نشریه مدیریت اراضی/ جلد ۷ / شماره ۲ / ۱۳۹۸

10.22092/lmj.2019.125325.173

فرسایش تونلی، تهدید یا فرصت

محسن حسینعلی‌زاده[۱]، محمد علی‌نژاد، حمید زارعی و علیرضا جلالی فرد

استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

alizadeh_m2001@yahoo.com

دانش آموخته گروه مدیریت مناطق بیابانی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

alinezhad0121@yahoo.com

دانش آموخته گروه آبخیزداری پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

hamidzarei1368@yahoo.com

دانش آموخته گروه مدیریت مناطق بیابانی پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

alirezajalalifard@yahoo.com

دریافت: اسفند ۱۳۹۷ و پذیرش: تیر ۱۳۹۸

چکیده

فرسایش تونلی از جمله فرسایش‌های آبی و تشدید شونده است که ظهور و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین، پسرفت اراضی، تخریب محیط‌زیست و تلفات خاک و آب می‌شود. این نوع فرسایش باعث از بین رفتن حاصلخیزی خاک سطحی و نابودی زمین‌های کشاورزی شده و خطراتی را برای مردم، ماشین‌آلات کشاورزی، دام و راه‌های ارتباطی به دنبال دارد. از طرفی این نوع فرسایش باعث ایجاد چشم‌اندازهای طبیعی در منطقه شده و به عنوان پناهگاه برای حیات‌وحش و رویش گیاهان و درختان وحشی محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق معرفی پتانسیل‌های مثبت و منفی فرسایش تونلی در بخشی از نهشته‌های لسی شرق استان گلستان می‌باشد. در این تحقیق میدانی، مشخصات تمامی فرسایش‌های تونلی از قبیل: نوع درختچه‌های موجود، نوع کاربری، شیب، موقعیت و جهت جغرافیایی آن‌ها، ثبت و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین تونل‌ها در کلاس شیب ۴۵-۲۰ درصد و شیب‌های مقعر با کاربری مرتعی رخ داده است. از ۳۴۸ فرسایش تونلی موجود، ۱۳۳ عدد دارای درخت و درختچه شامل انار، سیاه تلو و انجیر بودند. این نوع فرسایش در نهشته‌های لسی محل مناسبی برای رشد گیاهان و درختان می‌باشد و در اقلیم نیمه‌خشک می‌تواند فرصت مناسبی را برای رشد گیاهان فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: نهشته‌های لسی، تنوع زیستی، زمین منظر، گلستان

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: گروه مدیریت بیابان پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران.

مقدمه

فرسایش تونلی[1] از جمله فرسایش‌های آبی است که رخداد آن سبب تغییرات بارز در منظر زمین و تخریب محیط‌زیست می‌شود. این نوع فرسایش عبارت است از مجرای زیرسطحی رواناب که غالباً در اثر انحلال ایجاد شده و چنانچه در روی دامنه شیب‌دار تشکیل شود با فروریزی سقف تونل‌ها، آبکند [2] ایجاد می‌شود (یمانی و اکبریان، ۱۳۹۲). فرسایش تونلی منجر به تغییرات شکل زمین و پاسخ هیدرولوژیکی شده که نهایتاً خسارت‌پذیری فعالیت‌های دامی و کشاورزی مردم منطقه را به دنبال دارد. عوامل متنوع با میزان تأثیر متفاوت در ایجاد و گسترش فرسایش تونلی نقش ایفا می‌کنند. قطع یکسره درختان جنگل‌ها و تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی باعث تخریب یا اخلال در اکوسیستم‌های طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی یا آینده خاک می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل فرسایش، کاهش حاصلخیزی، تغییر در رطوبت خاک، شور شدن خاک و یا تغییر در فلور و فون خاک منطقه باشد (کلیک [3]، ۱، ۲۰۰۵).

پایش فرسایش تونلی با توجه به عملکرد پیچیده تشکیل و مشکلات اندازه‌گیری، در مقایسه با فرسایش سطحی، کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. متوسط سالانه هدرفت خاک ناشی از فرسایش تونلی در محدوده‌ای در لهستان، ۲/۳ الی ٤/٦ تن در هکتار گزارش شده است که نسبت به تلفات خاک ناشی از فرسایش سطحی و شیاری در کاربری‌های یکسان، بیشتر است (وراچرت[2] و همکاران، ۲۰۱۰). برناتک[3] (۲۰۱۵) با مقایسه فرسایش‌های تونلی ریزشی و شبکه آبکند، در منطقه‌ای در لهستان نتیجه گرفت که فرسایش تونلی نقش مهمی در توسعه آبکند دارند. همچنین برناتک و همکاران (۲۰۱٦)، عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش تونلی را به فعالیت زیستی و خواص فیزیکی خاک مانند بافت (سیلت) و ساختمان، جرم مخصوص ظاهری کم، تخلخل بالا همراه با نفوذ آب و رواناب سطحی شدید نسبت دادند و نتیجه گرفتند تأثیر فعالیت‌های زیستی باعث افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود.

برایان و جونز (۱۹۹۷)، مشاهده کردند که فرسایش تونلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ممکن است چهار برابر بیشتر از سایر مناطق اقلیمی باشد. فاکنر[4] (۲۰۱۳)؛ بروتانس[5] و همکاران (۲۰۱۲)، ذکر کرده‌اند حرکت‌های توده‌ای نیز می‌تواند در نتیجه تخریب ثانویه فرسایش‌های تونلی رخ دهد. به نقل از (ژئو[6] ۲۰۰۳؛ رومرودیاز و همکاران، ۲۰۰۹) فرسایش تونلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به مناطق مرطوب ۲ تا ۲۰ برابر بیشتر رخ می‌دهد. ژئو (۲۰۰۲)، اظهار نظر کرد که استعداد ایجاد فرسایش تونلی تحت تأثیر بافت خاک بوده و اغلب در خاک‌های لسی که غنی از سیلت می‌باشند، توسعه می‌یابد. همچنین ژئو و همکاران (۲۰۰۳)، در مطالعه‌ای در شمال چین، آورده‌اند فرسایش تونلی ۱۰ درصد تلفات رواناب را شامل می‌شود و بزرگ بودن ابعاد تونل‌ها ممکن است نماینده شرایط در بسیاری از محیط‌های خشک و نیمه‌خشک باشد. جونز و همکاران (۲۰۰۷)، آن را یک معضل اساسی در زمین‌های کشاورزی قلمداد کردند. ویلسون و همکاران (۲۰۱۵)، نیز وجود فرسایش تونلی در خاک‌های غیر شور مانند خاک‌های لسی را شایع دانسته و در سه حوضه مرتعی (یکی فاقد فرسایش تونلی و دو مورد دیگر دارای تراکم بالایی از فرسایش تونلی) که کاربری آن‌ها از جنگل به مرتع تغییر داده شده است، نشان دادند که ویژگی‌های خاک و توپوگرافی به‌تنهایی مؤثر نبوده، بلکه تغییر کاربری نیز نقش مهمی در ظهور و بروز این رخساره فرسایشی دارد.

