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شیارها که دارای تفاوت

جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک شیارها بین دامنه‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال‌غربی زنجان.

Table 4. Analysis of variance for soil properties among the hillslopes in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

معنی‌داری Significance	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Freedom degree	مجموع مربعات Sum of squares	ویژگی‌های خاک Soil properties
0.00	483.1**	9	4348.37	شن Sand
0.00	252.1**	9	2269.09	سیلت Silt
0.00	54.1 ^{ns}	9	486.82	رس Clay
0.41	87.1 ^{ns}	9	783.38	سنگریزه Gravel
0.26	2.8 ^{ns}	9	24.85	پایداری خاکدانه Aggregate stability
0.88	0.1 ^{ns}	9	0.27	جرم مخصوص ظاهری Bulk density
0.07	99.1 ^{ns}	9	890.95	نقطه اشباع Saturated point
0.00	6.5 ^{ns}	9	58.78	هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity
0.54	0.1 ^{ns}	9	0.23	پ‌هاش pH
0.39	5975.4 ^{ns}	9	5378.97	ظرفیت تبدلی کاتیونی Cation exchangeable capacity
0.02	196.67 ^{ns}	9	1769.99	درصد سدیم تبدلی Exchangeable sodium percentage
0.88	0.2 ^{ns}	9	4348.37	ماده آلی Organic matter
0.23	79.7 ^{ns}	9	2269.09	کربنات کلسیم معادل Equivalent calcium carbonate

ns، * و *** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹/۹۹ درصد.

تأثیر ویژگی‌های خاک و شیب بر ایجاد شیارها: توزیع اندازه ذرات از ویژگی‌های مهم خاک در فرسایش شیاری بود، که به‌نوبه خود هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) را تحت‌تأثیر قرار داد (جدول ۵). همبستگی معنی‌دار بین K_s و درصد سیلت ($P < 0/01$ و $r = -0/46$) و رس خاک ($P < 0/05$) و $r = 0/44$) مشاهده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در خاک‌های ریز بافت به‌دلیل نفوذپذیری پایین خاک، تولید رواناب و در نتیجه هدررفت خاک در شیارها بیش‌تر می‌شود (۴۳). در مطالعه‌ای رومرو و همکاران (۲۰۰۷) وجود ذرات سیلت و شن خیلی‌ریز در خاک را به‌عنوان عامل افزایش مقدار فرسایش‌پذیری شیاری بیان کردند. با این وجود در مطالعه‌ای دیگر که توسط حسینی و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی فراوانی فرسایش شیاری در واحد طول انجام گرفت، نتایج نشان داد که همبستگی منفی بین فراوانی شیارها در طول دامنه و مقدار رس خاک وجود دارد. پایداری خاکدانه (MWD) اگر چه تغییرات معنی‌دار بین خاک دامنه‌ها نداشت اما مقدار آن به نوبه خود تحت‌تأثیر درصد ذرات شن و ماده آلی خاک قرار گرفت به‌طوری‌که پایداری خاکدانه همبستگی منفی با مقدار شن ($P < 0/05$ و $r = -0/45$) و همبستگی مثبت با مقدار ماده آلی خاک ($P < 0/05$ و $r = 0/40$) داشت. اگرچه در اغلب خاک‌ها، ذرات رس نقشی اساسی در تشکیل خاکدانه‌ها و پایداری ساختمان خاک دارند، در این مطالعه همبستگی معنی‌دار بین پایداری خاکدانه و درصد رس خاک مشاهده نشد. مطابق با این نتیجه، در مطالعه‌ای که لیبسونایس و سینگر (۱۹۹۳) در گستره وسیعی از خاک‌ها در کالیفرنیا انجام دادند، نشان دادند که همبستگی معنی‌دار بین پایداری خاکدانه و مقدار

