ویژگی‌های خندق‌ها و عوامل کنترل‌کننده‌ی فرآیندهای خندق‌زایی

مطالعه‌ی موردی: محدوده‌ی بین اهر - مشکین شهر

دکتر مریم بیاتی خطیبی

استادیار جغرافیا طبیعی دانشگاه تبریز

چکیده

خندق‌ها از پیچیده‌ترین اشکال خطی هستند که تحت عوامل کنترل‌کننده‌ی مختلف، طی چندین مرحله، و در طول زمان، تحول و رشد می‌یابند. فعالیت فرآیندهای طبیعی که منجر به زایش خندق می‌شوند، معمولاً در اثر کشت غیر اصولی، سیستم‌های آبیاری، چرای مفرط، جاده‌سازی،تغییرات کاربری و تغییرات اقلیمی، تشدید می‌گردند. منطقه‌ی مورد مطالعه که از محدوده‌ی مستعد به زایش خندق‌ها می‌باشد، به سبب دخالت عوامل انسانی، فعالیت چنین پدیده‌هایی به مرحله‌ی بحرانی و خطرناک رسیده است. در این مقاله سعی شده است که اثرات عوامل مختلف انسانی و طبیعی، بر روی فرسایش خندقی در روی شیب‌های مختلف، مورد مطالعه قرار گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که شیب و مساحت حوضه‌های زهکشی بالادست هرخندق، عامل اصلی در تمرکز آب‌های جاری و تعیین‌کننده حد آستانه برای پدید آمدن خندق‌ها است. به همین دلیل در این مطالعه، نقش این دو پارامتر با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده بررسی و رابطه $S=0.407A^{4.54857}$ به دست آمده است. علاوه بر رابطه مذکور، رابطه $S=A^{0.4}$ نیز در منطقه مورد مطالعه، بررسی و مقادیر آن از ۴٫۰۴ تا ۲۱٫۳۲، به عنوان آستانه‌های برش بالا برای زایش خندق و طویل شدن آن، حاصل شده است. نتایج حاصل تحلیل‌های رگرسیونی نیز نشان می‌دهند که در بین پارامترهای مختلف توپوگرافی، طول دامنه و اختلاف ارتفاع، در طویل شدن خندق‌های منطقه، نقش اساسی ایفا می‌کنند. مشاهدات میدانی و تحلیل نمونه‌ای از خاک‌های جمع‌آوری شده، حاکی از این است که بیشترخندق‌های بزرگ و عمده‌ی منطقه بر روی آبرفت‌های قدیمی توسعه یافته‌اند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، فرسایش خاک، فرسایش خندقی، خندق، اهر- مشکین شهر.

مقدمه

خندق‌ها آبگذرهای موقت، اما با عمق و طول قابل ملاحظه هستند که پس از زایش و توسعه می‌توانند به تأسیسات انسانی- چه از نظر توسعه و چه از نظر موادی‌که تولید و انباشته

می‌سازند- خسارت وارد سازند و باتوسعه از سر و هجوم به محدوده‌های کشت‌شده،فعالیت‌های کشت عادی را مختل سازند.

این اشکال، که از چشم‌اندازهای معمول در کوهستان‌های نیمه‌خشک محسوب می‌شوند، در سرعت‌گیری رواناب‌ها بسیار مؤثر هستند*(Valentin ,2005:138)* با عنایت به سرعت توسعه سرخندق‌ها، این اشکال در اغلب کشورهای نیمه‌خشک، بخش اعظم رسوب رودخانه‌ها را تولید می‌کنند. طبق گزارشات محققین، یک خندق مجزا، می‌تواند حتی تا۹۳۷۵۰ تن در کیلومتر درسال رسوب تولید نماید *(Saynor et al, 2005:191)*. این اشکال، به هرعلتی که پدید آیند می‌توانند بعد از شکل‌گیری، بطور خطی در یک جهت و یا چند جهت، رشد یابند و موجب گسیختگی مواد دامنه‌ای گردند، در تشکیل آنها علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل انسانی نیز دخیل هستند، که سرعت جابجایی آنها را تشدید می‌کند. کشت خطی، چرای مفرط، کشیدن جاده از کمرکش کوهستان‌ها، فشرده شدن خاک در اثر عبور وسایل نقلیه کشاورزی، عبور مداوم دام از یک مسیر ویژه و... به عنوان عوامل انسانی محسوب می‌شوند که نقش عمده‌ای در تشکیل و توسعه خندق‌ها بازی می‌کنند. فرسایش خاک، به‌عنوان عامل عمده‌ی برهنگی سطح زمین در شرایط کنونی از موضوعات جهان شمول محسوب می‌شود.

