

عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها

• محمدرضا ثروتی

دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

• جمال قدوسی

استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی

• معصومه دادخواه

کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۸۵ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۸۵

Email: Rezasarvati@yahoo.com

چکیده

فرسایش خندقی از جمله انواع فرسایش آبی و تشدید شونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین و پسرفت اراضی و تخریب محیط زیست می‌شود. با توجه به تنوع و میزان تاثیر عوامل مختلف در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی که از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر نوع و میزان تاثیر آن تغییر می‌کند و به منظور شناسایی مهمترین عوامل مشارکت‌کننده در خندقی شدن اراضی جهت معرفی راهبردهای کلان جهت پیشگیری و مهار این نوع فرسایش در حوزه آبخیز عرب‌قره حاجی که یکی از حوزه‌های آبخیزداری گسترده وسیعی از نهشته‌های اولیه بادرفتی و آبرفت‌های ثانویه لس در ایران واقع در استان گلستان می‌باشد، این تحقیق با استفاده از فن و دانش سنجش از دور و بکارگیری تکنیک‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی طراحی و به مرحله اجرا درآمده است. به طوری که برای دستیابی به اهداف تحقیق، تغییرات مکانی و زمانی فرسایش خندقی همراه با وسعت اراضی خندقی شده با استفاده از عکسهای هوایی و تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ لندست منطقه تحقیق در سه دوره زمانی ۱۳۳۵، ۱۳۴۶ و ۱۳۸۱ با بکارگیری تکنیک‌های بارزسازی تغییرات سطح زمین بررسی گردیده و سپس با مشخص کردن ویژگی‌های مربوط به عوامل زمین‌محیطی و تجزیه و تحلیل رابطه بین آنها با فرسایش‌های خندقی حادث شده در اراضی لسی منطقه تحقیق از طریق تجزیه و تحلیل همبستگی و ایجاد روابط رگرسیونی، اقدام به شناسایی مهمترین عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و راهبردهای کلان پیشگیری و مهار این نوع فرسایش در تطبیق با نتایج و مشخصات منطقه گردید. نتایج حاصل از این تحقیق مبین این است که شکل‌گیری و شدت گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی منطقه تحقیق تابعی از ارتفاع متوسط بارندگی و دمای متوسط سالانه هوا، شیب و جهت اراضی، سازند زمین شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی‌های مربوط به آن، نوع و تیپ گیاهی، نحوه استفاده از اراضی و متوسط سالانه ارتفاع رواناب‌های سطحی می‌باشد. اما در این میان، شیب اراضی، نوع سازند، عمق خاک، میزان املاح محلول، SAR، هدایت الکتریکی و میزان سدیم قابل تبادل موجود در خاک که موثر در رخداد فرسایش تونلی نیز هستند بیشترین نقش و تاثیر را در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و مشخصات مورفومتریک خندق‌ها دارند. بر این اساس، مناسب‌ترین راهبردهای کلان جهت پیشگیری از رخداد فرسایش خندقی و گسترش آن در منطقه تحقیق و حوزه‌های آبخیز مشابه، جلوگیری از تمرکز رواناب‌های سطحی همراه اصلاح کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی از طریق ایجاد تعادل بین ظرفیت تولید گیاهی با برداشت آن توسط چرای احشام افزون بر لحاظ تمهیدات اصولی و فنی لازم در ایجاد شبکه راه‌های دسترسی به منطقه و جلوگیری از قطع اشجار و بوته کردن در اراضی لسی است.

کلمات کلیدی: فرسایش خندقی، اراضی لسی، سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی، فرسایش تونلی

Pajouhesh & Sazandegi No:78 pp: 20-33

Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses

By: M. R. Sarvati, Associate Prof., Department of Geography, Faculty of Earth Science, Shahid-Beheshti University
J. Ghoddousi, Assistant Prof., Department of Watershed Management, Department, Islamic Azad University, Science and Research Branch

M. Dadkhah, Master of Science in Physical, Shahid-Beheshti University

Gully erosion in one of the different types of soil erosion by water that initiation and advancement of it can tend to the great changes on landscape, degrades the lands and deteriorates the environment. Considering the variety and rate of different factors effecting initiation and progress of gully erosion which varies from place to place, recognition of the most important factors contributing in gulling that can lead to identify alternative solution for its prevention and control, Arab Gareh Haji watershed locating in Golestan province-Iran, where vast part of it is covered by loess depositions were selected as study area. In order to conduct the study remote sensing data (i.e. aerial photos data 1956 and 1967 together, with land sat ETM+ images dated 2002) using geographic information techniques were applied for Mapping and determining sequential changes of gullied area size. Characteristic of environmental factors were than analyzed to find out probable relations between them and rate of gully initiation and progress on loess depositions using correlation analysis method. Finally based on the results of the study, Alternative solutions were presented that seem to be effective in preventing and /or controlling gully erosion in loess covered areas. Results of the study were shown that initiation and advancement of gully erosion are function of mean annual precipitation, weather temperature, land slope class and aspect, lithology, source of land, soil type and its physical and chemical characteristics, vegetation type, land use and mean annual runoff depth of given area. Accordingly, it was found out that land slope, and soil characteristics including soil depth, SAR, Ec, Na and TDS of soil are highly correlate to the rate of gully initiation as well as its progress (i.e. morphometric characteristics of the gullies) thus based on the gained results, the best strategic solution for prevention and control of gully erosion in the studied area and the areas with similar environmental conditions can be prevention of surface runoff concentration and land rehabilitation together with vegetal cover management, particularly controlling over grazing by livestock, improper road construction and cutting tress and shrubs through out the watershed.

Key words: Gully erosion, Remote Sensing, Geographic Information System, Initiation and Advancement Gully Erosion, Tunnel Erosion

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به هنگامی که بهره‌برداری از منابع خاک و آب مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توان‌های طبیعی و شرایط محیطی نباشد حادث می‌شود (۳۶). به رغم این که این نوع فرسایش از جمله زیان‌بارترین انواع فرسایش آبی است، اما تحقیق درباره آن عملاً از سال ۱۹۳۰ به طور معمول در جهان به مرحله اجرا در آمده است (۵۷). به نحوی که بیشترین توجه طی دو قرن اخیر (قرن‌های ۱۹ و ۲۰) از طریق انجام مطالعات و تحقیقات علمی درباره‌ی فرسایش خندقی به عمل آمده و در چند دهه اخیر نیز بر حجم چنین مطالعاتی افزوده شده است (۴۸). به‌رروی، آنچه اکثریت قریب به اتفاق پژوهشگران فرسایش خاک درباره‌ی فرسایش خندقی اظهار داشته‌اند، پیچیده بودن چگونگی ایجاد و رشد و گسترش این نوع فرسایش در شرایط مختلف زمین محیطی و تحت اقدامات مختلف عامل انسان در بهره‌برداری از منابع خاک، آب و گیاه است. (۳۰). در ایران نیز که دیرینه مطالعه و تحقیقات درباره‌ی فرسایش خاک به حدود چهل سال می‌رسد، مطالعات و پژوهش‌های انجام شده به طور عمده در زمینه عوامل مؤثر بر فرسایش خاک توسط آب، ارزیابی و واسنجی

فرسایش تشدید شونده خاک توسط آب پدیده‌ای است که دیرینه‌ای به قدمت تاریخ کشاورزی در جهان است (۲۳). امروزه عقیده بر این است که فرسایش خاک توسط آب یکی از عوامل مهم و اصلی تغییر منظر زمین، تخریب منابع زیست محیطی و محدود کننده امکان دستیابی به امنیت غذایی و آب در جهان می‌باشد (۲۱). هر چند انواع مختلف فرسایش آبی موجب هدررفت خاک و در نتیجه پی‌آمدهای منفی و خسارت بار ناشی از آن می‌شوند، اما فرسایش خندقی در مقایسه با سایر انواع فرسایش آبی از عوامل مهم و تهدید کننده تعادل منابع زیست محیطی و ناپایداری آن محسوب می‌شود. به طوری که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات نابهنجار در منظر زمین که منجر به عدم امکان فعالیت‌های اصولی کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از منابع طبیعی نمی‌شود، بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تندآب‌ها و سیل، جابجائی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و پسرفت منابع زیست محیطی نیز به منصفه ظهور می‌رسد (۱۷). افزون بر این و به طور معمول این نوع فرسایش

روش‌ها یا مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب بوده است. به طوری که در دو دهه اخیر به طور پراکنده و محدود نیز پژوهش‌هایی درباره‌ی انواع مختلف فرسایش خاک از جمله فرسایش خندقی انجام شده است.

نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در مورد فرسایش خندقی نشانگر این است که هنوز جنبه‌های مختلف فرسایش خندقی به رغم تحقیقات نسبتاً زیاد در نقاط مختلف جهان به درستی شناسائی و معرفی نشده و تمامی عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش این نوع فرسایش نیز مورد تجزیه و تحلیل لازم قرار نگرفته است (۴۲). به عقیده Prosser و Abernathy (۵۱) و Bukard و Ostaschuk (۳۲) به دلیل متفاوت بودن ویژگی‌های ژئومورفولوژی مناطق مختلف افزون بر سایر عوامل آب و هوایی، زمین محیطی و عامل انسان، لازم است درباره این نوع فرسایش به بررسی‌های دامنه‌داری به ویژه در زمینه عوامل مؤثر در ایجاد آن پرداخته شود. امروزه با توجه به توسعه فن و دانش سنجش از دور شامل عکس‌های هوایی و انواع تصاویر ماهواره‌ای و با در دسترس بودن اطلاعات جدید به ویژه آمار و داده‌های کمی قابل حصول از آنها، اکثر پژوهشگران فرسایش و حفاظت خاک بر این عقیده‌اند که با بکارگیری از این فن و دانش، امکان تجزیه و تحلیل‌های بیشتر و دقیق‌تر ابعاد مختلف انواع فرسایش خاک توسط آب به ویژه فرسایش خندقی میسر می‌باشد (۲۵، ۳۵، ۵۴).

به اظهار محققین (۱، ۴۶، ۵۶)، با تفسیر عکس‌های هوایی می‌توان اقدام به تهیه نقشه فرسایش و بررسی عملکرد و اثرات انواع فرسایش‌های آبی و بادی در سطح زمین نمود. اما از آنجا که پدیده فرسایش خاک دینامیک بوده و عوامل مؤثر در ایجاد، رشد و گسترش آن نیز در زمان و مکان تغییر می‌کند بنابراین، به‌هنگام سازی آمار و اطلاعات مربوط به فرسایش و عوامل مؤثر در رخداد این پدیده امری اجتناب‌ناپذیر برای برخورد اصولی با آن می‌باشد. از این رو با توجه به در اختیار بودن سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های مربوط به آن و قابلیت‌های چنین سامانه‌هایی که شامل ذخیره سازی، ایجاد بانک‌های اطلاعاتی، پردازش، و تجزیه و تحلیل داده‌ها و نقشه‌سازی می‌باشد، می‌توان تغییرات ناشی از پدیده فرسایش را با استفاده از آن با دقت زیاد بررسی و مطالعه نمود (۴۵).

افزون بر این، نتیجه حاصل از مرور منابع و یافته‌های تحقیقاتی درباره‌ی فرسایش خندقی حاکی از وجود تفاوت در نوع و میزان تاثیر عوامل مختلف در شکل‌گیری و گسترش این نوع فرسایش می‌باشد. به طور مثال به عقیده Morgan (۴۶)، فرسایش خندقی پدیده‌ای حاصل از عملکردهای درونی بین مجموعه عواملی است که مهمترین آنها عبارت از حجم، سرعت و نوع رواناب‌های سطحی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و حساسیت آن به فرسایش، تغییرات به وجود آمده در حفاظ روی خاک و نحوه استفاده از اراضی می‌باشد. به اظهار FAO (۳۷)، فرسایش خندقی نتیجه پیشرفت فرسایش شیبی است. به طوری که تفاوت بین فرسایش شیبی با خندقی در ژن آنها می‌باشد Hudson (۴۱) و Morgan (۴۷)، معتقدند است که اکثر خندق‌ها در اثر اقدامات و فعالیت‌های انسان به ویژه در اثر بهره‌برداری غیر اصولی از اراضی در محیط‌های ناپایدار زراعی و طبیعی ایجاد می‌شوند. به اعتقاد Schumm (۵۳)، عوامل محیطی مانند آب و هوا و اقدامات عامل انسانی و عوامل مربوط به خصوصیات مورفولوژیک در پیدایش خندق‌ها مشارکت می‌نمایند. به اظهار Belyaev (۲۸) و Gabris (۳۸)، عامل اصلی و مؤثر در تشکیل و گسترش فرسایش خندقی حجم زیاد روان

آبهای متمرکز سطحی می‌باشد. حجم زیاد رواناب‌های متمرکز سطحی ممکن است ناشی از تغییر شرایط اقلیمی و یا تغییر در نحوه استفاده از زمین در یک منطقه حاصل شود. افزون بر این بهره‌برداری غیر اصولی از جنگل‌ها و مراتع مانند چرای بیش از حد مراتع توسط دام‌ها، قطع بی رویه درختان، تبدیل اراضی جنگلی به سایر کاربری‌ها و آتش‌سوزی در مناطق جنگلی و مرتعی نیز موجب افزایش رواناب‌های سطحی و در نتیجه رخداد انواع فرسایش خاک به ویژه فرسایش خندقی می‌شوند (۱، ۵۲، ۵۷). به عقیده Bergsma (۲۹) و رفاهی (۷)، گسترش فرسایش‌های پاشمانی و ورقه‌ای در بسیاری از نقاط موجب افزایش حجم رواناب‌های سطحی به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی و به طور کلی تغییر رفتار هیدرولوژیک شده و در نتیجه موجب شکل‌گیری فرسایش‌های شیاری و خندقی می‌گردند. این در حالی است که در بعضی نقاط نیز ممکن است خندق‌ها تحت تأثیر جریان‌های زیر قشری و رخداد فرسایش تونلی ایجاد شوند (۱، ۷، ۱۸، ۳۸، ۳۹، ۴۰). مطالعات Bull و Kirkby (۴۳)، نشان داده است که عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت می‌باشد.

علاوه بر این، Gabris و همکاران (۳۸)، با مطالعه در زمینه فرسایش خندقی در مجارستان با استفاده از عکس‌های هوایی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با بکارگیری روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نشان داده‌اند که بررسی وضعیت فرسایش خندقی و توزیع مکانی آن در رابطه با عوامل مختلف مانند شیب، پوشش، گیاهی و نوع خاک و بررسی و مطالعه روند شکل‌گیری و نحوه گسترش و تغییرات فرسایش خندقی، تنها در صورت در دسترس بودن عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای امکان پذیر است. به اظهار Desmet و Govers (۳۴)، بررسی ابعاد مختلف فرسایش خندقی با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با بهره‌گیری از تکنیک‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی افزون بر افزایش دقت نتایج، موجب صرفه‌جویی در زمان و کاهش حجم و مدت انجام مطالعات می‌شود. به طوری که Poesen و Govers (۵۰)، با بکارگیری عکس‌های هوایی برای محاسبه حجم خندق‌ها به این نتیجه دست یافته‌اند که اصولاً مطالعه طولانی مدت و دقیق فرسایش خندقی تنها از طریق استفاده از عکس‌های هوایی میسر می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده در ایران مانند تحقیقات احمدی (۱)، قدوسی (۱۷، ۱۸)، شهرپور (۱۱)، خلیلی (۴)، کریمی (۱۹) و صوفی (۱۳)، نشانگر متفاوت بودن عوامل و میزان تأثیر آنها در ایجاد فرسایش خندقی به طور کلی و رشد و گسترش آن در نقاط مختلف ایران است. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های پیشین در کشور حاکی از این است که به طور مثال فرسایش خندقی در اراضی کم شیب و در پایین دامنه‌های اراضی ماری و رسی ایجاد شده و تشکیل آن می‌تواند ناشی از کنش و حمل خاک در اثر رواناب‌های متمرکز یا انحلال مواد موجود در خاک و رخداد فرسایش تونلی باشد (۱). به اظهار قدوسی (۱۷)، در حوزه آبخیز سد سفید رود که حدود ۲۸ درصد از وسعت ۶ میلیون هکتاری آن تحت تأثیر فرسایش خندقی است، خندق‌ها اکثراً در پهنه‌های ماری و رسوبات جدید و قدیم کواترنر ایجاد شده‌اند. براساس تحقیق شهرپور (۱۱) مشخص شده است که در زیر حوزه آبخیز سوق واقع در شهرستان دهدشت در استان کهگیلویه و بویراحمد فرسایش خندقی به طور عمده در اراضی زراعی با شیب صفر تا ۶۰ درصد

وحجم خندق‌ها نیز رابطه معکوس وجود دارد به طوری که با کاهش میزان نفوذ پذیری خاک، حجم خندق‌ها در اثر افزایش ضریب رواناب و جاری شدن رواناب‌های سطحی پر حجم پس از وقوع بارندگی‌های معمولی، به شدت افزایش می‌یابد. دولت خواهی (۵)، با بررسی رابطه بین خصوصیات خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی با تولید رسوب در نهشته‌های لسی به این نتیجه رسید که میزان تاج پوشش گیاهی و شیب بیشترین همبستگی را با تولید رسوب در اراضی لسی دارد و رابطه بین میزان مواد آلی و تولید رسوب به ویژه در اثر رخداد فرسایش خندقی معنی‌دار است. عیسیایی و همکاران (۱۵)، با تحقیقی در خصوص ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های لسی با اشکال فرسایشی در حوزه آبخیز اترک و گرگانرود به این نتیجه رسیده‌اند که طول خندق‌ها با میزان شن و میزان سدیوم قابل تبادل، همبستگی مستقیم و با میزان گچ و آهک همبستگی معکوس دارد. شاهینی (۱۰)، با بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خندقی در سازند لسی اینچه برون استان گلستان به این نتیجه رسیده است که قرق پوشش گیاهی تاثیر بسزایی در کاهش رشد خندق دارد. صیادی (۱۲) با بررسی عوامل موثر در رخداد فرسایش خندقی و گسترش آنها در اراضی لسی استان گلستان نتیجه گیری نموده است که مساحت آبخیز واقع در پیشانی خندق و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از مهمترین عوامل در شکل گیری خندق‌ها و ویژگی‌های مورفومتریک آنها هستند. مضافاً نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده درباره قابلیت‌های استفاده از فن و دانش سنجش از دور با بکارگیری تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایران نیز نشان داده است که ارزیابی فرسایش خاک با دقت زیاد از این طریق میسر بوده و نتایج حاصله نیز با سهولت بیشتر در مقایسه با بکارگیری سایر روش‌های متداول قابل حصول می‌باشند. به طور مثال، طهماسبی پور (۱۴)، باقرزاده، کریمی (۳)، گلبابائی (۲۰)، سبحانی (۹) با بهره‌گیری از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، صحت این موضوع را بررسی و مورد تایید قرار داده‌اند.