رس خاک وجود ندارد. در دامنه‌های مطالعاتی، مقدار رس خاک نسبت به ذرات دیگر بسیار پایین بود (حدود ۱۳/۴ درصد). تحت چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد ذرات رس نقشی اساسی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها ایفاء نمی‌کنند و فرآیندهای تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها به‌طور عمده تحت‌تأثیر مقدار ماده آلی خاک قرار می‌گیرند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک عامل مهم مؤثر بر گسترش مقطع عرضی شیار بود ($P < 0/05$ و $r = -0/38$) به‌طوری‌که در دامنه‌های با هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بالا، مساحت مقطع عرضی شیارها به‌طور قابل‌توجهی پایین بود. گزارش‌ها نشان می‌دهد که مقدار فرسایش شیاری با افزایش شدت جریان آب افزایش می‌یابد (۲۶). افزایش شدت جریان در شیارها به نفوذپذیری خاک وابسته است. نفوذپذیری بالا از ایجاد جریان پیوسته جلوگیری کرده و در نتیجه فرسایش شیاری را کاهش می‌دهد (۳۷). ذرات رس و سیلت خاک در کنار آن که عاملی برای کاهش نفوذپذیری خاک دامنه بودند، به‌دلیل انتقال‌پذیری آسان، در افزایش حساسیت خاک به فرآیند انتقال و در نتیجه گسترش مقطع عرضی شیار مؤثر بودند. مطابق با این نتایج، وطنی و واعظی (۲۰۱۴) با مطالعه بر روی هدررفت خاک در شیارها در خاک‌هایی با بافت مختلف در شرایط آزمایشگاهی نشان دادند که خاک رسی به‌دلیل نفوذپذیری پایین و داشتن ذرات انتقال‌پذیر زیاد، بیش‌ترین میزان فرسایش شیاری (۳۲۲ گرم بر مترمربع) را دارد. تأثیر ذرات سیلت در افزایش حساسیت خاک به فرسایش (فرسایش سطحی و شیاری) در مطالعات پیشین (۳، ۶، ۱۰، ۳۴، ۴۶) نیز نشان داده شده است.

جدول ۵- همبستگی بین برخی ویژگی‌های خاک شیار، تندی شیب و مساحت مقطع عرضی شیار در حوزه آبخیز تهم‌چای، زنجان.
Table 5. Correlation between rill's soil properties, rill slope steepness and rill cross section area among the hillslopes in the Tahame Chai catchment, north west of Zanjan.

مقطع عرضی شیار RA	درجه شیب SS	ماده آلی OM	درصد سدیم تبادل ESP	هدایت هیدرولیکی اشباع Ks	پایداری خاکدانه AS	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	متغیر Variable
1									شن Sand
							1	-0.46*	سیلت Silt
						1	0.69**	-0.45*	رس Clay
					1	0.24	0.24	-0.45*	پایداری خاکدانه AS
				1	-0.09	-0.44*	-0.46**	0.31	هدایت هیدرولیکی اشباع Ks
			1	-0.16	0.05	-0.19	-0.02	0.12	درصد سدیم تبادل ESP
		1	0.08	-0.18	0.40*	0.37*	0.16	-0.23	ماده آلی OM
	1	0.01	-0.13	-0.17	0.28	0.37*	0.36	-0.08	درجه شیب SS
1	0.53**	0.13	0.30	0.38*	0.13	0.40*	0.49**	-0.29	مقطع عرضی شیار RA

* و ** به ترتیب همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد.

نتایج بررسی همبستگی بین مساحت مقطع عرضی شیار در دامنه‌ها و درصد شیب دامنه نشان داد که درصد شیب در کنار ویژگی‌هایی از خاک، به‌عنوان عامل مهم مؤثر بر گسترش مقطع شیار در دامنه‌ها بود به‌طوری‌که همبستگی مثبت معنی‌دار بین این دو مشاهده شد ($P < 0/01$ و $r = 0/53$). به‌طورکلی شیب عامل اصلی کاهش فرصت نفوذ آب، افزایش تولید جریان و در نتیجه فرسایش خاک است. با بالا رفتن دبی جریان به‌دلیل افزایش درجه شیب، نرخ جداشدن ذرات خاک از شیارها نیز افزایش می‌یابد (۴۸) هم‌چنین دبی جریان عاملی مهم در عریض شدن شیارها می‌باشد (۳۸). با افزایش عرض و عمق مقطع شیار و در نتیجه افزایش مقطع عبور جریان، میزان هدررفت خاک در دامنه‌ها نیز افزایش می‌یابد. در مطالعات بسیاری، نقش شیب دامنه بر فرسایش خاک توسط آب بیان شده است. در این راستا بتانی و گریسمر (۲۰۰۰) نشان دادند که افزایش درصد شیب از ۴ تا ۱۶ درصد، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان هدررفت خاک دارد. کیمارو و همکاران (۲۰۰۸) بیان داشتند که شیب عاملی مهم در فرسایش شیار و بین شیار است. با این حال نقش افزایش شیب به‌ویژه در شیب‌های بالای ۴۰ درصد در افزایش فرسایش شیار نسبت به فرسایش بین‌شیاری بسیار بارزتر است. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد دامنه‌های با شیب بالا در منطقه نیمه‌خشک که تراکم پوشش گیاهی آن‌ها بسیار پایین است، بسیار حساس به فرسایش شیار می‌باشند.