1 Piping
2 Gully
3 Celik
۲ Verachtert
۳ Bernatek
۴ Faulkner
5 Bruthans
۶ Zhu

حسینعلی زاده و همکاران (۲۰۱۸a) الگوی مکانی تونل‌ها در آبخیز ایکلی آغزلی مراوه‌تپه استان گلستان را با استفاده از تحلیل آمار نقطه‌ای، کپه‌ای نشان دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با نزدیک شدن به خط‌الرأس‌ها در فواصل بیشتر از سه متر، تونل‌ها متمرکزتر شده و از الگوی مکانی کپه‌ای تبعیت می‌کنند. از طرفی با نزدیک شدن به آبراهه، تعداد تونل‌ها نیز افزایش یافته که این مهم را به نقش آب به عنوان عامل اصلی انحلال و تشکیل تونل‌ها نسبت دادند. با لحاظ کردن بافت خاک به عنوان متغیر کمکی نیز نشان دادند که با افزایش سیلت، احتمال استقرار تونل‌ها افزایش می‌یابد. آن‌ها با استفاده از تحلیل تابع همبستگی نشان‌دار نیز نشان دادند که با افزایش شیب، احتمال استقرار تونل‌ها افزایش خواهد یافت. حسینعلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸b) در تحقیقی دیگر در بخشی از آبخیز ایکلی آغزلی مرواه تپه استان گلستان به وسعت تقریبی ۱۰۵ هکتار، متوسط فاصله تونل‌ها نسبت به یکدیگر را ۳۰۹ متر با تراکم ۰/۹۷ در هکتار تعیین کردند.

بر اساس آماره‌های دو متغیره، نشان دادند که تونل‌ها با شبکه‌های آبراهه و خط‌الرأس رابطه مستقیم و با شبکه‌های جاده رابطه منفی دارد. حسینعلی زاده و همکاران (۲۰۱۹) به تعیین حساسیت آبخیز ایکلی آغزلی مراوه‌تپه استان گلستان با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین، نسبت به فرسایش تونلی پرداختند. آن‌ها از مدل‌های SVM[1]، MDA[2]، FDA[3] و LR[4] با لحاظ کردن ۲۲ عامل مؤثر در رخداد فرسایش تونلی استفاده کردند. آن‌ها این مدل‌ها را با استفاده از معیار AUC[5] مورد ارزیابی قرار داده و بیان نمودند که تمامی آن‌ها مورد تأیید می‌باشد و مدل SVM بیشترین کارایی را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که درصد سیلت و وزن مخصوص ظاهری خاک مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رخداد فرسایش تونلی محسوب می‌شوند.

یکی از نهشته‌های حساس به فرسایش تونلی، نهشته‌های لسی هستند که به‌واسطه خصوصیات حساس و ویژه‌ای که دارند در برابر عوامل و فرایندهای فرسایشی سریعاً واکنش نشان می‌دهند که منجر به فرسایش و تخریب زیست‌محیطی منطقه شده و رخساره‌های فرسایشی ویژه‌ای همچون فرسایش تونلی و آبکند در آن‌ها ایجاد می‌شود (ژئو، ۲۰۱۲). کشاورزی در اراضی لسی شیب‌دار باعث کاهش مواد آلی، کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش فرسایش می‌شود (دولت‌خواهی، ۱۳۸۰). نهشته‌های لسی به مقدار قابل توجهی در چین، روسیه، آمریکا، استرالیا، اروپای مرکزی و غربی، شمال آفریقا، صحرای عربستان، شمال فرانسه، بلژیک، آرژانتین، لهستان، ایران و نقاط دیگر پراکنش دارند. بیشترین گسترش لس‌ها در چین می‌باشد، به‌طوری که در حوزه رودخانه زرد چین، حدود ۶۰۰ هزار کیلومتر مربع وسعت داشته که ضخامت این رسوبات غالباً بین ۵۰ تا ۶۰ متر و گاهاً به ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌رسد (رفاهی، ۱۳۸۵). رخساره‌های فرسایش آبکندی و تونلی در لس‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نسبت به لس‌های مناطق معتدل و نیمه‌مرطوب تراکم بیشتری دارند (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸٤). در بین استان‌های کشور، استان‌های گلستان، خراسان رضوی و خراسان شمالی بیشترین اراضی لسی را دارا می‌باشند. به دلیل شرایط اقلیمی مناسب در محدوده استان گلستان انواع کاربری‌های زراعی، جنگل و مرتع در این اراضی وجود دارد (جعفری اردکانی و همکاران، ۱۳۸۸).

حدود ۲۰ درصد از مساحت استان گلستان را نهشته‌های لسی تشکیل داده و بر اساس شاخص خشکی دومارتن و درصد مواد آلی موجود در خاک سطحی، شدت یا نرخ فرسایش در آن‌ها به ترتیب در رده‌هایی با رسوب‌زایی کم، متوسط و شدید طبقه‌بندی شده است (فیض‌نیا، ۱۳۸۷). نهشته‌های لسی در شمال شرقی استان

1 Support Vector Machine
2 Mixture Discriminant Analysis
3 Flexible Discriminant Analysis
4 Logistic Regression
5 Area Under the ROC curve

گلستان به صورت تپه‌ماهور دیده شده و به طور کلی ۹۰-۷۰ درصد مواد تشکیل‌دهنده رسوبات لسی را مواد سیلتی یعنی سیلت متوسط تا ماسه خیلی ریز تشکیل می‌دهد (رومرودیاز و همکاران، ۲۰۰۹). نهتانی (۱۳۹۱)، در بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری لس‌ها در حوضه گرگانرود، اشاره نمود که ٤٨ درصد از فرسایش آبکندی در این منطقه، ناشی از فرسایش تونلی می‌باشد. به نقل از زندمقدم (۲۰۰۷)، فرسایش تونلی بیشتر در نواحی شمال شرقی و شمال منطقه مراوه‌تپه ایجاد می‌شود که بیشترین عوامل ایجاد فرسایش تونلی، درصد وجود مواد آلی و آهک در نهشته‌های لسی و همچنین به کارگیری شیوه‌های غلط کشاورزی و دامداری و از بین رفتن پوشش گیاهی (سله بستن سطح خاک و فراهم شدن شرایط انحلال) ذکر شده است. فرسایش‌پذیری در لس‌های شمال و شمال شرقی استان گلستان زیاد می‌باشد. لس‌های حاشیه شمالی البرز فاقد فرسایش پایپینگ و جریان‌های زیرسطحی بوده و از ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردارند، در حالی که در لس‌های شمال و شمال‌شرق (استان گلستان)، فرسایش خندقی و پایپینگ متداول است (عیسایی و همکاران، ۱۳۸۲). این نوع فرسایش از دو جنبه بر محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد: ۱) با تخریب افق‌های سطحی و زیرین خاک، موجب تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید می‌شود، ۲) باعث تشدید در تخلیه رواناب‌های سطحی و کاهش حجم جریان آب‌های زیرزمینی از طریق کوتاه کردن ارتباط بین مناطق بالادست و پایین‌دست می‌شود (هولدن، ۲۰۰۲).