در دهه‌های گذشته، در مباحث فرسایش خاک، بیشتر به موضوع فرسایش آبکندی در مقیاس زمین‌های تحت کشت، توجه می‌شد. اما اخیراً به دنبال برگزاری کنفرانس بین‌المللی فرسایش خاک در بلژیک در سال ۲۰۰۳ و در چین در سال ۲۰۰۴، به فرسایش خندقی، به عنوان عامل اصلی تلف شدن خاک، توجه بیشتری مبذول شده است و با انتشار گزارشات تحقیقاتی در مورد فرسایش خندقی، آگاهی عمومی در مورد نقش چنین فرسایشی در تلف نمودن توده‌ای خاک، بویژه خاک کم ضخامت کوهستان‌ها، رو به افزایش است. این نوع فرسایش که بار رسوبی رودخانه‌ها را افزایش و کیفیت آب‌های سطحی را کاهش می‌دهند، در دهه‌های اخیر در اثر کشت غیر اصولی و تغییرات کاربری تسریع شده است، اما تغییرات آب و هوایی و به تبع آن تغییرات در بیلان آب، زمینه را برای زایش خندق، مساعدتر نموده است*(Dotterweich,2005:194, Renschle and Harbor ,2002:189, Valentin ,et al ,2005:133)* .

فرسایش خندقی به لحاظ انتقال افق‌های حاصلخیز خاک وکاهش ظرفیت نگهداشت، آب بسیار خطرناک است به همین دلیل، امروزه ارزیابی میزان و نحوه‌ی فرسایش خندقی در اغلب مناطق جهان به یک موضوع اساسی تبدیل شده است و تلاش‌های زیادی برای مدل‌بندی این نوع فرسایش صورت گرفته است *(Chaplot,2005:5)*. میزان خسارات وارده به تأسیسات انسانی و محدوده‌های تحت کشت و میزان موادی که در اثر رشد خندق‌ها از دامنه‌ها وارد دره‌ها می‌گردد، به میزان و سرعت جابجایی سرخندق‌ها، در رابطه با عوامل مختلف، بستگی دارد. میزان این جابجایی در طول سال و دوره‌های مختلف ترسالی و خشکسالی متفاوت است.

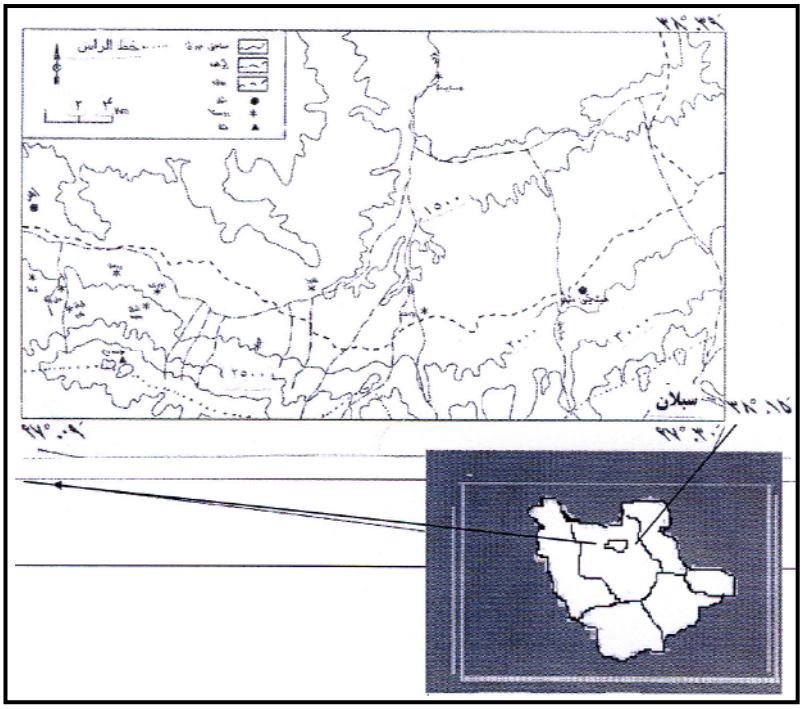
اما به‌طور کلی می‌توان گفت که تشکیل و توسعه‌ی خندق‌ها در ابتدای مراحل تحول، سریع و در مرحله‌ی دوم، رفته‌رفته کند می‌شود.