کمی‌سازی فرسایش شیار در دامنه‌ها: برای کمی‌سازی تشکیل شیارها در دامنه‌های منطقه، رابطه بین مساحت مقطع عرضی شیار و متغیرهای مؤثر بر آن (سیلت، رس، هدایت هیدرولیکی اشباع و شیب) با استفاده از تجزیه رگرسیون خطی چندگانه به روش گام به گام تعیین شد. نتایج نشان داد که مساحت مقطع عرضی شیار رابطه‌ای معنی‌دار با تندی شیب و درصد سیلت خاک دارد ($P < 0/001$ و $R^2 = 0/38$) (جدول ۶). هر دو عامل نقشی افزایشی در گسترش سطح مقطع شیار در دامنه‌ها نشان دادند. در واقع از بین خصوصیات توپوگرافی، تندی شیب و از بین خصوصیات خاک درصد سیلت، مهم‌ترین نقش را در گسترش شیارها در دامنه داشتند. به‌عبارت دیگر، مساحت مقطع عرضی شیار در دامنه‌هایی در منطقه بالا است که از یک‌سو شیب دامنه بیش‌تر بوده و از سوی دیگر فراوانی ذرات سیلت در خاک بیش‌تر می‌باشد. حدود ۲۰ درصد از تغییرات مقطع عرضی شیارها در حوزه آبخیز تهم‌چای توسط درجه شیب و حدود ۱۸ درصد از آن توسط فراوانی ذرات سیلت تبیین شد. اگرچه رابطه مذکور معنی‌دار می‌باشد اما پایین بودن ضریب تبیین (R^2) نشان می‌دهد که عوامل ناشناخته دیگری در دامنه‌ها در توسعه شیارها نقش دارند که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته نشده بود. این عوامل از شکل شیب در دامنه‌ها، وضعیت نیم‌رخ خاک‌ها تا پوشش سنگی سطح آن‌ها می‌تواند قابل بررسی باشد. در این راستا انجام مطالعات گسترده برای دستیابی به مدلی با درجه اطمینان بالاتر قابل توصیه است.

جدول ۶- تجزیه رگرسیونی رابطه مساحت مقطع عرضی شیار با تندی شیب و درصد ذرات سیلت خاک دامنه در حوزه آبخیز تهم‌چای، زنجان.

Table 6. Regression analysis for the relationship between rill cross section area and slope steepness and silt percentage of the hillslopes in the Tahamc Chai catchment, north west of Zanjan.

معنی‌داری Significance	ضریب استاندارد Standardized coefficients	ضریب غیراستاندارد Unstandardized coefficients	مدل Model
0.019	-	-0.188	ثابت Constant
0.019	0.402	0.007	درجه شیب Slope steepness
0.041	0.347	0.003	سیلت Silt

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بیانگر آن است که در بین مشخصه‌های شیار در دامنه‌ها تنها ویژگی‌های عرض، عمق، عرض به عمق و سطح مقطع عرضی شیار دارای تفاوت معنی‌دار بین دامنه‌ها بودند و طول شیار تنها مشخصه‌ای از شیار بوده که تفاوت معنی‌دار بین دامنه‌های مورد بررسی نداشت. مساحت مقطع عرضی شیار تحت‌تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تندی شیب قرار گرفت. در بین ویژگی‌های فیزیکی خاک، ذرات اولیه خاک تأثیر متفاوتی بر گسترش مساحت مقطع عرضی شیار داشتند. مساحت مقطع عرضی شیار در دامنه‌هایی که خاک آن‌ها دارای مقدار بیشتری از ذرات سیلت و رس بودند، بالاتر بود. همچنین نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد، تندی شیب و درصد سیلت، مهم‌ترین نقش را در گسترش مقطع شیارها در دامنه‌ها منطقه دارند. حدود ۲۰ درصد از تغییرات گسترش سطح مقطع شیار در دامنه‌ها تحت‌تأثیر تندی شیب و حدود ۱۸ درصد از آن