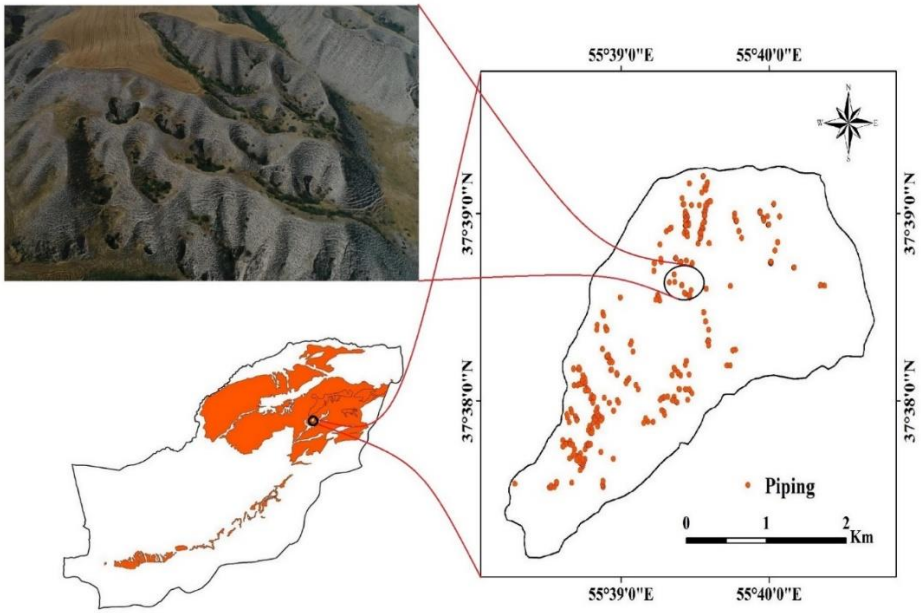
فرسایش تونلی دارای دو نوع اثر درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای می‌باشد که اثر درون منطقه‌ای آن نسبت به برون منطقه‌ای، حادتر است. اثر درون منطقه‌ای شامل تغییر چشم‌انداز و هیدرولوژی منطقه، کاهش میزان حاصلخیزی خاک، خطر سقوط دام و ماشین‌آلات کشاورزی به داخل تونل‌ها و از بین بردن تأسیسات و راه‌های ارتباطی از طریق ریزش سقف تونل می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام‌شده استنباط می‌شود که فرسایش تونلی از فرایندهای مهم تخریب سرزمین در جهان و ایران به شمار آید که تحت تأثیر عوامل گوناگون در آبخیزها به شکل‌های مختلف تشکیل و توسعه می‌یابد. به نظر یمانی و اکبریان (۱۳۹۲)، پدیده فرسایش تونلی، یکی از جالب‌ترین و نادرترین شکل‌های فرسایش است و در هر شرایط آب و هوایی می‌تواند تشکیل شود، ولی شرایط ایجاد آن به‌ویژه از نظر ژئومورفولوژی کاملاً ناشناخته است. عملکرد تشکیل آن‌ها بسیار پیچیده است و عوامل ادافیکی، فیزیوگرافی، اقلیمی و عوامل زیستی به یک اندازه در ایجاد این فرسایش نقش ندارند. از آن جایی که فرسایش تونلی نسبت به سایر رخساره‌های فرسایش آبی کمتر مورد توجه قرار گرفته و از طرفی سطح وسیعی از استان گلستان توسط نهشته‌های لسی با استعداد بالقوه در ایجاد و گسترش فرسایش تونلی وجود دارند، بررسی آن‌ها حائز اهمیت است. با توجه به وجود فرسایش‌های تونلی متعدد در اراضی لسی شرق استان گلستان، این رخساره‌های فرسایشی از طرفی به تخلیه شدید آب از محدوده مورد مطالعه منجر شده و محاسبات هیدرلوژیکی را با چالش مواجه ساخته و از سوی دیگر، بستر مناسبی جهت رشد گیاهانی نظیر انواع گراس‌ها، انجیر، انار وحشی و سیاه‌تلو محسوب می‌شوند. لذا هدف از این پژوهش بررسی تهدیدها و فرصت‌هایی است که از رخداد فرسایش تونلی در زیرحوضه ایکلی‌آغزلی با نهشته‌های لسی، واقع در شرق استان گلستان ایجاد می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

آبخیز ایکلی آغزلی با مختصات جغرافیایی از عرض "٧,٤ ′٣٧ °٣٧ تا "١٢ ′ ٣٩ ° ٣٧ شمالی و طول "٤٧ ′٣٨ °٥٥ تا "٢١ ′ ٤٠ ° ٥٥ شرقی و مساحتی معادل ۷۰۳ هکتار در شرق استان گلستان و شمال کشور و در فاصله‌ی ٦٠ کیلومتری کلاله و ۵۰ کیلومتری مراوه‌تپه در محدوده حوزه آبخیز گرگانرود واقع شده است (شکل ۱). میزان ارتفاع منطقه از ۲۰۹ متر تا حدود ۵۵۰ متر از سطح دریا

متغیر است. شیب متوسط وزنی حوضه ۱۵/۲۱ درصد بوده و اراضی با شیب ۵ تا ۱۲ و ۱۲ تا ۲۰ درصد بیشترین شیب را در حوضه به خود اختصاص داده‌اند. مجموع اراضی با شیب کمتر از ۱۲ درصد برای کشاورزی مناسب است که ٤٧/١ درصد از سطح کل حوضه را شامل می‌شود. این حوضه به علت وجود مجموعه‌ای از عوامل طبیعی و انسانی از قبیل دارا بودن نهشته‌های لسی حساس به فرسایش، تغییر کاربری اراضی، چرای بیش از حد دام‌ها و عدم رعایت اصول صحیح کشاورزی در معرض فرسایش و تخریب زیادی قرار دارد. میزان بارندگی سالیانه و متوسط دمای ماهانه به ترتیب ۳۸۵ میلی‌متر و ۱۸/۲ درجه سلسیوس می‌باشد (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). گونه‌های غالب این منطقه، درمنه (*Artemisia sieberi*)، چمن پیازدار (*Poa bulbosa*) و علف پشمکی (*Bromus tectorum*) است .پوشش غالب بخش‌های جنگلی این حوضه به طور عمده شامل سیاه‌تلو (*Paliurus spina*) به همراه آلو کوهی (*Prunus sp*) و انار (*Punica granatum*) می‌باشد. اراضی زراعی موجود در آبخیز مورد مطالعه نیز، به‌طور عمده به کشت گندم (*Triticum aestivum*) و کلزا (*Brassica napus*) اختصاص یافته است.