با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق که منعکس کننده نتایج تحقیقات انجام شده درباره فرسایش خندقی به ویژه عوامل موثر در ایجاد و گسترش این نوع فرسایش است، می‌توان نتیجه گرفت که هر چند تا حدود زیادی عوامل موثر در ایجاد و تشدید فرسایش خندقی مشخص شده است، اما تنوع و تغییر تعداد و میزان تاثیر عوامل مختلف از نقطه ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آنها در شکل گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین محیطی ایجاب می‌نماید که تحقیقات بیشتری جهت شناسایی هر چه بیشتر عوامل موثر در رخداد فرسایش خندقی و میزان مشارکت آنها در شکل گیری و گسترش این پدیده در نقاط مختلف و با شرایط زمین محیطی متفاوت به مرحله اجرا درآید. بر این اساس در تحقیق حاضر با توجه به رخداد و گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی استان گلستان که وسعتی حدود ۷۰ درصد از سطح آن را تحت پوشش دارد و نزدیک به ۹۵ درصد از اراضی زراعی این استان را نیز شامل می‌شود، سعی شده است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و بکارگیری تکنیک‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی همراه با داده‌های حاصل از مطالعات میدانی اقدام به بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل تأثیر گذار بر ایجاد، رشد و گسترش فرسایش خندقی جهت دستیابی به راه‌حل‌های راهبردی جهت پیشگیری و مبارزه با این پدیده در اراضی لسی شود.

متشکل از رسوبات جدید و قدیم کواترنر ایجاد شده و گسترش یافته است. یافته‌های پژوهشی توسط خلیلی (۴) حاکی از این است که در منطقه سمل واقع در حوزه آبخیز رودخانه اهرم در استان بوشهر، فرسایش خندقی به طور عمده بر روی رسوبات قدیم و جدید کواترنر و تعداد اندکی نیز در اراضی تپه ماهوری متشکل از سازند بختیاری ایجاد شده است. در زیر حوزه آبخیز بایمرغ واقع در جنوب شرقی شهرستان قائن - استان خراسان نیز رخداد فرسایش خندقی محدود به واحد ژئومورفولوژی تپه ماهورهای متشکل از آبرفت‌های قدیمی است (۱۹). بر اساس نتایج حاصل از تحقیق حشمتی (۸)، مشخص شده است که در قصر شیرین و سومار واقع در استان کرمانشاه شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی محدود به سازند آغاچاری در اراضی با شیب ۲۵-۲ درصد است.

قدوسی (۱۸)، در تحقیقی تحت عنوان رشد و گسترش خندق‌ها در منطقه سرچم زنجان به این نتیجه رسیده است که گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با میزان املاح موجود در خاک، تمرکز روانابهای سطحی، خصوصیات افق‌های خاک، شدت بارندگی و پوشش گیاهی، سازندهای زمین شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی و سایر اقدامات انسانی از جمله احداث غیر اصولی راه‌های روستایی، و درون مزرعه‌ای، خطوط انتقال نیرو دارد. احمدی (۱)، بر این عقیده است که عواملی نظیر حساسیت سازندهای زمین شناسی، تغییر در استفاده از زمین استفاده بیش از حد از اراضی کشاورزی، بهره‌برداری بی رویه از مراتع و تخریب پوشش گیاهی در اثر چرای دام‌ها افزایش رواناب‌های سطحی تغییر در شرایط آب و هوایی، در بر هم خوردن تعادل هیدرولوژیک و اکولوژیک و در نتیجه در شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی موثر می‌باشند. شه‌ریور (۱۱)، عوامل موثر در شکل گیری و گسترش خندق‌ها در منطقه سوق واقع در آبخیز مارون در شهرستان‌های دهدشت را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و مشخص نموده است که بین عواملی نظیر شیب حوزه بالادست خندق‌ها، نوع سازند زمین‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی، مقدار رس، ماسه و املاح موجود در خاک به عنوان متغیرهای مستقل با حجم خندق بعنوان متغیر وابسته رابطه معنی‌داری وجود دارد. راهی (۶)، با بررسی مکانیسم و عوامل تشکیل خندق در حوزه آبخیز دره گپ-بندر گناوه به این نتیجه دست یافته است که وجود املاح به میزان زیاد در خاک، یکی از عوامل موثر در خندقی شدن منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کریمی (۱۹)، با ارزیابی مدل FAO برای برآورد رشد طولی خندق‌ها در منطقه قائن خراسان به این نتیجه رسیده که عوامل موثر در تشکیل خندق‌ها و رشد طولی آنها، مساحت حوزه واقع در بالادست پیشانی خندق‌ها، شدت بارندگی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه میزان املاح محلول موجود در آن، درصد رس و رطوبت موجود در خاک می‌باشد. اعتراف (۲)، با بررسی اثرات بهره‌برداری از اراضی لسی و رابطه آن با فرسایش خاک به این نتیجه رسیده است که بین نوع کاربری و خصوصیات خاک و فرسایش خندقی رابطه قوی وجود دارد. به اظهار وی بهره‌داری زراعی از اراضی شیب‌دار باعث کاهش مواد آلی و نفوذپذیری هدر رفت ازت، فسفر و پتاسیم قابل جذب و افزایش انواع فرسایش آبی به ویژه فرسایش خندقی می‌گردد. هویسی (۲۲)، با بررسی عوامل موثر در گسترش فرسایش خندقی در حوزه آبخیز درب خزینه به این نتیجه دست یافته است که همبستگی معنی‌داری بین تراکم زهکشی و متوسط حجم خندق‌ها وجود دارد. از طرف دیگر نتیجه گرفته است که بین نفوذپذیری

مشخصات عمومی حوزه آبخیز مورد مطالعه:

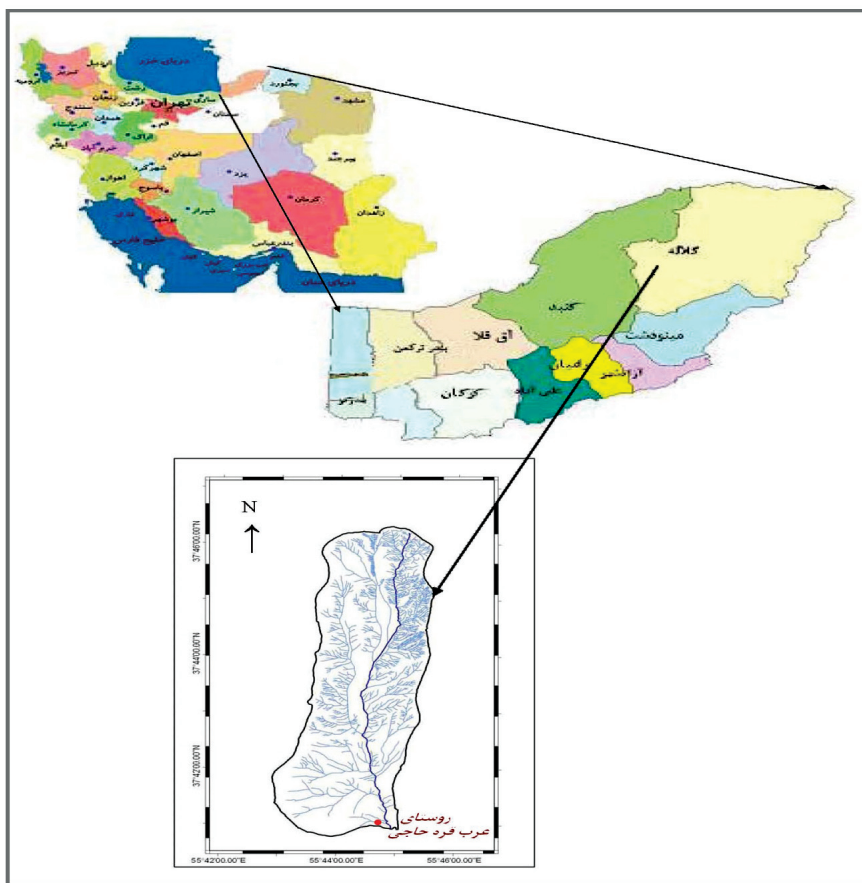
حوزه آبخیز عرب قره حاجی به عنوان منطقه تحقیق، مساحتی حدود ۲۶۹۵/۶۵ هکتار دارد. این آبخیز که در محدوده جغرافیایی $52^{\circ} 42' 55''$ تا $43^{\circ} 45' 55''$ طول شرقی و $37^{\circ} 19' 46''$ تا $37^{\circ} 46' 19''$ عرض شمالی در شرق استان گلستان قرار دارد. با توجه به واقع شدن در بخش شمال شرقی سلسله جبال البرز، متوسط بارندگی سالانه در آن حدود ۴۸۹ میلیمتر با متوسط سالانه دمای هوا حدود ۱۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. (شکل ۱). این آبخیز یکی از آبخیزهای دارای گستره وسیع از نهشته‌های بادرفتی اولیه و آبرفتی ثانویه لس می‌باشد که تحت تاثیر فرسایش خندقی به ویژه در اراضی زراعی و مرتعی است.