تحت‌تأثیر درصد سیلت خاک قرار داشت. با توجه به حساسیت دامنه‌های با شیب بالا و با خاک‌های حساس (فراوانی بالای ذرات سیلت و رس)، حفظ پوشش طبیعی و جلوگیری از چرا برای کاهش وقوع فرسایش شیاری اجتناب‌ناپذیر است. معادله به‌دست آمده برای پیش‌بینی گسترش مقطع عرضی شیار تنها بخشی از تغییرات فرسایش شیاری (۳۸ درصد) در منطقه را توصیف می‌کند. این نتیجه بیانگر آن است که عوامل دیگری نیز در منطقه وجود دارند که بر گسترش مقطع شیار در دامنه‌ها مؤثر می‌باشند. این عوامل ناشناخته می‌تواند شامل شکل دامنه، پوشش سطحی و ویژگی‌های نیم‌رخ خاک باشد. به هر حال شناخت دقیق کل عوامل مؤثر بر گسترش فرسایش شیاری می‌تواند، برای برنامه‌ریزی مناسب جهت به حداقل رساندن گسترش این نوع فرسایش در دامنه‌ها مؤثر باشد.

منابع

1. Aksoy, H., Unal, N.E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., Inci, S.B., Eris, E., and Pak, G. 2013. Laboratory experiments of sediment transport from a bare soil with rill. *Hydrol. Sci. J.* 58: 7. 1505-1518.
2. Angers, D.A., and Mehuys, G.R. 1993. Aggregate stability to water. P 651-657, In: M.R. Carter (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian, Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton.
3. Bonilla, C.A., and Johnson, O.I. 2012. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*. 189-190: 116-123.
4. Battany, M.C., and Grismer, M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa valley vineyards effect of slope cover and surface roughness. *Hydrolo. Proc.* 14: 1289-1304.
5. Bryan, R.B. 1987. Processes and Significance of rill development. *Catena Supplement*, Catena Verlag, Cremlingen. 8: 1-15.
6. Cao, L., Zhang, K., and Zhang, W. 2009. Detachment of road surface soil by flowing water. *Catena*. 76: 155-162.
7. Casali, J., Loizu, J., Campo, M.A., DeSantisteban, L.M., and Ivarez-Mozos, J.A. 2006. Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion. *Catena*. 67: 128-138.
8. Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturer, A., Bourennane, H., and Souchere, V. 2002. Rill eroaion on cultivated hillslopes during two ezxtreme rainfall events in Normandy, France. *Soil Till. Res.* 67: 99-108.
9. Daneshyar, K., Asadi, H., and Mossavi, A. 2013. Effects of soil type and stream power on relative importance of processes from flow in experimental condition. *Iran J. Soil Water Res.* 44: 4. 373-382. (In Persian)
10. de Meester, T., and Jungerius, P.D. 1978. The relationship between the soil erodibility factor K (Universal soil loss equation), aggregate stability and micromorphological properties of soils in the Hornos area, S. Spain. *Earth Surf. Proc.* 3: 379-391.
11. Emmett, W.W. 1970. The hydraulics of overland flow hill slopes. U.S. Geo logical Survey, Pp: 62-68.
12. Favis-Mortlock, D.T., Boardman, J., Parsons, A.J., and Lascelles, B. 2000. Emergence and erosion: a model for rill initiation and development. *Hydrol. Proc.* 14: 2173-2205.
13. Foster, G.R., Huggins, L.F., and Meyer, L.D. 1984. A laboratory study of rill hydraulics: I. Velocity relationships. *Transactions of ASAE*. 27: 790-796.
14. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd ed. Agrono.
15. Giménez, R., and Govers, G. 2008. Effects of freshly incorporated straw residue on rill erosion and hydraulics. *Catena*. 72: 214-223.
16. Govers, G. 1985. Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion. *Catena*. 12: 35-49.
17. Hancock, G.R., Crawter, D., Fityus, S.G., Chandler, J., and Wells, T. 2008. The measurement and modelling of rill erosion at angle of repose slopes in mine spoil. *Earth Surf. Proc. Land Forms*. 33: 1006-1020.
18. Hosseini, M.S., Mosaedi, H., Naseri, K., and Golkarian, A. 2012. Identification of the most effective elements on rill erosion in the hill slope units of mashhad south west, Iran. *Geog. Environon. Hazards*. 2: 87-99. (In Persian)
19. Kimaro, D.N., Poesen, J., Msanya, B.M., and Deckers, J.A. 2008. Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and rill erosion. *Catena*. 75: 38-44.
20. Klute, A. 1986. *Methodes of Soil Analysis. Part1. Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA.
21. Laflen, J.M., Elliot, W.J., Simanton, R., Holzhey, S., and Kohl, K.D. 1991. WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *J. Soil Water Cons.* 46: 1. 39-44.