طبق گزارشات حاصل از بررسی و مشاهدات طویل‌المدت، سرعت جابجایی در سریع‌ترین حالت ممکن از ۳۷ تا ۷۵ میلی‌متر در سال، متفاوت است *(Wu and Chang,2005:2)*. با توجه به این که رشد یک خندق در فازهای مختلف یکسان نیست و بیشترین میزان رشد در فاز اول رخ می‌دهد *(Vanwalleghem et al, 2005: 381)* باید کنترل خندق با به کارگیری تدابیری متناسب با ویژگی خندق، در مراحل اولیه صورت گیرد. در محدوده‌ی مورد مطالعه، خندق‌های متعدد با ویژگی‌های متنوع پراکنده شده‌اند و با توجه به تفاوت در ویژگی‌های بستر تشکیل و تنوع در عوامل تأثیرگذار و تفاوت در زمان تشکیل آنها، هر یک از خندق‌ها، از ویژگی‌های خاص خود برخوردارند. در این مطالعه سعی شده است به‌ویژگی‌ها و عوامل تشکیل آنها پرداخته شود، تا اقدامات پیشگیرانه و تدابیر محافظتی و اقدامات اتخاذ شده به منظور کند نمودن رشد آنها، متناسب با عوامل تاثیرگذار و ویژگی‌های آنها صورت گیرد.

موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و لیتولوژیکی محدوده‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در شمال غرب ایران و در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۸°/۱۵p تا ۳۸°/۳۰p عرض شمالی و ۴۷/°۰۰p تا ۴۷/°۳۸p طول شرقی، بین اهر و مشکین‌شهر گسترده شده است. بلندترین نقطه‌ی ارتفاعی آن قوشه داغ با ارتفاع ۳۱۴۹ متر می‌باشد که دامنه‌های آن در بخش شرقی به سبلان می‌پیوندد (شکل۱). توپوگرافی منطقه ازتنوع خاصی برخوردار می‌باشد، که این تنوع، مدیون ساختار زمین‌شناسی، فعالیت‌های تکتونیکی و پشت‌سر گذاشتن دوره‌های مختلف اقلیمی است.

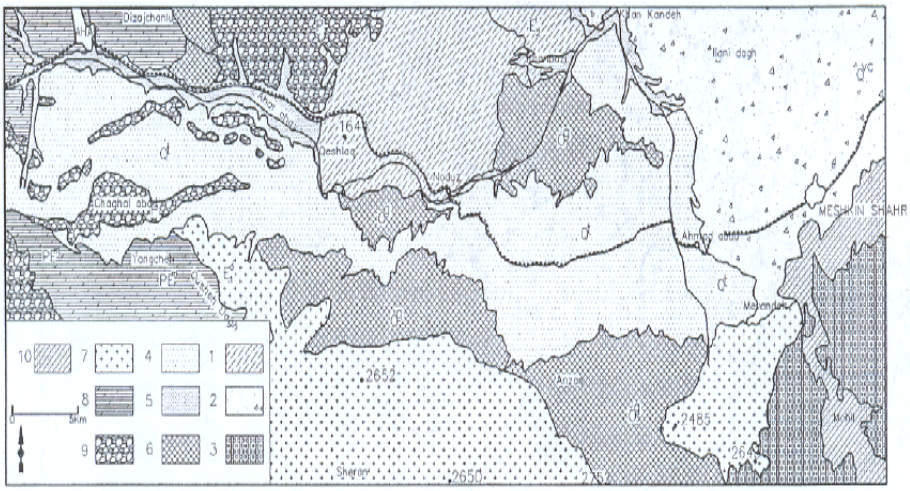
سازندهای سطحی که محل و بستر تشکیل خندق‌ها محسوب می‌شود، با عنایت به دوره و مواد تشکیل‌دهنده‌ی آنها، از ویژگی‌های خاصی برخوردار هستند. برونزدهای سنگی منطقه، شامل سنگ‌های آذرین و رسوبات دوره‌ی پالئوسن می‌باشند. سنگ‌های آذرین مربوط به پالئوسن، ائوسن در یک محیط دریایی تشکیل گردیده‌اند و در بخش‌هایی از منطقه به صورت گدازه‌های بازیک، همراه با مواد آذر آواری با لایه‌بندی مشخص ظاهر شده‌اند. واحدهای آهکی که در غرب منطقه و کوه قوشه‌داغ برونزد نموده‌اند، از ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده (۲۰۰ متر) و از واحدهای رسوبی مربوط به کرتاسه محسوب می‌شوند. در بخش فوقانی واحدهای یادشده، می‌توان شاهد مارن‌ها و شیل‌هایی بود که حاصل فعالیت شدید فرآیندهای فرسایشی در دوره‌های گذشته هستند. در شرایط کنونی وقوع پدیده‌های مختلفی از جمله لغزش‌های بزرگ و کوچک و تشکیل خندق‌های متعدد در روی این سازندها رخ می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محدوده‌ی مورد مطالعه