شکل ۱- نقشه آبخیز ایکلی‌آغزلی در حوزه‌های آبخیز استان گلستان

روش کار

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث، پیمایش میدانی جهت ثبت موقعیت جغرافیایی تونل‌ها صورت گرفت. همچنین با استفاده ازمتر لیزری، ابعاد تونل‌ها اندازه‌گیری و ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها ثبت گردید. سپس با در نظر گرفتن عمق آن‌ها و لحاظ کردن نظرات افراد بومی و محلی با توجه به خطرات حادث شده تاکنون برای ساکنین و دام‌ها، به طبقه‌بندی شدت خطر فرسایش تونلی برای انسان و دام اقدام گردید (جدول ۱). در نهایت، نوع پوشش گیاهی استقرار یافته در داخل تونل‌ها تعیین شد و موقعیت آن‌ها توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی به ثبت رسید. علاوه بر آن، شکل فرسایش تونلی، شکل دامنه و جهت جغرافیایی منطقه دارای فرسایش تونلی، نیز تعیین شد.

جدول ۱- طبقه‌بندی خطر فرسایش تونلی بر حسب عمق در منطقه مورد مطالعه

کلاس خطر	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
عمق تونل (متر)	کمتر از ۱	۲-۱	۴-۲	بیشتر از ۴

نتایج و بحث

مشخصات تونل‌ها

عوامل متعددی در منطقه وجود دارند که می‌توانند بر شکل‌گیری و گسترش تونل‌ها تأثیرگذار باشند. این عوامل به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: ۱): عوامل مربوط به شرایط توپوگرافی منطقه از جمله طول و درجه شیب دامنه، جهت جغرافیایی دامنه، انحنای عمودی و افقی و ...، که به‌عنوان عوامل فیزیکی بیان می‌شوند و ۲): عوامل مربوط به شرایط طبیعی و اجتماعی منطقه از جمله زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی که آن‌ها را می‌توان به‌عنوان عوامل زیستی نام برد. از طرف دیگر میزان تأثیرگذاری هر کدام از این عوامل می‌توانند باعث گسترش و تحول شکل‌های فرسایشی شوند. جدول شماره ۲ برخی از خصوصیات ابعادی تونل‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی تونل‌ها

مشخصات پایپینگ‌ها	حداکثر	متوسط	حداقل
قطر (m)	۵۰	۴/۸۹	۰/۴
عمق (m)	۲۵	۳/۲۷	۰/۲۵

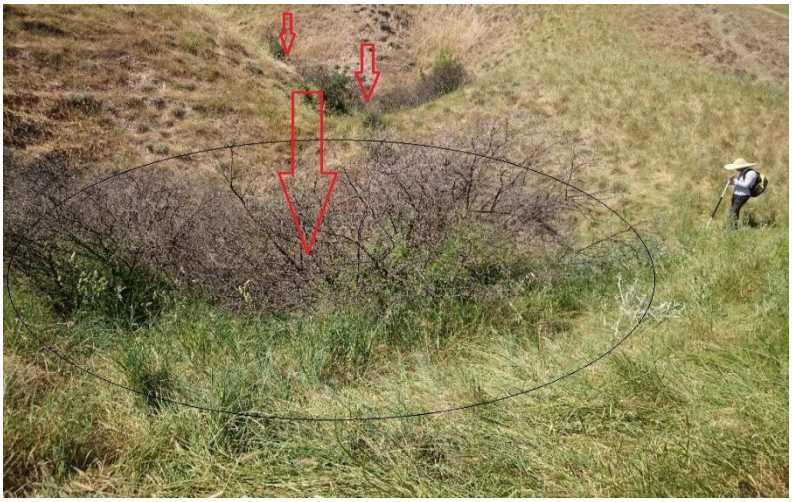
گونه‌های رشد یافته در تونل‌ها

گونه‌های علفی

از مجموع تونل‌های مشاهده شده، تعداد ۲۵۸ مورد (۷۵/۲ درصد از کل فرسایش‌های تونلی موجود) دارای گونه‌گیاهی جارو علفی[۱] بودند. این گیاه در بیشتر تیپ‌های گیاهی منطقه، گونه غالب یا همراه غالب را تشکیل داده و میزان زادآوری و تجدید حیات آن در وضعیت خوبی می‌باشد. گونه‌ی چمن پیازی[۲] نیز در ۱۷۳ مورد (۵۰/۴۳ درصد از کل تونل‌ها) از فرسایش‌های تونلی یافت شد. این گونه گیاهی دوساله و با خوش‌خوراکی متوسط می‌باشد. این گیاه در محدوده مورد مطالعه به‌عنوان مهاجم بوده و با حذف گونه‌هایی از قبیل قیاق و استیپا توسعه یافته است و در حال حاضر در اکثر تیپ‌ها، گونه غالب شده است. همچنین ۴۳ مورد از تونل‌ها (۱۲/۵۳ درصد از تونل‌ها) دارای گونه علفی درمنه[۳] بوده که این گیاه در بیشتر تیپ‌های گیاهی، گونه غالب را تشکیل داده و میزان زادآوری و تجدید حیات آن در وضعیت خوبی قرار دارد. از طرفی به دلیل غالب بودن در اکثر تیپ‌ها، مورد چرا قرار گرفته و پناهگاه خوبی برای گونه‌های حساس به چرا از قبیل گراس‌های یکساله محسوب می‌شود. از کل تونل‌های بررسی شده، تعداد ۹۵ تونل دارای گونه‌ی درختی انار وحشی[۴] (۲۷/۷ درصد از کل تونل‌ها) بودند. این گونه از گونه‌های ارزشمند دارویی شمال ایران است که از زیستگاه‌های شنی سواحل دریای خزر تا نواحی کوهستانی و جنگلی جنوب شرق استان گلستان رویش دارد و عموماً در داخل تونل‌ها رشد یافته و تا حدی به تثبیت فرسایش تونلی‌ها کمک کرده است (شکل ۲). ریشه‌های انار مانعی در برابر فرسایش خاک محسوب شده، نقش مهمی در جلوگیری از فرسایش خاک خصوصاً در دامنه‌ها ایفا می‌کند.