22. Lal, R. 1994. Soil Erosion Research Methods. St. Lucie Press, Z. Delray Beach, FL, Soil and Water Conservation Society Ankeny, IA.
23. Le Bissonnais, Y., and Singer, M.J. 1993. Seal formation, runoff, and interrill erosion from seventeen California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 224-229.
24. Lei, T.W., Zhang, Q., Zhao, J., and Tang, Z. 2001. A laboratory study of sediment transport capacity in the dynamic process of rill erosion. *Transactions of the ASAE.* 44: 1537-1542.
25. Li, J.C., Liu, Q.Q., and Zhou, J.F. 2003. Environmental mechanics in China. *Adva. in Appl. Mecha.* 39: 217-306.
26. Li, M., Zhan-bin, L., Dingd, W.L., and Yaoa, W. 2006. Using rate earth element tracers and neutron activation analysis to study rill erosion process. *Appl. Radi. Isotr.* 64: 402-408.
27. Liu, Q.Q., Xiang, H., and Singh, V.P. 2006. A simulation model for unified interrill erosion and rill erosion on hillslopes. *Hydrol. Proc.* 20: 469-486.
28. Martinez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., and Ribes-Dasi, M. 2002. Soil erosion caused by extreme events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma.* 105: 125-140.
29. Miguel, R., Marcos, J., Schafer, E., Cassol, A., and Darrell Norton, L. 2001. Interrill and rill erosion on a tropical sandy loam soil affected by tillage and consolidation. United State Department America–American Rose Society National Soil Erosion Research Laboratory, Pp: 601-605.
30. Morgan, R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation. (Third ed.) Blackwell Publishing Ltd.
31. Nicolau, J.M. 2002. Runoff generation and routing on artificial slopes in a Mediterranean–continental environment: the Teruel coalfield, Spain. *Hydrol. Proc.* 16: 631-647.
32. Page, A., Miller, L., and Keeny, D.R. 1982. Method of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
33. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1986. Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. *Agron. Monogr.* 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
34. Parysow, P., Wang, G., Gertner, G., and Anderson, A. 2003. Spatial uncertainly analysis for mapping soil erodibility on joint sequential simulation. *Catena.* 53: 65-78.
35. Polyakov, V.O., and Nearing, M.A. 2003. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. *Catena.* 51: 33-43.
36. Romero, C.C., Stroosnijder, L., and Guillermo, A.B. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena.* 70: 105-113.
37. Sirjacobs, D., Shainberg, I., Rapp, I., and Levy, G.J. 2001. Flow interruption effects on intake rate and rill erosion in two soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 825-834.
38. Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., and Knapen, A. 2006. Channel width–flow discharge relationships for rills and gullies. *Geomorphology.* 76: 273-279.
39. U.S. Soil Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook* 60. United States Department of Agriculture.
40. Vaezi, A.R., and Abbasi, M. 2012. The efficiency of runoff curve number method to estimate runoff in the Taham Chay watershed in north west of Zanjan. *J. Sci. Tech. Natur. Res. Water Soil Sci.* 61: 16. 209-219. (In Persian)
41. Vaezi, A.R., and Gharehdaghlili, H. 2013. Quantification of rill erosion development in marl soils of Zanjan Roud watershed in north west of Zanjan. *Iran. J. Water Soil.* 27: 872-881. (In Persian)
42. Vaezi, A.R., Sadeghi, S.H.R., Bahrami, H.A., and Mahdian, M.H. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology.* 97: 414-423. (In Persian)
43. Vatani, A., and Vaezi, A.R. 2014. Soil loss in rill and temporal variation during rainfall in different soil textures. *Water and Soil Science.* 24: 3. 83-92. (In Persian)
44. Walkley, A., and Black, C.A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Sci.* 63: 251-264.