مواد و روش‌ها

الف - مواد مورد استفاده

در انجام این تحقیق به ترتیب از آمار و اطلاعات و نتایج حاصل از مطالعات پیشین انجام شده در منطقه تحقیق، شامل آمار و اطلاعات هواشناسی کشور، نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰؛

نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی با مقیاس‌های ۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰۰ به ترتیب تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی ارتش جمهوری اسلامی ایران و سازمان نقشه‌برداری کشور مربوط به سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۴۶ و تصویر ماهواره‌ای ETM^+ مرکز سنسجس از دور ایران مربوط به سال ۲۰۰۲، دستگاه‌های استریوسکوپ جیبی و آینه‌دار رومیزی و تعیین موقعیت جغرافیایی (GPS)، متر، اشل نقشه‌برداری، وسایل و ابزارهای حفر پروفیل و تشریح خاک، اوگر و کوادرات 1×1 متر، به ترتیب جهت تفسیرهای عکس‌های هوایی مشخص کردن پهنه‌های تحت تاثیر فرسایش خندقی، اندازه‌گیری طول، عرض و عمق خندق‌ها، تشریح پروفیل‌های شاهد خاک و مشخص کردن فرم رویشی، نوع و تراکم پوشش گیاهی استفاده گردیده است. علاوه بر این در انجام این تحقیق از نرم‌افزارهای رایانه‌ای شامل بسته نرم‌افزاری ILWIS قابل اجرا در محیط GIS، Excel و SPSS، به ترتیب جهت ایجاد بانک اطلاعاتی مربوط به مشخصات و ویژگی‌های منطقه، پردازش داده‌ها، نقشه‌سازی و تجزیه و تحلیل رابطه بین عوامل زمین محیطی با شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی نیز استفاده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت مکانی حوزه آبخیز عرب قره حاجی

ب- روش تحقیق

روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر با توجه به نوع و ماهیت آن مبتنی بر بکارگیری روش‌های کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی و به شرح زیر بوده:

ب-۱- جمع آوری آمار و اطلاعات تشریحی، توصیفی، کمی و کیفی در ارتباط با موضوع تحقیق به ترتیب شامل: نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ جهت تعیین موقعیت مکانی و محدوده‌ی منطقه تحقیق و تهیه اطلاعات پایه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای انجام مطالعات توپوگرافی و فیزیوگرافی،

ب-۲- تفسیر عکس‌های هوایی مربوط به سال‌های ۱۳۳۵ و ۱۳۴۶ به ترتیب، جهت بررسی‌های فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، منابع اراضی، پوشش گیاهی، و نحوه‌ی استفاده از اراضی (کاربری اراضی) در سنوات مختلف در تطبیق با زمان‌های مربوط به تهیه عکس‌های هوایی و تصویر ماهواره‌ای و مشخص نمودن موقعیت مکانی اراضی خندقی شده به روش نظارت شده از طریق انتخاب نقاط شاهد (نقاط تعلیمی یا Trainig Point) و بکارگیری شیوه بارزسازی براساس بررسی حدود تغییرات اعداد رقمی (Digital Number) مربوط به تصویر ماهواره‌ای و تفسیر عکس‌های هوایی در سه دوره زمانی ۱۳۳۵، ۱۳۴۶، ۱۳۸۴ به ترتیب از تفسیر عکس‌های هوایی برای سال‌های ۱۳۳۵ و ۱۳۴۶ و تصویر ماهواره‌ای ۱۳۸۴ منطقه، به صورت تهیه نقشه نظارت شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است.

ب-۳- تهیه نقشه‌های طبقات بارندگی (ارتفاع بارندگی و دمای هوا) با استفاده از داده‌های هواشناسی، طبقات شیب، ارتفاع اراضی از سطح دریا، جهت دامنه‌ها و سایر ویژگی‌های عوامل زمین محیطی به شرح بیان شده در بند "ب-۲" روش تحقیق در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، قطع دادن دوبه‌دوی لایه‌های اطلاعاتی هواشناسی، اقلیم و زمین محیطی با نقشه‌های ادواری مربوط به موقعیت مکانی و پراکنش اراضی خندقی شده در منطقه مورد مطالعه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، جهت مشخص کردن ویژگی‌های محل تشکیل و گسترش فرسایش خندقی،

ب-۴- انتخاب خندق‌های نمونه جهت انجام بررسی‌های میدانی و انجام تجزیه و تحلیل‌های مورد نیاز به منظور تعیین عوامل موثر و تاثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی بر اساس نتایج حاصل از بند "ب-۴" به صورت کاملاً تصادفی از طریق شماره گذاری مناطق خندقی شده و انتخاب مناطق به قید قرعه به تعداد ۱۰ پهنه خندقی شده و انتخاب یک خندق در هر یک از پهنه‌های ۱۰ گانه انتخابی از طریق بازدیدهای میدانی و مشخص کردن موقعیت مکانی آنها با استفاده از GPS و انتقال آنها بر روی نقشه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی،

ب-۵- بررسی مکانی ۱۰ خندق انتخابی و تعیین ویژگی‌های زمین محیطی آنها از طریق قطع دادن لایه‌های اطلاعاتی هواشناسی، اقلیم

و هیدرولوژی (بارندگی، دمای هوا، ارتفاع رواناب) و مشخصات زمین محیطی (شامل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، منابع اراضی و خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی،
ب-۶- اندازه‌گیری عمق و عرض‌های تحتانی و فوقانی خندق‌ها در محل‌های پیشانی، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول هر یک از آنها و حفر گودال‌های استاندارد برای تشریح پروفیل خاک و تهیه نمونه‌های خاک و مشخص کردن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک براساس روش استاندارد تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک.

لازم به توضیح است که با توجه به انتخاب ۱۰ خندق و بررسی ویژگی‌های مورفومتریک و خاک‌شناسی هر خندق در ۴ نقطه شامل پیشانی، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول هر خندق، جمعا اقدام به تشریح ۴۰ پروفیل خاک از یک طرف و تهیه ۶۰ نمونه خاک از طرف دیگر گردیده و سپس اقدام به تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌های خاک از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شده است.

ب-۷- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اجرای مراحل فوق شامل تجزیه و تحلیل فراوانی رخداد و گسترش خندق‌ها براساس ویژگی‌های هواشناسی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، منابع اراضی خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و ارتفاع رواناب، برای مشخص کردن رابطه بین عوامل یاد شده با شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و تعیین عوامل موثر و تاثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در منطقه تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از ویژگی‌های مورفومتری و خاک‌شناسی (مشخصات و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل تشکیل خندق‌ها) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل همبستگی از طریق ایجاد روابط رگرسیونی. ب-۸- مشخص کردن مهمترین عوامل موثر در شکل‌گیری فرسایش خندقی و تاثیرگذار بر رشد و گسترش خندق‌ها و ارائه راهکارهای پیشگیری و مهار فرسایش خندقی و کنترل رشد و گسترش خندق‌ها در منطقه براساس نتایج حاصل از تحقیق.

نتایج**مشخصات منطقه تحقیق****هوا و اقلیم**

حوزه آبخیز عرب قره حاجی با متوسط بارندگی سالانه حدود ۴۸۹ میلی متر که بیشترین و کمترین مقادیر بارش‌ها در آن به ترتیب مربوط به ماه‌های اسفند و خرداد ماه بوده و متوسط دمای سالانه هوا در آن ۱۶ درجه سانتیگراد می‌باشد، دارای اقلیم نیمه خشک معتدل براساس روش دومارتن اصلاح شده است.