رسوبات اوایل کواترنر که عمدتاً متشکل از کنگلومراها می‌باشند، به‌سهولت، توسط چینه‌بندی ناجور و شکل هموار قابل تشخیص هستند و اغلب در دره‌ها و فرورفتگی‌ها را سبب شده‌اند. در کف خندق‌های عمیق منطقه، که اغلب در روی تراس‌های قدیمی تشکیل شده‌اند، می‌توان شاهد رخنمون رسوبات مذکور بود (شکل ۲).

آبرفت‌های قدیمی منطقه ناشی از تغییرات اقلیمی بعد از پلیستوسن، از ضخامت قابل ملاحظه‌ای برخوردارند (در حدود۱۰۰ متر) و تا کناره دامنه‌ها و گاه تا ارتفاعات بالا گسترده شده‌اند.آبرفت‌های مذکور به لحاظ ویژگی‌هایی که دارند و به جهت اینکه هنوز هم به استحکام کامل نرسیده‌اند، زمینه‌ی مساعدی را برای وقوع لغزش‌ها و تشکیل خندق‌های منطقه فراهم ساخته‌اند.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی دامنه‌های شمال غربی سبلان و دامنه‌های شمال شرقی قوشه داغ (بین اهر و مشکین‌شهر) اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۲۵۰۰۰۰ :۱ اهر سازمان زمین‌شناسی کشور

در این شکل ۱-لاتیت ایگنمبریت ائوسن ۲-لاهار وکنگلومراهای کواترنر ۳- تراکی آندزیت‌ها وگدازه‌های قدیمی سبلان (کواترنر) ۴-آبرفت‌های قدیمی (کواترنر ۵-آبرفت‌های جدید ۶-گرانیت ۷-بازالت‌های ائوسن ۸-آهک، مارن و ماسه‌سنگ پالئوسن ۹- کنگلومرا و سنگ‌های سیلتی پلیوسن ۱۰-برش وایگنمبریت‌های کواترنر

منطقه‌ی مورد مطالعه، توسط رودخانه اهر و قره‌سو زهکشی می‌شود و از نظر اقلیمی نیز جزو نواحی نیمه‌خشک (با متوسط بارندگی ۳۵۰ میلی‌متر در سال) محسوب می‌شود. نزدیک به نیمی از بارندگی منطقه در فصل بهار نازل می‌شود. بارندگی‌هایی که در اواخر بهار، در سایش سطوح شیب‌دار نقش اساسی ایفا می‌کنند .

محدوده‌ی مورد مطالعه به عنوان یکی از مراتع غنی کشور همه‌ساله پذیرای ایلات کوچ‌نشین شمال آذربایجان است که برای چرای دام‌های خود به این محل کوچ می‌کنند. چرای مفرط و عبور دام‌ها از محل‌های کشت و گاه آتش‌سوزی توسط چوپانان، دامنه‌ها را سخت آشفته و زمینه را برای تشکیل خندق‌ها، مساعد نموده است. محصولات کشاورزی منطقه عمدتاً عدس، لوبیا و جو است که کشت این محصولات، به لحاظ عدم‌رعایت اصول شخم و کشت در مناطق کوهستانی، نقش عمده‌ای در توسعه‌ی خندق‌ها داشته است.