---

[۱] *Bromus tectorum*
[۲] *Poa bulbosa*
[۳] *Artemisia sieberia*
[۴] *Punica granatum .L*



شکل ۲- نمونه‌ای از استقرار انار وحشی در فرسایش تونلی (بخش شمالی منطقه)

۳۸ مورد از تونل‌ها (۱۱ درصد) دارای گونه درختی سیاه‌تلو[۱] بوده که درختچه‌ای کوچک به ارتفاع دو تا سه متر می‌باشد. سیاه‌تلو بیشتر در اقلیم نیمه‌خشک یافت می‌شود، بنابراین در مقابل خشکی مقاوم بوده، توان تحمل خشکی در محل استقرار را دارد. در تمام شرایط اقلیمی قابل رشد بوده و از طریق بذر و قلمه تکثیر می‌شود (شکل ۳).

شکل ۳- نمونه‌ای از استقرار سیاه تلو در فرسایش تونلی (بخش شرقی منطقه)

مطالعات نشان می‌دهد بخش‌هایی از اراضی مرتعی به علت عدم پراکنش مناسب منابع آبی و تردد بیش از حد از مسیرهای خاص خاک‌های مرتع لگدکوب شده (شکل ٤) و گونه‌های مرغوب مرتعی با توجه به تردد دام‌ها بین منابع غذایی (مرتع) و محل اقامت آن‌ها از بین رفته است. در مواردی که آبشخورها و محل اُتراق دام ثابت می‌باشد، سطح وسیعی از اطراف آن عاری از پوشش گیاهی شده و فشردگی دام در واحد سطح مرتع باعث عدم نفوذ آب به درون خاک شده و از دسترس گیاهان خارج می‌گردد. این مسئله از طرفی باعث شده است که بذور مرتعی با توجه به سفتی خاک و عدم نفوذ آب در خاک و در نهایت کمبود رطوبت جهت جوانه زدن، قادر به ادامه رشد نبوده و گونه‌های مهم مرتعی کم‌کم ناپدید شوند.

[۱] *Paliurus spina*

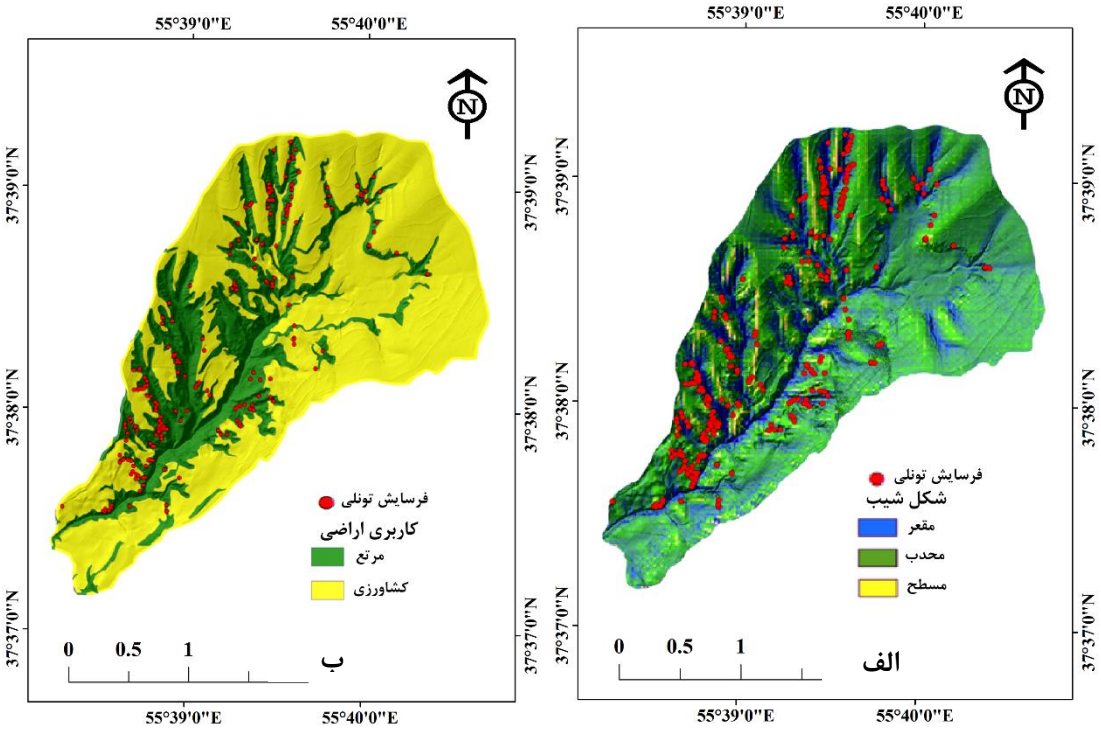
شکل ۴- نمایی از تخریب دامنه‌های مرتعی ناشی از تردد زیاد دام و چرای مفرط (بخش جنوب غرب منطقه)

عوامل مؤثر بر فرسایش نهشته‌های لسی و ایجاد تونل

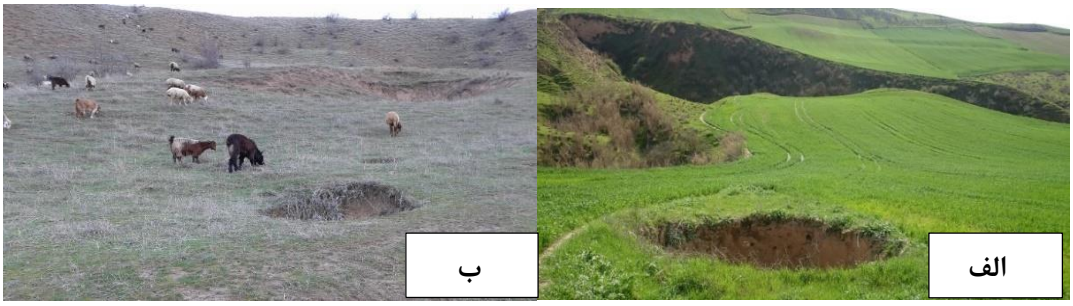
در منطقه مورد مطالعه و در زمین‌های زراعی، شخم در جهت شیب یکی از عوامل اصلی تشدیدکننده فرسایش آبی به حساب می‌آید. با بازدیدهای متعدد از منطقه مورد مطالعه در خصوص شکل‌گیری تونل در مناطق مختلف می‌توان نتیجه گرفت که عدم توجه به زهکشی صحیح آب‌های مازاد در مزارع به ویژه در حاشیه رودخانه‌ها و آبکندهای قدیمی، مهم‌ترین دلیل توسعه فرسایش‌های تونلی و آبکندی در مناطق کم‌شیب و حرکت‌های توده‌ای در اراضی شیب‌دار منطقه است. در اثر شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی حاکم بر حوضه مورد مطالعه، حفره‌های بیضی شکل با دیواره‌های نامنظم و ناهموار که اغلب دارای شیب تندی هستند، با ابعاد متفاوت پدید آمده است (شکل ۵). تشکیل آن‌ها نیز بدین طریق است که ابتدا سطحی در سازندهای حساس جهت نفوذ آب وجود داشته و به‌تدریج در اثر انحلال و تخریب این فرورفتگی، عمیق‌تر شده و موجب شده که آب اطراف را به طرف خود کشیده و به‌صورت یک چاله یا پرتگاه بسته درآید. همچنین در اثر فعالیت جانوران حفار مانند موش در منطقه، سوراخ‌ها و حفره‌های زیادی در قسمت‌های مختلف حوضه (اکثراً در کاربری مرتعی منطقه مورد مطالعه) مشاهده می‌شود. این حفره‌ها در زیرزمین به هم پیوسته و به شکل کانال‌های زیرزمینی در می‌آید که در این شرایط آب نفوذی در این حفره‌ها در مسیر خود، ذرات سست لایه بالایی خاک را حمل کرده و در نتیجه سرعت آب به‌تدریج افزایش یافته و مواد بیشتری را حمل می‌کند و کانال‌های ایجاد شده بزرگ‌تر می‌شوند. در شرایط مساعد، لایه سطحی خاک که در اثر فرسایش زیرسطحی، زیر آن خالی شده است، فرو ریخته و به‌وسیله جریان آب از محیط خارج می‌شود. لازم به ذکر است در محل‌هایی که فرسایش تونلی در اراضی مجاور آبکندها وجود دارد، این فرسایش به تخریب و ریزش بیشتر و سریع‌تر دیواره‌های آبکند کمک کرده و سرعت پیشروی و گسترش آن‌ها را افزایش می‌دهد.