توپوگرافی و فیزیوگرافی

حوزه آبخیز مورد مطالعه با حداقل و حداکثر ارتفاع ۳۸۰ و ۸۸۳ متر از سطح دریا که بیشترین گستره آن در طبقه ارتفاعی ۵۰ تا ۶۰ متر (معادل ۳۷/۵ درصد از وسعت آبخیز) واقع گردیده از جمله آبخیزهای تپه ماهوری کم ارتفاع با شیب ملایم می‌باشد. به طوری که اراضی دارای شیب صفر تا ۱۰ درصد حدود ۴۲/۴ درصد از وسعت آبخیز را تحت پوشش داشته و اراضی با جهت شمالی نیز در آن بیشترین وسعت را دارند (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱: وضعیت شیب زمین در آبخیز عرب قره حاجی

طبقات شیب	مساحت (هکتار)	فراوانی نسبی (درصد)
۰-۱۰	۱۱۴۳/۷	۴۲/۴
۱۰-۲۰	۵۵/۱	۲/۵۴
۲۰-۳۰	۶۰۶/۳۴	۲۲/۵
۳۰-۴۰	۲۵۲/۹۸	۹/۳۸
۴۰-۵۰	۲۵۰/۳	۹/۲۸
>۵۰	۳۸۷/۱۸	۱۴/۴
جمع	۲۶۹۵/۶۵	۱۰۰

جدول ۲: وضعیت جهت دامنه اراضی در حوزه آبخیز عرب قره حاجی

جهت دامنه	مساحت (هکتار)	فراوانی نسبی (درصد)
شمال	۵۹۴/۳	۰/۲۳
شمال شرق	۱۷۰/۹	۰/۰۶
شمال غرب	۱۵۹/۶	۰/۰۵
شرق	۵۷۰/۹	۰/۲۲
جنوب	۲۶۰/۸	۰/۰۹۶
جنوب شرقی	۲۶۳/۷	۰/۰۹۸
جنوب غرب	۱۹۶/۴	۰/۰۷
غرب	۴۷۹/۲	۰/۱۸
جمع	۲۶۹۵/۹۵	۱۰۰

سه واحد سه اجزاء واحد اراضی است (جدول ۵)، که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها و اراضی در جدول ۶ ارائه شده است.

پوشش گیاهی

حوزه آبخیز عرب قره حاجی به طور عمده متشکل از گیاهان مرتعی می باشد. به طوری که با توجه به شرایط اقلیمی و طبقات ارتفاعی منطقه و وضعیت ژئومورفولوژی، مراتع آن مشتمل بر سه تیپ گیاهی شامل Artemisia-Poa (درمنه-پوا)، Poa-Medicago (پوا-یونجه) و Paliurus-Artemisia (سیاه تلو-درمنه) است. علاوه بر این، پوشش گیاهی زراعی نیز در بخش هایی از اراضی واقع در نواحی شمالی، حاشیه شمال غرب، غرب و جنوب غربی و در حاشیه رودخانه اصلی به صورت پراکنده وجود دارد که همراه با اراضی فاقد پوشش گیاهی (به دلیل وجود بیرون زدگی های سنگی و پسرفت شدید اراضی در اثر رخداد فرسایش و هزار دره ای شدن آنها) دو تیپ خاص از حفاظ روی زمین را تشکیل داده اند.

استفاده فعلی از کاربری اراضی

اراضی این آبخیز با توجه به اینکه بخش وسیعی از پهنه آن متشکل از تپه ماهورهای لسی با خاک های ریزدانه و نسبتاً حاصلخیز است، اراضی این آبخیز (به استثنای اراضی غیر تولیدی) به دو نوع کاربری عمده شامل: اراضی زراعی و مرتعی اختصاص داده شده اند که شرح جزئیات مربوط به آنها همراه با اراضی فاقد پوشش و غیر تولیدی در جدول ۸ ارائه شده است.

هیدرولوژی

ویژگی های هیدرولوژی منطقه تحقیق با توجه به تعیین گروه های هیدرولوژیکی خاک مستند به نتایج حاصل از بررسی های خاک شناسی و در نظر گرفتن نحوه استفاده فعلی از اراضی و با بکارگیری روش شماره منحنی (۱۷) و محاسبه مقدار بارندگی و رواناب های سطحی با دوره های برگشت ۲ تا ۱۰۰ سال که از طریق تجزیه و تحلیل داده های ذریع به روش گامبل انجام گردیده، در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

وضعیت فرسایش خندقی

نتیجه حاصل از مقایسه تطبیقی گستره های تحت پوشش فرسایش خندقی، با در نظر گرفتن تهیه نقشه های ادواری فرسایش خندقی در سال های ۱۳۳۵، ۱۳۴۶ و ۱۳۸۴ و موقعیت مکانی و پراکنش آنها، نشانگر این است که گستره تحت تاثیر فرسایش خندقی دارای رشد محسوس بوده به طوری که وسعت آنها از ۰/۰۵ مساحت آبخیز در سال ۱۳۳۵ به ۸/۶۶ در سال ۱۳۸۴ رسیده است (جدول ۱۱).

عوامل موثر بر فرسایش خندقی

رابطه بین عوامل زمین محیطی با فرسایش خندقی

نتایج حاصل از تطبیق لایه های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل زمین محیطی با وضعیت پراکنش و فراوانی اراضی خندقی شده نشانگر این است که بیشترین فراوانی و رشد و گسترش فرسایش خندقی مربوط به طبقه بارندگی بیشتر از ۵۲۰ میلی متر در محدوده مناطق با دمای

زمین شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از واحد کپه داغ می باشد که از جمله حوزه های رسوبی کپه داغ در دوره ژوراسیک بوده و دارای رسوبات مشابهی نظیر البرز مرکزی است.

از نظر سنگ شناسی این منطقه دارای تنوع محدود بوده و تنها از رسوبات آهکی و لسی تشکیل شده است. عدم وجود چین خوردگی و عدم وجود گسل در این منطقه حاکی از عدم رخداد فعالیت های تکتونیکی در آن می باشد (جدول ۳).

واحدهای ژئومورفولوژی

حوزه آبخیز مورد تحقیق متشکل از سه تیپ از ناهمواری ها و اراضی شامل کوهستان، تپه و تراس های آبرفتی است که ویژگی های هر یک از آنها به دلیل متفاوت بودن نوع سنگ بستر و مشخصات توپوگرافی و فیزیوگرافی متفاوت می باشد (جدول ۴).

شایان ذکر است که رخساره های مهم فرسایشی در این آبخیز مشتمل بر: رخساره های فرسایش ورقه ای، شیبی، خندقی، تونلی و آبراهه ای است که همراه با بیرون زدگی های سنگی و انحلال سنگ آهک می باشد

منابع اراضی و خاک

حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر منابع اراضی مشتمل بر سه تیپ،

جدول ۳: مشخصات سازندهای زمین شناسی حوزه آبخیز عرب قره حاجی

ردیف	نام سازندهای زمین شناسی	زمان	علامت	نوع سنگ	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱	آبرفت رودخانه ای	عهد حاضر	Qal	سیلت، ماسه، شن	۱۲۰/۶۰	۴/۵۰
۲	لس	کواترن	QL	لس شامل سیلت، ماسه و مقداری شن	۲۲۲۹/۷	۸۲/۷۰
۳	سنگانه	کرتاسه زیرین	KS	شیل سیاه رنگ حاوی کنگرسیون رسی آهن دار	۳۴۵/۳۵	۱۲/۸۰

جدول ۴: مشخصات واحدهای تیپ اراضی حوزه آبخیز عرب قره حاجی

تیپ اراضی	علامت	مساحت (هکتار)	فراوانی نسبی (درصد)
تپه (H)	۲-۳-۱	۱۸۰۶/۹۵	۶۷/۱
فلات (R)	۳-۱-۱	۵۵۶/۵۶	۲۰/۶
تراس رودخانه ای (T)	۳-۲-۱	۳۳۲/۳۸	۱۲/۳
جمع	-	۲۶۹۵/۶۵	۱۰۰

جدول ۵ - مشخصات اجزاء واحدهای اراضی حوزه آبخیز عرب قره حاجی

اجزاء واحد اراضی	بافت خاک	ساختمان خاک
۲.۳.۱	لوم-سیلتی	دانه ای فشرده
۳.۲.۱	لوم-سیلتی	دانه ای پراکنده
۳.۱.۱	لوم سیلتی تا لوم	دانه ای پراکنده

متوسط سالانه ۱۶/۲۵ درجه سانتی گراد در اراضی با شیب صفر تا ۳۰ درجه با جهت های جغرافیایی شمال، شرق و غرب واقع در طبقه ارتفاعی ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر از سطح دریا می باشد. به طوری که نوع سنگ بستر غالب در آنها متشکل از نهشته های بادرفتی اولیه و آبرفتی ثانویه بوده که دارای خاک های لسی در واحد ژئومورفولوژی تراس های مرتفع در تیپ اراضی تپه ماهوری متشکل از اجزاء واحد اراضی ۱، ۳ و ۲ با پوشش گیاهی از نوع تیپ های گیاهی درمنه و پوا و با کاربری مرتع هستند.

رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با فرسایش خندقی

بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با مشخصات مورفومتریک خندق ها شامل عمق، نسبت عرض به عمق و طول خندق ها با بکارگیری روش تجزیه و تحلیل همبستگی ساده و ایجاد

روابط رگرسیونی نتایج به دست آمده مبین موارد زیر بوده است:

بین عمق خندق ها با عمق خاک، مقادیر رس، سیلت، شن، خاک لخت، میزان نمک های محلول، حد اشباع خاک، SAR، سدیم قابل تبادل و هدایت الکتریکی با ضرایب تعیین (R^2) به ترتیب معادل، ۰/۹۲۲، ۰/۹۴۸، ۰/۸۸۴، ۰/۷۰۴، ۰/۸۲۸، ۰/۹۱۶، ۰/۹۱۲، ۰/۹۲۲، ۰/۸۸۳، همبستگی معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد.

بین عرض متوسط خندق با SAR و حد اشباع خاک با ضرایب تعیین (R^2) به ترتیب معادل ۰/۸۴۱، ۰/۶۴۷، همبستگی معنی دار در سطح ۹۵ درصد وجود دارد.

نتایج حاصله از تجزیه و تحلیل همبستگی چند متغیره با در نظر گرفتن معنی دار بودن همبستگی بین عوامل ذکر شده در فوق با شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی، نیز نشان دهنده موارد زیر بوده است:

- مهمترین ویژگی های مربوط به خاک که موثر در تغییرات عرض پایین خندق ها (GBW) در منطقه تحقیق هستند، عمق خاک (DS) و میزان (SAR) در آن با ضرایب تعیین (R^2) به ترتیب ۰/۷۷۵ و ۰/۹۰۹ می باشد (روابط ۱ و ۲).

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{GBW} = 0.171 \text{ SAR} - 61.042$$

$$R^2 = 0.775 \quad \alpha = 0.001$$

جدول ۶: ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک به تفکیک اجزاء واحد اراضی

اجزاء واحد اراضی	عمق خاک cm	درصد اشباع (SP)	هدایت الکتریکی (Ec×10)	اسیدیته اشباع (PH)	درصد مواد خنثی شونده % TNV	کربن آلی SAR	مواد قابل انحلال (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	سدیم قابل تبادل (ppm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک
۲.۳.۱	صفر تا ۴۰	۴۱/۷	۰/۴	۷/۶	۱۸/۵	۰/۴۶	۰/۰۵	۲/۸	۱۶۰	۲۶	۵۴	۲۰	L-Si
۳.۲.۱	صفر تا ۳۵	۳۹/۸	۰/۶	۷/۶	۲۱/۵	۰/۶۰	۰/۰۶	۲/۳	۱۳۰	۲۶	۶۴	۱۰	L-Si
۳.۱.۱	صفر تا ۳۵	۳۱/۲	۳	۷/۴	۳۲	۰/۳۸	۰/۰۴	۷/۳	۲۵۰	۱۴	۵۰	۳۶	L-Si To L

جدول ۷: مشخصات تیپ‌های گیاهی و حفاظ روی زمین در حوزه آبخیز عرب قره حاجی

ردیف	تیپ گیاهی و حفاظ روی زمینی	علامت اختصاری	مساحت	
			هکتار	درصد
۱	درمنه - پوا (Artemisia-Poa)	Ar-Po	۹۵۸/۵۲	۳۵/۵۷
۲	پوا- یونجه (Poa-medicago)	Po- Me	۷۱۸/۰۴	۲۶/۶۳
۳	سیاه تلو- درمنه (Paliurus-Artemisia)	Pa- Ar	۱۵۶/۷۱	۵/۸۱
۴	تیپ گیاهان زراعی	CL	۸۵۵/۳۸	۳۱/۷۲
۵	تیپ فاقد پوشش گیاهی	Rp	۷/۰۰	۰/۲۶
جمع	-	-	۲۶۹۵/۶۵	۱۰۰

جدول ۸: وضعیت کاربری اراضی در حوزه آبخیز عرب قره حاجی

ردیف	نوع استفاده فعلی از اراضی	مساحت	
		هکتار	درصد
۱	زراعی (دیم و آبی)	۸۸۹/۸۵	۳۳/۰۱
۲	مرتعی	۱۷۹۸/۸	۶۶/۷۳
۳	فاقد پوشش گیاهی (غیرتولیدی)	۷/۰۰	۰/۲۶
جمع	-	۲۶۹۵/۶۵	۱۰۰

جدول ۹: مقادیر شماره منحنی در هر یک از واحدهای مستقل از نظر کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک

ردیف	نوع کاربری اراضی	گروه هیدرولوژیکی خاک	شماره منحنی (CN)	مساحت (هکتار)	شماره منحنی حوزه آبخیز
۱	زراعت	B	۸۱	۱۲۳/۲۸	۸۳/۴۴
۲	زراعت	C	۸۸	۶۹۵/۵۸	
۳	زراعت	D	۹۱	۴۱/۷۹	
۴	مرتع	B	۷۶	۱۴۷/۳۴	
۵	مرتع	C	۸۲	۱۶۴۵/۶۶	
۶	مرتع	D	۸۶	۳۵	
۷	فاقد پوشش گیاهی	B	۸۶	۲/۷۰	
۸	فاقد پوشش گیاهی	C	۹۱	۴/۳۰	

جدول ۱۰: مقادیر ارتفاع بارندگی و رواناب و ضریب رواناب برای دوره‌های با برگشت مختلف ۱۰۰ تا ۲ سال

دوره	برگشت (سال)					
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
ارتفاع بارندگی (میلی متر)	۵۸/۸۶	۵۲/۷۸	۴۶/۶۷	۳۸/۴۶	۳۲/۰۴	۲۲/۸۰
ارتفاع رواناب (میلی متر)	۲۴	۱۹/۵۹	۱۵/۴۰	۱۰/۲۳	۶/۶۷	۲/۵۷
ضریب رواناب (درصد)	۴۰/۷۸	۳۷/۱۲	۳۲/۹۹	۲۶/۶۰	۲۰/۸۲	۱۱/۲۵

جدول ۱۱: وضعیت تغییر وسعت اراضی خندقی شده طی دوره زمانی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۴

سال	۱۳۳۵	۱۳۴۶	۱۳۸۴
وسعت اراضی خندقی شده (هکتار)	۱/۴۸	۳۵/۹۲	۲۳۴/۹۶
میزان تغییرات (هکتار)	۱/۴۸ (سال مبنا)	۳۴/۴۴	۱۹۹/۰۴
میزان تغییرات (درصد)	۰/۰۵	۱/۲۸	۷/۳۳

Morgan و Morgan (۴۸)، از نظر متفاوت بودن نوع ویژگی‌های خاک که موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در نقاط مختلف به ویژه تحت تاثیر نوع خاک و سنگ بستر است، مطابقت دارد.

ب- از بین مجموعه عوامل توپوگرافی و فیزیوگرافی منطقه تحقیق که در عین حال از جمله عوامل ژئومورفولوژی به حساب می‌آیند سه عامل شیب، جهت و ارتفاع اراضی از سطح دریا مهمترین عوامل مؤثر و تاثیرگذار بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی و انواع شکل خندق‌ها در اراضی لسی هستند، به طوری که نتایج مذکور با یافته‌های پژوهشی مشابه در سایر نقاط جهان و ایران مانند نتایج به دست آمده و ارائه شده توسط محققین همخوانی و تطبیق دارد (۱، ۴، ۱۱، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۴، ۲۶، ۴۶، ۴۹، ۵۰، ۵۵).

ج- بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به شکل‌گیری و گسترش مکانی فرسایش خندقی در منطقه تحقیق در رابطه با سازندهای زمین شناسی و مشخصات ژئومورفولوژی و خاک نشان‌دهنده نقش و مشارکت مستقیم عوامل مذکور در رخداد و گسترش انواع شکلی خندق است، به طوری که اکثر خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر نیروی تنش برشی و قدرت حمل رواناب‌های متمرکز همراه با انحلال مواد موجود در سنگ بستر و خاک (نهشته‌ها و خاک‌های لسی)، در اثر رخداد فرسایش انحلالی به ویژه در تیپ اراضی کم شیب میان تپه‌ای در تراس‌های مرتفع کم شیب ایجاد و گسترش یافته‌اند. نتایج مذکور با یافته‌های Bocco (۳۱) و Morgan (۴۷)، احمدی (۱)، قدوسی (۱۶) و صیادی (۱۲)، همخوانی و تطبیق داشته و موید فراگیر بودن تاثیر عوامل مورد بحث در شکل‌گیری خندق‌ها در نقاط مختلف است.