مواد و روش‌ها

بررسی خندق‌ها به لحاظ ویژگی‌هایی که دارند، باید به صورت کمّی وکیفی صورت گیرد. با این منطق، ابتدا ویژگی‌های خندق‌های منطقه در طی مشاهدات میدانی و بررسی عکس‌های هوایی تعیین گشته و ویژگی‌های ظاهری آنها و در مرحله بعدی، علل توسعه آنها مورد مطالعه

قرار گرفته است. برای بررسی استعداد بستر تشکیل خندق‌ها به وقوع این اشکال، نمونه‌هایی از خاک منطقه، بویژه در محدوده‌هایی که خندق‌های بزرگ تشکیل شده بودند، به آزمایشگاه منتقل ودرصد مواد تشکیل‌دهنده‌ی آنها مشخص شده است. برای بررسی کمّی خندق‌ها، داده‌هایی در مورد عمق، طول و سایر پارامترهای احتمالی تأثیرگذار در پیشروی خندق‌ها از روی عکس‌های هوایی ۵۰۰۰۰ :۱ و۲۵۰۰۰ :۱ و نقشه‌های توپوگرافی، جمع‌آوری واستخراج شده و تحلیل‌های کمّی بر روی این داده‌ها صورت گرفته است. در این تحلیل‌های کمّی، به مساحت زیرحوضه‌ها و شیب، به عنوان دو مؤلفه‌ی اصلی، توجه و تأکید شده و از طریق روابط ارایه شده، نقش این دو پارامتر در تعیین آستانه‌های لازم برای تشکیل خندق‌ها مورد بررسی واقع شده است. سپس میزان و سهم تأثیر برخی از مؤلفه‌ها بر روی طویل شدن خندق‌ها از طریق تحلیل‌های رگرسیونی، تعیین و مدل نهایی ارایه شده و سپس صحّت مدل، به اثبات رسیده است.

در تشکیل برخی از خندق‌های منطقه و در متفاوت شدن شکل آنها، علاوه بر نقش عوامل توپوگرافی، عوامل دیگری نیز مانند نوع، بافت و ضخامت مواد سازنده بستر تشکیل خندق‌ها نقش دارند. سعی شده است که در این مطالعه به برخی از سؤالات مطرح و همچنین میزان نقش بعضی از عوامل نیز، با تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک و همچنین بازدیدهای میدانی، توجه و پاسخ داده شود.

بحث

خندق‌ها به تغییراتی که در محدوده‌های کوهستانی صورت می‌گیرد، بسیار حساس هستند. این اشکال خطی در اثر عوامل مختلفی تشکیل و توسعه می‌یابند و در تشکیل آنها، ویژگی‌های منطقه‌ای و محلی تأثیر می‌گذارند، بنابراین، باید علاوه بر توجه به نقش تغییرات رخ داده در سطح منطقه‌ای، به تغییرات در ویژگی‌های محلی، در سطح یک زیرحوضه و حتی در محدوده‌ی یک زمین کشت شده، که در زیر آن خندق تشکیل شده است، توجه شود. با این منطق، هرخندق، ویژگی خاص خود را دارد و تحت تأثیر عامل ویژه‌ای تشکیل و توسعه می‌یابد. به همین دلیل باید ابتدا ویژگی‌های خندق‌های منطقه بررسی و با استناد به این ویژگی‌ها و داده‌های جمع‌آوری شده، چنین اشکالی از ابعاد مختلف، تحلیل و عوامل تشکیل‌دهنده‌ی آنها بررسی شود.