45. Wirtz, S., Seeger, M., and Ries, J.B. 2010. The rill experiment as a method to approach a quantification of rill erosion process activity. *Zeitschrift fur Geomorf.* 54: 1. 47-56.
46. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation farming. Science and Education Administration, U.S. Department of Agriculture, Handbook, (No.537), 58p.
47. Zhang, X., Quine, T.A., and Walling, D.E. 1998. Soil erosion rates on sloping cultivated land on the Loess Plateau near Ansai, Shaanxi Province, China: an investigation using ¹³⁷Cs and rill measurements. *Hydrol. Proc.* 12: 171-189.
48. Zhang, G.H., Liu, B.Y., Nearing, M.A., Huang, C.H., and Zhang, K.L. 2001. Soil detachment by shallow flow. *Soil and Water Division of ASAE.* 45: 1. 1-7.
49. Zhang, Q., Lei, T., and Jun, Z. 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma.* 147: 8-15.
50. Zhu, X., Risse, L.M., Mccutcheon, S.C., Tollner, E.W., Rasmussen, T.C., and West, V. 2010. Laboratory Investigation of Rill Erosion on Compost Blankets under Concentrated Flow Condition. *Am. Soc. Agri. Biol. Eng.* 53: 1077-1086.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes (A case study: Taham Chai catchment, NW Zanjan)

***A.R. Vaezi¹, H. Gharehdaghi² and S. Marzvan³**

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, ²M.Sc. Graduate, Dept. of
Soil Science, University of Zanjan, ³Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan

Received: 04/15/2015; Accepted: 02/13/2016

Abstract

Background and Objectives: Rill erosion is one of the most important soil erosion types in the hillslopes which occurs due to concentration of surface runoff. In general, rills are a small, ephemeral concentrated flow paths which function as both sediment source and sediment delivery systems for erosion on hillslopes. Rill development is common in overgrazed land where soil water retention capacity is diminished and also in freshly cultivated soil where the soil structure has been loosened. Rill erosion can be a large portion of the channel erosion in these areas, particularly in semi-arid regions. Rill development in the hillslopes can be affected by different factors including topographic characteristics, vegetation cover condition, rainfall characteristics, soil properties and management practices. Knowledge of factors affecting rill erosion development is necessary to control this erosion in the hillslopes.

Materials and Methods: This study was conducted to find factors influencing rill development in semi-arid rangelands in the TahamChai catchment, north west of Zanjan, Iran. Toward this, ten sparse hillslope as affected by rill erosion were selected and all rill characteristics along with some soil properties were determined in the rills. Rill characteristics, slope steepness and soil properties were compared among the hillslopes. Effects of slope steepness and soil properties on the rill erosion were recognized using the correlation matrix method. Multiple linear regression analysis was used to develop an equation for estimating rill erosion in the hillslopes.

Results: Results indicated that all rills characteristic expect length were significantly differed among the hillslopes. Significant differences were found among the hillslope soils in sand, silt, clay, saturated hydraulic conductivity and exchangeable sodium percentage. Rill cross section area varied from 0.01 to 0.29 m² with an average of 0.07 m² in the hillslopes. It was recognized to be the most important rill characteristic to describe rill erosion development in the hillslopes. Significant correlations between this rill characteristic were observed and slope steepness, sand, silt, clay and saturated hydraulic conductivity. Rill cross section area was the highest where either the hillslopes tend to have higher slope steepness or they have higher percentage of silt and clay. Multiple linear regression analysis appeared that rill cross section area in the rangeland hillslopes was significantly related to slope steepness and silt ($R^2=0.38$, $P<0.01$). In fact, about 38% of variation of rill erosion in the hillslopes could be explained by the developed equation. Slope steepness was recognized as the major topographic factor which explained about 20% of rill erosion variation in the hillslopes.

Conclusion: With regarding to the importance of slope steepness and silt in the rill erosion development, maintaining vegetation cover through preventing over-grazing in the hillslopes of the area where slope steepness is higher and the soil is sensitive to water erosion processes is very essential. According to the developed equation there are also other variables which may control rill development in the hillslopes. Land shape, soil profile characteristics and land surface cover can be introduced as unknown variables which can be investigated in the next studies in order to develop a reliable model to prediction of rill erosion in the hillslopes.

Keywords: Rangelands, Rill development, Rill characteristics, Semi-arid region, Soil loss

* Corresponding Author; Email: vaezi.alireza@gmail.com