د- با توجه به مشخص شدن و شناسایی تیپ اراضی تپه‌های لسی با قله مدور و در دامنه‌های نسبتاً منظم مشتمل بر اجزاء واحد اراضی ۱، ۳، ۲ به عنوان حساس‌ترین تیپ و اجزاء واحد اراضی با سنگ بستر لس به شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اراضی تپه‌ماهوری به طور کلی به دلیل اینکه به طور معمول پهنه‌هایی تولیدکننده رواناب‌های سطحی تخلیه‌شونده به دره‌ها هستند، در نتیجه عامل مؤثر در رخداد و گسترش فرسایش خندقی هستند. از سوی دیگر در مناطق کم شیب لسی به دلیل تجمع املاح محلول احتمال رخداد فرسایش تونلی (انحلالی) زیاد بوده و به همین دلیل این مناطق محل‌های مستعد و حساس به رخداد فرسایش خندقی می‌باشند. شایان ذکر است که نتیجه مذکور با نتایج تحقیق صیادی (۱۲) در ایران و Deploey (۲۳) و Morgan (۴۷) در خارج از کشور همخوانی دارد. مضافاً نتایج به دست آمده از پژوهش‌های انجام شده توسط Beer و Deploy (۲۶) Johnson (۱۹۷۴) به نقل از قدوسی (۱۶)، نیز مبین حساس بودن تیپ‌های اراضی تپه‌ماهوری به ویژه دشت سرها و دشت‌های بین تپه‌ای و دشت سرهای سیلابی و پادگانه‌های آبرفتی (تراس‌های فوقانی) به فرسایش خندقی در مقایسه با سایر واحدهای اراضی است که موید صحت یافته حاصل از تحقیق حاضر می‌باشد.

ه- با توجه به بررسی رابطه بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با شکل‌گیری و رشد و گسترش فرسایش خندقی گردیده و مشخص شده است که شکل‌گیری خندق‌ها رابطه مستقیم با عمق خاک، میزان سیلت و رس، حد اشباع خاک، میزان نمک‌های محلول، SAR، هدایت الکتریکی و سدیم قابل تبادل دارد. به نحوی که خصوصیات مذکور نه

رابطه (۲) $GBW=0.414SAR+0.080DS-20.126$
 $R^2=0.909 \quad \alpha=0.001$

- اصلی‌ترین ویژگی خاک که موثر بر تغییرات بر عرض بالای خندق‌ها (GTW) در منطقه است میزان سدیم قابل تبادل (Na⁺) می‌باشد (رابطه ۳).

رابطه (۳) $GTW=22.869-0.70Na$
 $R^2=0.772 \quad \alpha=0.001$

- براساس نتیجه حاصل از ایجاد روابط رگرسیونی چند متغیره بین عرض متوسط خندق‌ها (GA) با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نشانگر تبعیت عرض متوسط خندق‌ها از میزان درصد خاک لخت (Bs) در محل تشکیل خندق‌ها است که به عنوان شاخص حفاظ روی خاک به ویژه تراکم پوشش گیاهی نیز می‌باشد (رابطه ۴).

رابطه (۴) $GA=7.744-0.91BS$

$R^2=0.858 \quad \alpha=0.001$

این در حالی است که ایجاد رابطه رگرسیونی بین عمق خندق (GD) با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز حاکی از تبعیت عمق خندق‌ها از میزان سیلت (st) و هدایت الکتریکی (Ec) خاک است (روابط ۵ و ۶).

رابطه (۵) $GD=0.346st-12.475$

$R^2=0.945 \quad \alpha=0.001$

رابطه (۶) $GD=0.216st+0.506Ec-14.790$

$R^2=0.974 \quad \alpha=0.05$

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به مجموع نتایج به دست آمده از تحقیق به شرح بیان شده در فوق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مهمترین و اصلی‌ترین عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی به ترتیب عبارتند از:

الف-مقادیر متوسط سالانه بارندگی و دمای هوا (جداول ۱۲ و ۱۳) که هر دو عامل موثر در نوع و میزان تراکم پوشش گیاهی و در نتیجه حجم، شدت و انرژی جنبشی رواناب‌های سطحی هستند. به عبارت دیگر، این دو عامل به طور غیرمستقیم بر رخداد و گسترش فرسایش خندقی از طریق تاثیر بر پوشش گیاهی، نفوذپذیری خاک و در نتیجه حجم و شدت رواناب‌های سطحی که عامل اصلی در شکل‌گیری فرسایش خندقی و گسترش آن هستند، موثر می‌باشند (جداول ۱۲ و ۱۳). شایان ذکر است که یافته‌های مذکور با موارد مطرح شده توسط Poessen و همکاران (۴۹) و نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده توسط قدوسی (۱۷)، صوفی (۱۳)، صیادی (۱۲)، احمدی (۱۲) و

جدول ۱۲: گروه بندی میزان تاثیرگذاري عامل ارتفاع بارندگی سالانه در گسترش فرسایش خندقی

گروه	ارتفاع بارندگی سالانه (میلی متر)	فراوانی نسبی رخداد و گسترش فرسایش خندقی (درصد)	وضعیت کیفی میزان تاثیر گذاری
۱	<۴۶۰ و >۵۲۰	۵/۵-۸/۵	کم
۲	۴۶۰-۴۹۰	۸/۵-۱۳/۵	متوسط
۳	>۴۹۰ و <۵۲۰	>۱۳/۵	زیاد

جدول ۱۳: گروه بندی میزان تاثیرگذاري عامل دمای سالانه هوا در رخداد و گسترش فرسایش خندقی

گروه	میزان دمای سالانه هوا	فراوانی نسبی رخداد و گسترش فرسایش خندقی (درصد)	وضعیت کیفی میزان تاثیر گذاری
۱	<۱۴/۵ و >۱۶/۵	۰/۵-۲/۵	کم
۲	۱۵-۱۶	۷/۵-۱۴	متوسط
۳	>۱۶ و <۱۶/۵	>۱۴	زیاد

و همراه با اقدامات بیولوژیک، اصلاح کاربری اراضی براساس توان طبیعی و محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی، ژئومورفولوژی، خاک در منطقه و مدیریت پوشش گیاهی از طریق ایجاد تعادل بین میزان تولید علوفه در مراتع با تعداد دام در قالب برنامه‌های تعادل مرتع و دام را می‌توان به عنوان مناسب‌ترین راهبردهای کلان پیشگیری از شکل‌گیری فرسایش خندقی و مهار خندق‌ها معرفی نمود.

منابع مورد استفاده

- ۱- احمدی، حسن، ۱۳۷۴؛ ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، (فرسایش آبی) چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۴ صفحه.
- ۲- اعتراف، حسین، ۱۳۷۸؛ اثرات بهره برداری از اراضی لسی بر حاصلخیزی و فرسایش خاک در منطقه مراوه تپه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۳ صفحه.
- ۳- باقرزاده کریمی، مسعود، ۱۳۷۲؛ استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مطالعات فرسایش خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- خلیلی، ناصر، ۱۳۷۶؛ بررسی خصوصیات مرفومتري خندق‌ها در سازه‌های مختلف زمین‌شناسی پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۳ صفحه.
- ۵- دولت خواهی، محمد، ۱۳۸۰؛ بررسی رابطه بین خصوصیات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی با تولید رسوب نهشته‌های لسی در حوزه آبخیز کچیک (زیر حوزه گرگانود). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

تنها در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی بلکه در ابعاد خندق‌ها نیز موثر می‌باشد. این یافته در تطبیق با نتایج تحقیقاتی قدوسی (۱۷)، مرتضایی (۲۱)، صیادی (۱۲)، Leopold، Bell (۴۴) و همکاران (۲۷)، Morgan (۴۷)، است که مشخص‌کننده نقش ویژه خاک به ویژه میزان نمک‌های محلول موجود در خاک در ایجاد فرسایش خندقی از طریق رخداد فرسایش تونلی (انحلالی) است.

با توجه به کلیه موارد بیان شده می‌توان جمع‌بندی نمود که به طور کلی شکل‌گیری فرسایش خندقی و گسترش آن در ارتباط با دو عامل رواناب که خود تابعی از سطح تولیدکننده آن می‌باشد (حوزه آبخیز) از یک طرف و خصوصیات و ویژگی‌های خاک از طرف دیگر می‌باشد. به طوری که سایر عوامل عملاً نقش کنترل‌کننده و یا تشدیدکننده دو عامل مذکور را دارند. زیرا یکی عامل فرساینده و دیگری عامل فرسایش پذیر تلقی می‌شود. به طور مثال افزایش شیب از یک سو موجب افزایش سرعت حرکت رواناب‌های سطحی و در نتیجه افزایش تنش برشی آنها شده که منجر به کنش ذرات خاک از توده آن می‌گردد و از سوی دیگر باعث کاهش پایداری خاک و عدم ثبات آن می‌گردد. گفتنی است که پوشش گیاهی نیز عامل تشدید یا کاهش شدت رخداد فرسایش خندقی می‌شود. زیرا افزایش پوشش گیاهی از یک طرف باعث کاهش شدت و حجم رواناب‌های سطحی در اثر افزایش نفوذپذیری و ضریب زبری در سطح زمین شده و در نتیجه، کاهش تنش برشی رواناب‌های سطحی را در پی دارد. و از طرف دیگر موجب افزایش حفاظ روی زمین شده و موجب ثبات خاک می‌گردد. بر این اساس جلوگیری از تمرکز رواناب‌ها با استفاده از روش‌های مکانیکی