شکل۵- فرسایش تونلی (بخش شرقی منطقه)

نتایج نشان داد دامنه‌هایی که فرسایش‌های تونلی در آن واقع شده‌اند متفاوت از یکدیگر بوده، و شامل دامنه مقعر، کمپلکس و خطی می‌باشد (شکل ٦، الف). اکثر فرسایش‌های تونلی در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌های مقعر و تعداد کمی از آن‌ها در شکل دامنه‌های خطی و کمپلکس واقع شده‌اند. حدود ۸۸ درصد (۳۰۳ عدد) از تعداد ۳٤۸ مورد فرسایش تونلی سرشماری شده، در کاربری مرتع و بقیه در کاربری زراعی (٤٥ عدد) (شکل ٦، ب و شکل ۷) واقع شده‌اند.



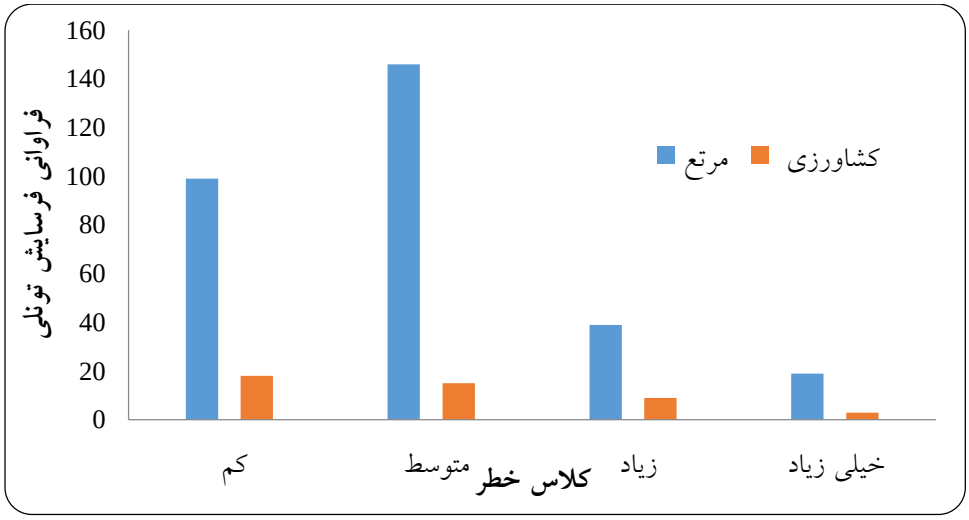
شکل ۶- اشکال مختلف شیب (الف) و کاربری (ب) در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- فرسایش تونلی در کاربری‌های (الف) زراعی و (ب) مرتعی

منطقه مورد مطالعه دارای دو نوع کاربری کشاورزی و مرتعی بوده که حدود ۸۸ درصد از فرسایش‌های تونلی در کاربری مرتعی قرار داشتند. لذا این بخش از تحقیق با نتایج وراچرت و همکاران (۲۰۱۰)، در بلژیک که ۹۷ درصد فرسایش تونلی‌ها را در مرتع و چراگاه گزارش داده‌اند تقریباً هم‌سو می‌باشد که تهدیداتی را برای دام و انسان مانند سقوط به داخل تونل‌ها به همراه دارد. از طرفی باتسچک (۲۰۰۲)، وراچرت، (۲۰۱۱) و برناتیک (۲۰۱۵)، اشاره کرده‌اند که فرسایش‌های تونلی عمدتاً در مراتع با تراکم پوشش گیاهی کم، قابل مشاهده می‌باشند. کم بودن تراکم فرسایش‌های تونلی در اراضی زراعی می‌تواند به این علت باشد که این اراضی توسط زارعین شخم زده شده و این رخساره‌ها در مرحله اولیه شکل‌گیری با خاک پر می‌شوند. اکثر فرسایش‌های تونلی در حاشیه اراضی زراعی که تردد ماشین‌آلات کشاورزی کمتر بوده رؤیت شدند که می‌تواند به خطر سقوط ماشین‌آلات کشاورزی به داخل تونل‌ها منجر شود.