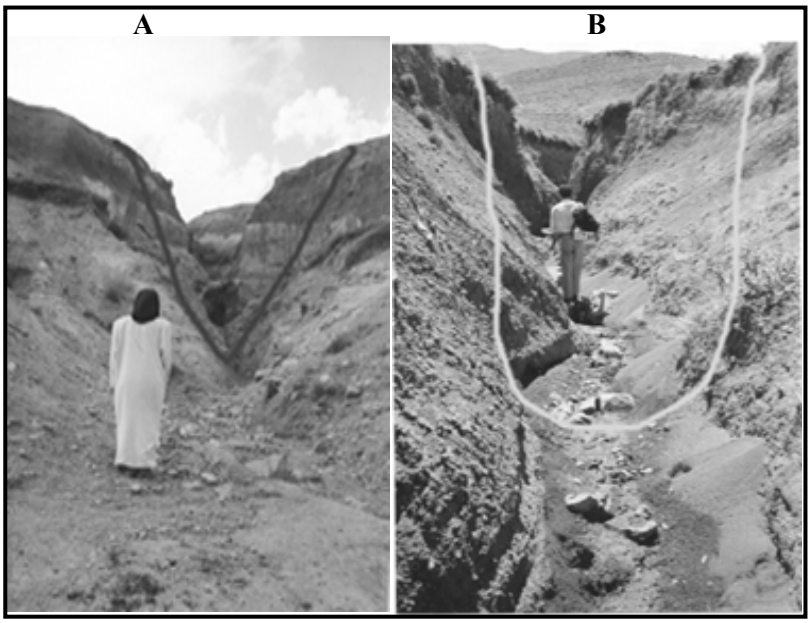
ویژگی‌های مورفولوژیکی خندق‌های منطقه

مقطع عرضی خندق‌ها، همواره ملاک بسیار مناسبی برای تقسیم‌بندی و بررسی ویژگی‌های خندق‌های منطقه محسوب می‌شود. بطور کلی ملاک تمایز آبکندها از خندق‌ها، وسعت مقطع عرضی آنها است. به عبارت دیگر زمانی که وسعت مقطع عرضی اشکال خطی از ۰/۱ متر مربع تجاوز نماید، می‌توان به شکل پدید آمده، خندق اطلاق نمود *(Vanwalleghem,2005:381)*. علاوه بر وسعت مقطع عرضی، شکل آن نیز در بررسی‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خندق‌ها از نظر شکل مقطع عرضی به خندق‌های U و خندق‌های V شکل تقسیم می‌شوند. ویژگی‌های مواد بستر تشکیل خندق‌ها، نحوه جریان آب‌های جاری در بستر آنها و شکل و وسعت حوضه‌ی بالادست خندق‌ها، تعیین‌کننده‌ی شکل مقطع عرضی چنین پدیده‌هایی است. با عنایت به تنوع در عوامل تأثیرگذار در زایش و توسعه خندق‌ها، شکل پدیده‌های مذکور بسیار متنوع است.

در محدوده‌ی مورد مطالعه، خندق‌هایی که در روی مواد دانه‌ریز و نسبتاً سفت شده تشکیل شده‌اند، اغلب به صورت خطی توسعه می‌یابند و مقطع عرضی آنها بسته به نوع لایه‌هایی که آنها را برش داده‌اند، ممکن است U وV شکل باشد. در بخش‌هایی که افق‌های پایین خاک، سنگ مادر و یا لایه‌های رسوبی سفت شده است و شیب دامنه‌ها نیز زیاد باشد، اغلب خندق‌ها V شکل هستند (شکل ۳، A). زمانی که شیب دامنه‌ها نسبتاً کم و آب‌های جاری موقتی در خندق‌ها فرصت جابجایی در کفخندق‌ها را دارا باشند، مقطع عرضی خندق‌ها به شکل U خواهد بود (شکل۳، B). اغلب خندق‌های V شکل در بخش‌های بالایی دامنه‌ها توسعه یافته‌اند. در حالی‌که خندق‌های U شکل در محدوده پایینی دشت‌های سیلابی وکمرکش دامنه‌ها تشکیل شده‌اند. نحوه‌ی ورود و هدایت آب‌های سطحی به داخل خندق‌ها، سمت و جهت رشد آنها را مشخص می‌کنند. جهت و یا جهات هجوم خندق‌ها به طرف دامنه‌ها، خندق‌های یک سر و یا چند سر را به وجود می‌آورد (شکل ۳ و ۴ و ۵).