- ۲۱ - مرتضایی، مرتضی. ۱۳۸۴؛ ارزیابی اثر کمی متغیرهای محیطی در رخداد فرسایش خندقی. پایان نامه دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات، ۱۵۴ صفحه.
- ۲۲ - هویسی، عبدالصادق. ۱۳۷۹؛ بررسی عوامل گسترش فرسایش خندقی در حوزه درب خزینه. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش عالی امام خمینی (معاونت آموزش و تحقیقات). ۹۸ صفحه.
- 23- BSWMI.1974; Watershed mangement and sand dune stabilization record. Ministry of Agriculture and Natural Resource. FRO.No.3.128P.
- 24- Baade, J.2000; Ephemeral gully erosion concepts and consequences. Elsevier, Catena Verlag, Cremlingen.
- 25- Barker, R.; L. Dixon and J.Hooke. 1977; Use of terrestrial photogrammetry for monitoring and measuring bank erosion. Earth Surface Processes and Land forms, 22: 1217-1227.
- 26- Beer, C. E. and H. P. Johnson, 1963; Factors in gully growth in the deep loes of Western Iowa. Trens. ASAE 6 (3): 240-273.
- 27- Bell, G.L., 1968; Piping in the badlands of north Dakota. Proc. 6th Annual Eng. Geol. And Soil Eng. Symp. Boise Idaho (Boise, Idaho Dept. Highways): 242-257.
- 28- Belyaev, V.R.2000; Specific features of gully formation under different natural conditions. Geographic Faculty, Moscow State University. Moscow.
- 29- Bergsma, E. 1974; Soil erosion toposequences on arial photographs. Proc. Symp. Com. VII. ISP. Banff, Alberta.
- 30- Bobrovistskaya, N.N.2000; Hydrological, meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change. Elsevier, Catena Verlag, Cremlingen.
- 31- Bocco, G. 1990; Gully erosion: Analysis using Remote Sensing and GIS. PhD Thesis, University of Amsterdam.
- 32- Burkard, M.B. and Kostaschuk. 1997; Patterns and control of gully growth along the shoreline of Kake Huron. Earth Surface Processes and Landforms 22: 901-911.
- 33- De Ploey, J. 1974; Mechanical properties of hillslopes and their relation to gullying in central semi -arid Tunesia. Z. Geom. SB 21:177-190.
- 34- Desmet, P.J.J. and G.Govers. 1997; Two dimensional modelling of the within -field variation in rill and gully geometry and location related to topography. Catena 29, 283-306.
- 35- Dymond, J.R. and D.L. Hicks. 1986; Steepland erosion measured from historical aerial photographs. Soil and Water Conservation 41 (4): 252-255.
- 36- Ezechi, J.I.2000; The influnce of runoff, lithology and water table on the dimensions and rate of gullying Processes in Eastern, Nigeria. Elsevier, Catena Verlag, Cremlingen (Web-Site).
- 37- Food and Agricultural Organization (FAO). 1965; Soil erosion گرگان. ۷۵ صفحه.
- ۶ - راهی، غلامرضا، ۱۳۷۷؛ بررسی مکانیسم و علل تشکیل خندق در بندر گناوه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۶ صفحه.
- ۷ - رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۵؛ فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
- ۸ - حشمتی، مسیب، ۱۳۷۵؛ بررسی سازندهای مارنی منطقه قصر شیرین و نفت شهر از نظر زمین شناسی و فرسایش. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۴۵ صفحه
- ۹ - سبحانی، بهروز. ۱۳۷۶؛ تجزیه و تحلیل قابلیت رسوبدهی حوزه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس ۲۱۰ صفحه.
- ۱۰ - شاهینی، غلامرضا. ۱۳۸۴؛ نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خندقی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۳۴۱-۳۴۶ صفحه.
- ۱۱ - شهریور، عبدال، ۱۳۷۶؛ بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش خندقی و ارائه مدل در منطقه سوق از شهرستان دهدشت - پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۲۴ صفحه.
- ۱۲ - صیادی، محمد جمیل. ۱۳۸۵؛ بررسی اثر برخی از عوامل مؤثر بر توسعه فرسایش خندقی در سازند لسی (مطالعه موردی حوزه آبخیز آق امام کوچک استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۹۵ صفحه.
- ۱۳ - صوفی، مجید. ۱۳۸۴؛ تعیین تاثیر پوشش گیاهی و توسعه شهری در گسترش آبکندها در جنوب استان فارس. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۳۵۵-۳۵۰ صفحه.
- ۱۴ - طهماسبی پور، ناصر. ۱۳۷۱؛ ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران ۱۲۴ صفحه.
- ۱۵ - عیسانی، حسین. امیر حسین چرخایی و حسین اعتراف، ۱۳۸۴؛ بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های لسی با اشکال فرسایشی در حوزه‌های آبخیز اترک و گرگانرود در استان گلستان. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۶۳۷-۶۳۹ صفحه.
- ۱۶ - قدوسی، جمال، ۱۳۸۴؛ تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندق‌ها. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۳۸۹-۳۸۲ صفحه.
- ۱۷ - قدوسی، جمال، ۱۳۸۲؛ مدل سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زجان رود) رساله دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳۶۶ صفحه.
- ۱۸ - قدوسی، جمال، ۱۳۷۳؛ رشد و گسترش خندق‌ها. انتشارات موسسه تحقیقات، جنگلها و مراتع کشور، گزارش پژوهشی. ۲۸ صفحه
- ۱۹ - کریمی، محمد، ۱۳۷۷؛ بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و معرفی مناسب ترین راههای مهار آن در منطقه زهان قائن - پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۲ صفحه.
- ۲۰ - گلبابایی، حسین. ۱۳۷۵؛ تعیین نقاط حساس به فرسایش در زیر حوزه لوآرک سد لتیان از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۶۶ صفحه.

- by water. Some measures for its control on cultivated lands. FAO. Agric. Paper 81. Rome.
- 38- Gabris, G.Y.; A.Kertesz; L. Zambo, 2003; Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena* 50: 151-164.
- 39- Hadley, R.F. and B.N. Rolfe. 1955; Development and significance of seepage steps in slope erosion. *Trans. Am. Geoph. Un.* 36(5): 792-804
- 40- Hadley, R.F., R. Lal, C.A. Onstad, D.E. Walling, A. Yair. 1985; Recent developments in erosion and sediment yield studies, Technical Documents in Hydrology. UNESCO. Paris.
- 41- Hudson, N.W. 1985; Soil conservation. Batsford. London.
- 42- Imeson, A.C. and F.J. Kwaad. 1980; Gully types and gully prediction. *KNAG Geografisch Tijdschrift*. 15-5: 430-441.
- 43- Kirkby, M. J. and L.J. Bull. 2000; Some factors controlling gully growth in fine - grained sediments: A model applied in Southeast Spain. Elsevier, *Catena*, 40(2000)pp. 127-146.
- 44- Leopold, L.B.; M.G. Wolman; J.P. Miller. 1964; Fluvial processes in geomorphology. Freeman, San Francisco. 522pp.
- 45- Meijerink, A.M.J. 1988; Data acquisition and data Capture through terrain mapping Units. *ITC Journal*. 1988-1: 23-44.
- 46- Morgan, R.P.C. 1978. Soil erosion. Longman. New York.
- 47- Morgan, R.P.C. 1996. Soil erosion and conservation. Second Edition. Silsoe College, Cranfield University. 198pp.
- 48- Morgan, R. P. C., and D. Morgan Zulu, 2003; Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the Middle Wees of Switzerland. *Catena* 50: 401-411.
- 49- Poesen, J.; L. Vandekerckhove; J. Nachtergaele ; D. Oostwoud Wijdenes; G. Verstraeten and B. Van Wesemael., 2003; Gully erosion in dryland environment. In: Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi - Arid Channels*, Wiley, Chichester, UK. pp. 229-262.
- 50- Poesen, J. and G. Govers. 1990; Gully erosion in the loam belt of Belgium. Typology and Control Measures. *Soil Erosion on Agricultural Land*. Edited by J. Boardman, I.D.L. Foster and J.A. Dearing. John Wiley and sons Ltd. pp. 513-530.
- 51- Prosser, I.P. and B. Abernethy. 1996; Predicting the topographic limits to gully network using a digital terrain model and process threshold. *Water Resources Research* 37(7): 2289-2298.
- 52- Satterlund, D.R. and P.W. Adams. 1992; Wildland watershed management. Second Edition, John Wiley and Sons, INC. New York.
- 53- Schumm, S.A. 1979; Geomorphic threshold: The concept and its applications. *Transactions of the Institute of British Geographers new Series*, 4: 485-515.
- 54- Seginer, I. 1966; Gully development and sediment yield. *J. of Hydrology*. 4: 236-253.
- 55- Thorne, C.R.; L.W. Zevenbergen; E.H. Grissinger and J.B. Murphey. 1986; Ephemeral gullies as sources of sediment. *Proceeding of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference*, 1, 3-152-3-161.
- 56- Verstappen, H.Th. 1977; Remote Sensing in Geomorphology. Elsevier. Amsterdam
- 57- Zachar, D. 1982; Soil Erosion. Amsterdam, Elsevier.



Archive