مقایسه شدت خطر فرسایش تونلی برای انسان و دام در دو کاربری اراضی زراعی و مرتعی بر اساس عمق تونل‌ها نشان می‌دهد که اراضی زراعی از نظر فرسایش تونلی عمدتاً در کلاس خطر کم، قرار دارند که علت آن را می‌توان شخم زدن زمین‌های کشاورزی و پر شدن تونل‌ها عنوان کرد (شکل ۸). اراضی مرتعی بیشتر در کلاس خطر کم و متوسط قرار دارند. لذا با توجه به این پژوهش و شدت بالای فرسایش تونلی، این نوع فرسایش به‌عنوان هشداری برای مردم منطقه و مسئولین محسوب می‌شود که باید در تصمیم‌گیری‌ها ملاک قرار گیرد. نتایج بیانگر آن است که محدوده‌های مشابه در آینده‌ی نه‌چندان دور حالت بسیار بحرانی از لحاظ خطر فرسایش تونلی خواهند داشت که تلفات درون منطقه‌ای چشمگیری نسبت به سایر انواع فرسایش‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه فراوانی کلاس‌های خطر در دو کاربری کشاورزی و مرتع

با توجه به این که بیشتر فرسایش‌های تونلی در منطقه مورد مطالعه در دامنه‌های با شیب مقعر ایجاد شده‌اند، در نتیجه رواناب ایجاد شده فرصت تمرکز بیشتری در حفره فرسایش‌های تونلی داشته که خود باعث می‌شود محیط مناسبی برای رشد گیاهان و درختان فراهم شود. درنتیجه بیش از ۹۵ درصد فرسایش‌های تونلی بررسی شده دارای پوششی از گراس‌ها و نیزارها و گونه درختچه‌ای سیاه‌تلو و انار وحشی بودند. این مهم به نوبه خود فرصت مناسبی جهت تثبیت فرسایش تونلی در منطقه مورد مطالعه به‌وسیله پوشش گیاهی محسوب شده تا از گسترش و پیشروی بیشتر این نوع فرسایش پیشگیری کرده و با مدیریت آب و خاک به تنوع چشم‌انداز منطقه و افزایش تنوع زیستی افزود.

نتیجه‌گیری

مشکل عمده آبخیز ایکلی‌آغزلی، تغییر کاربری اراضی بوده که در پی آن سطح وسیعی از حوضه با شیب بالا مورد کشت و زرع واقع شده و شخم غیر اصولی عامل اصلی تخریب و فرسایش حوضه می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که اغلب فرسایش‌های تونلی در شیب‌های بالا و در جهت‌های جغرافیایی شمالی رخ داده است و با توجه به مقعر بودن شکل دامنه‌ها، فرصت بیشتری برای انحلال خاک به‌وسیله آب فراهم است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق تأثیر بر ویژگی‌های ذاتی خاک و تحت تأثیر قرار دادن وضعیت هیدرولوژیکی خاک‌ها و همچنین اهمیت آن‌ها بر شکل و ابعاد فرسایش‌های تونلی مؤثر می‌باشند. نوع کاربری نیز بر شکل‌گیری فرسایش تونلی موثر می‌باشد، به گونه‌ای که اکثر تونل‌های مشاهده شده در کاربری مرتعی وجود داشتند. در کاربری کشاورزی با توجه به اینکه هر ساله این اراضی توسط ادوات کشاورزی شخم زده می شود، با شروع فرسایش انحلالی و ایجاد تونل، این رخساره‌ها در مراحل اولیه شکل‌گیری توسط ادوات شخم از خاک پر شده و از گسترش آن ها جلوگیری می‌شود، مگر فرسایش‌های تونلی غیر قابل رویت و زیرزمینی که بعد از پدیدار شدن در ابعاد بزرگ، قابل پر شدن نیستند. نتایج این پژوهش نشان داد که فرسایش تونلی ایجاد شده به‌عنوان تهدیدی جدی در هدر رفت خاک، اختلال در تردد ماشین آلات کشاورزی، دامداران و مردم محلی محسوب شده و از طرفی به‌عنوان فرصت، بستر مناسبی برای رشد انواع گیاهان و افزایش تنوع زیستی را فراهم نموده است. در مجموع در حال حاضر با توجه به مشاهدات میدانی و نظرات افراد محلی، تهدید فعلی بر فرصت غالب است که باید بصورت نصب تابلوهایی در مکان‌های با خطر زیاد، این هشدارها به اطلاع مردم محلی (اعم از کشاورزان و دامداران) و افراد غیر بومی و ژئوتوریست رسانده شود.

پیشنهادهای ترویجی

با توجه به وجود فرسایش‌های تونلی متعدد در محدوده مورد مطالعه (تراکم تقریبی یک عدد در هر دو هکتار)، این رخساره‌های فرسایشی از طرفی به تخلیه شدید آب از محدوده مورد مطالعه منجر شده (محاسبات زمان تمرکز و دبی پیک را با چالش موجه ساخته) و هدر رفت خاک را به دنبال دارد و از طرفی بستر مناسبی جهت رشد گیاهانی نظیر انار وحشی و سیاه تلو را فراهم می‌کند؛ بنابراین فرسایش تونلی هم به صورت تهدید، شدت بیابان‌زایی، تخریب سرزمین و تلفات آب را به مخاطره انداخته و هم به‌صورت فرصت، بستر مناسبی را جهت رشد گیاهان و بهبود چشم‌انداز منظر و تنوع فلور و فون را مهیا می‌سازد. این نکته قابل ذکر است که در مراتع شیب‌دار محدوده مورد مطالعه و داخل تونل‌ها، گیاهانی نظیر سیاه‌تلو، انار وحشی و عرعر مستقر بودند. برای کاهش یا از بین بردن خطر فرسایش تونلی در زمین‌های کشاورزی باید نسبت به پر کردن آن‌ها اقدام کرد. همچنین به دلیل این که ۸۸ درصد از فرسایش‌های تونلی در مراتع رخ داده‌اند، با توجه به نقش پوشش گیاهی در جلوگیری از فرسایش، ورود دام با توجه به ظرفیت مرتع صورت

گرفته (نصب تابلو توسط ادارات مربوطه) و یا اینکه از گیاهانی استفاده شود که خوش‌خوراک نبوده (توسط دام مورد چرا قرار نگیرند) و پتانسیل بالای حفاظت آب و خاک را به دنبال داشته باشند. لذا نحوه برتری تهدید به فرصت و یا بالعکس از نوع مدیریت منطقه تبعیت می‌کند که به عنوان مدیریت مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و می‌تواند سرلوحه تصمیم‌گیری مدیران ذی‌ربط واقع شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با اعتبار پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با شماره ثبت ۲۲-۹٤-۳۳۷ انجام شده است که بدین‌وسیله مراتب قدردانی از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه به عمل می‌آید.

فهرست منابع

۱. جعفری اردکانی، ع؛ بیات، ر؛ پیروان، ح. ر و شریعت جعفری، م. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت فرسایش و رسوب در نهشته های لسی استان گلستان، ششمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس. مهرماه ۱۳۸۸.

۲. دولت خواهی، م. ۱۳۸۰. بررسی رابطه بین خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی با تولید رسوب نهشته های لسی در حوزه آبخیز کچیک (زیر حوزه گرگانرود). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،۷۵ صفحه.

۳. رفاهی. ح. ۱۳۸۵. فرسایش بادی و کنترل آن. دانشگاه تهران. ۵۱۰ صفحه.

٤. زند مقدم ، م. ر. ۱۳۸٦. ژئومورفولوژی لسهای جنوب و شرق آق بند، رساله دوره دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ۳۲۰ صفحه.