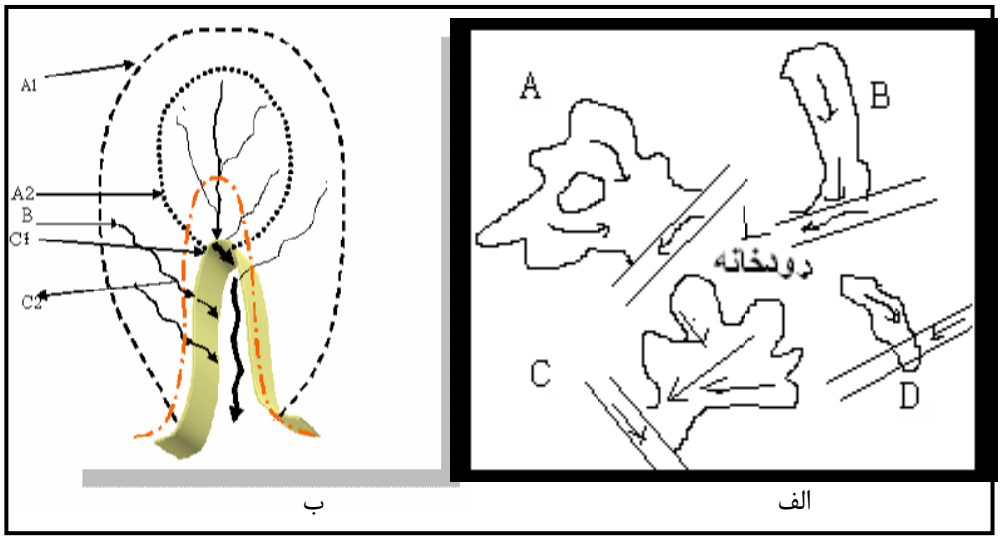
همان‌طورکه ذکر شد، شکل و وسعت حوضه‌ی بالادست هر خندق، در تعیین وسعت و شکل مقطع عرضی آن مؤثر است. زمانی که حوضه‌ی بالای سرخندق به شکل دایره‌ای باشد و تمامی آب‌های سطحی از بخش سر به آن وارد گردد، رشد خندق‌ها از یک جهت و به عبارت بهتر از بخش ورود آب‌های سطحی تمرکز یافته، صورت می‌گیرد. اما زمانی که حوضه‌ی بالادست خندق کشیده وآب‌های سطحی از دیواره‌های جانبی وارد آن شوند، خندق‌ها از جوانب گسترش می‌یابند و در اثر تکرار عمل ورود آب‌های سطحی، دیواره‌ها فرو ریخته و خندق‌ها از چند جهت رشد می‌یابند. همچنین در بخش‌هایی از منطقه که زیر حوضه‌ها بالایی از دو جهت متفاوت آب‌های سطحی را برای یک خندق جمع‌آوری می‌کنند، خندق‌های چند سر تشکیل یافته‌اند. در بخش‌هایی از منطقه که عامل تشکیل خندق‌ها، خروج آب‌های

زیرقشری است، خندق‌ها از چند جهت رشد یافته‌اند. این نوع خندق‌های منطقه، از نوع خندق‌های بسیار خطرناک محسوب می‌شوند و سالانه حجم زیادی را وارد رودخانه‌ها می‌سازند. در منطقه خندق‌هایی نیز وجود دارد که در اثر نشست تکه‌های برفی تشکیل گردیده‌اند و می‌گردند که اغلب آنها در این منطقه از نوع چند سر هستند (شکل۴ الف ,A).