۵. فیض‌نیا، س؛ غیومیان، ج و خواجه، م. ۱۳۸٤. بررسی اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاک های لسی (مطالعه موردی در استان گلستان). پژوهش و سازندگی. دوره ۱۷(۱): صص۱٤-۲۳.

٦. عیسایی، ح؛ چرخابی، ا. ح؛ خواجه، م و اعتراف، ح. ۱۳۸۲. بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک‌های لسی با اشکال فرسایش در حوزه‌های آبخیز گرگانرود و اترک در استان گلستان. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۷۹ صفحه.

۷. فیض‌نیا، س. ۱۳۸۷. رسوب‌شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب. جلد ۱. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گرگان. ۳۷٦ صفحه.

۸. نهتانی، م. ۱۳۹۱. رابطه ژئومورفولوژی با فرسایش رسوبات لس حوضه آبخیز کاشیدار (زیر حوضه گرگانرود). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۷۱ صفحه.

۹. یمانی، م و اکبریان، م. ۱۳۹۲. تاثیر ویژگی‌های رسوب‌شناسی در توسعه فرسایش تونلی در سازند فلش مکران (مطالعه‌ی موردی: محدوده شهرستان جاسک). جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۷: صص ۱۷-۱.

10. Bernatek, A. 2015. The influence of piping on mid-mountain relief: a case study from the Polish Bieszczady Mts. (Eastern Carpathians). Carpath. Journal of Earth. Environment. 10 (1): 107–120.

11. Bernatek, A., Kacprzak, A., and Stolarczyk, M. 2016. Impact of soil characteristics on piping activity in a mountainous area under a temperate climate (Bieszczady Mts., Eastern pathians). Catena 141: 117–129.
12. Botschek, J., Krause, S., Abel, T., and Skowronek, A. 2002. Piping and erodibility of loessic soils in Bergisches Land, Nordrhein-Westfalen. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift fiir Pflanzenernahrung und Bodenkunde. 165: 241-246.
13. Bruthans, J., Svetlik, D., Soukup, J., Schweigstillova, J., Valek, J., Sedlackova, M., and Mayo, A.L. 2012. Fast evolving conduits in clay-bonded sandstone: Characterization, erosion processes and significance for the origin of sandstone landforms. Geomorphology. 178–193.
14. Bryan, R.B., and Jones, J.A.A. 1997. The Significance of soil piping processes: inventory and prospect. Geomorphology. 20: 209-218.
15. Celik, I. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil and Tillage Research. 83 (2): 270-277.
16. Faulkner, H. 2013. Badlands in marl lithologies: a field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies. Catena. 106: 42–53.
17. Jones, J. A. A., and Cottrell, C. I. 2007. Long-term changes in stream bank soil pipes and the effects of forestation. Journal of Geophysical Research. 112: 1–11.
18. Holden, j., and Burt, T. P. 2002. Piping and pipeflow in a deep peat catchment. Catena. 48: 163-199.
19. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., and Alinejad, M. 2018a. An application of different summary statistics for modelling piping collapses and gully headcuts to evaluate their geomorphological interactions in Golestan Province, Iran. Catena, 171, 613-621.
20. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Campetella, G., Jalalifard, A., and Alinejad, M. 2018b. Spatial point pattern analysis of piping erosion in loess-derived soils in Golestan Province, Iran. Geoderma, 328, 20-29.
21. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Rahmati, O., Keesstra, S., Alinejad, M., and Behbahani, A.M. 2019. How can statistical and artificial intelligence approaches predict piping erosion susceptibility? Science of the Total Environment. 646: 1554-1566.
22. Romero Díaz, A., Plaza Martínez, JFA, Sánchez Soriano, A., Belmonte Serrato, F., and Ruiz Sinoga, J. D. 2009. Estimated volume of soil lost by piping erosion processes. Southeastern Spain. In Advances in studies on desertification. 403–406.
23. Verachtert, E., Maetens, W., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., and Deckers, J. 2011. Soil loss rates due to piping erosion. Earth Surface Processes and Landforms. 36: 1715-1725.
24. Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., and Deckers, J. 2010. Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess derived soils: a case study from central Belgium. Geomorphology. 118: 339–348.
25. Wilson, G.V., Rigby, J.R., and Dabney, S.M. 2015. Soil pipe collapses in a loess pasture of Goodwin Creek watershed, Mississippi: role of soil properties and past land use. Earth Surface. Proccess and Landform. 40: 1448–1463.
26. Zhu, T. X. 2012. Gully and tunnel erosion in the hilly Loess Plateau region, China. Geomorphology. 153: 144-155.
27. Zhu, T.X. 2003. Tunnel development over a 12 year period in a semi-arid catchment of the Loess Plateau, China. Earth Surface Processes and Landforms. 28: 507-525.
28. Zhu, T. X., Luk, S. H., and Cai, Q. G. 2002. Tunnel erosion and sediment production in the hilly loess region, North China. Journal of Hydrology. 257: 78–90.

Piping Erosion, a Threat or an Opportunity?

M. Hosseinalizadeh [1], M. Alinejad, H. Zarei, and A. R. Jalalifard

Assistant Professor, Department of Arid Zone Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. **alizadeh_m2001@yahoo.com**
Former Graduate Student of Desert Management, Young Researchers Club, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran. **alinezhad0121@yahoo.com**
Former Graduate Student of Watershed Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. **hamidzarei1368@yahoo.com**
Former Graduate Student of Desert Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. **alirezajalalifard@yahoo.com**

Received: March 2019 and Accepted: July 2019

Abstract

Piping erosion is an intensifying erosion due to subsurface flow of water whose emergence and development produces significant changes in landscape, causes land and environmental degradation, and leads to soil and water losses. Moreover, this internal erosion causes surface soil fertility to decline, devastates agricultural farms, and poses threats and damages to local people, livestock, farm machinery, and road networks. From a different perspective, however, piping erosion creates natural habitats in its region of impact for the wildlife. The purpose of this study was to identify the advantageous and disadvantageous potentials of piping erosion in parts of the Iranian Loess Plateau in eastern Golestan Province. For this purpose, all the erosion pipes throughout the study area were surveyed using the measurement tape and their characteristics including shrub species, land use, sloping, and geographical location were recorded. Most were found to be rangelands located in concave slopes in the 20–45% range. Out of the 348 erosion pipes in the area, 133 hosted trees and shrubs such as pomegranate and fig (more specifically, *Paliurus spina*, *Punica granatum*, and *Ficus*). Evidence showed that this type of erosion in Loess deposits created habitats favorable to plant growth and that it might be considered as an opportunity in land management in semi-arid regions to grow native plants and trees.

Keywords: Loess deposits, Biodiversity, Landscape, Golestan

[1]- Corresponding author: Department of Arid Zone Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.