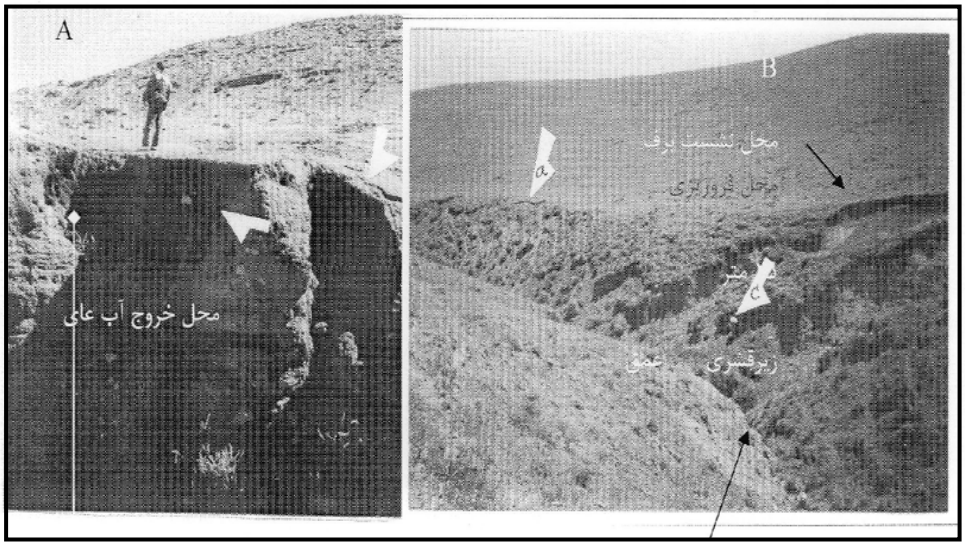


شکل ۳: (A) خندق V شکل چند سر که در اثر خروج آب‌های زیر قشری تشکیل و توسعه یافته‌اند (نزدیک روستای افیل مشکین شهر و(B) خندق U شکل یک سر که در اثر تمرکز آب‌های سطحی تشکیل یافته است (نزدیکی اهر)

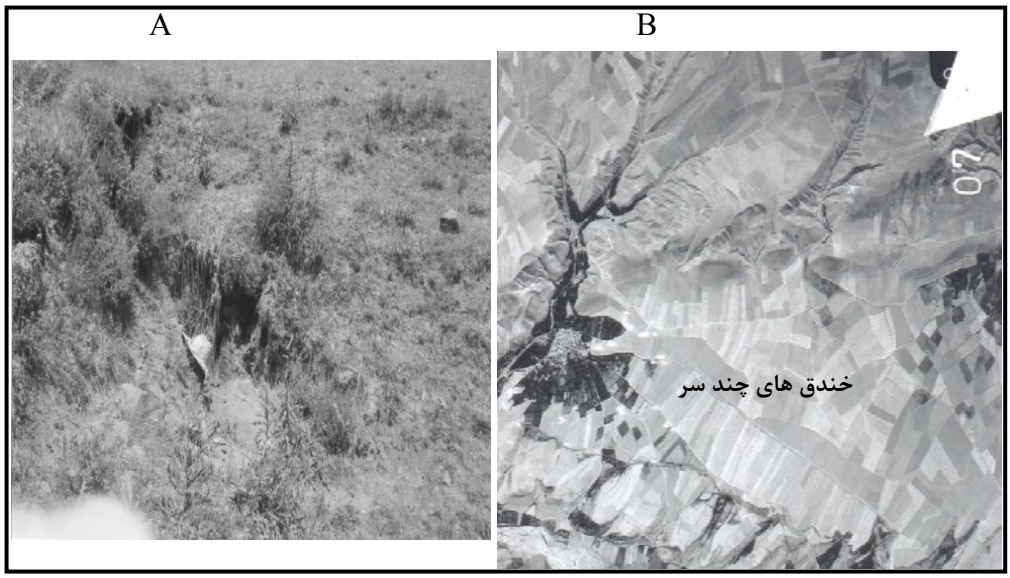
با توجه به مشاهدات میدانی و بررسی عکس‌های هوایی (شکل‌های ۵ و۶ و۷)، می‌توان گفت که از نظر شکل و عامل زایش، خندق‌ها به اشکال متنوع تشکیل و با سرعت‌های متنوع جا به جا می‌شوند و با تشکیل آنها در پای مزارع و یا در کناره جاده‌ها، علاوه بر وارد آوردن خسارت به مزارع و جاده‌ها، از طریق توسعه‌ی سرخندق‌ها، موجب وارد شدن انبوهی از مواد رسوبی به آب‌های جاری می‌گردند.



شکل۴: الف) اشکال مختلف ازخندق‌های منطقه که در کناره‌ی دیواره‌ی دره و مشرف به رودخانه تشکیل یافته‌اند و یا در پای جاده‌ها شکل گرفته‌اند؛ ب) نحوه ورود آب‌های سطحی از دو زیرحوضه در اطراف خندق و نقش آنها در گسترش ابعاد آن



شکل ۵: (A) تشکیل خندق بسیار بزرگ چند سر که از جهات مختلف دامنه را مورد هجوم خود قرار داده و (B) تشکیل خندق چند سر در اثر نشست تکه‌های برفی



شکل۶: (A) ایجاد خندق در پای زمین‌های کشت شده؛ (B) پیشروی خندق‌های تشکیل شده به زمین‌های کشت شده

تحلیل تأثیر شیب و مساحت زیرحوضه‌ها در توسعه‌ی خندق‌ها

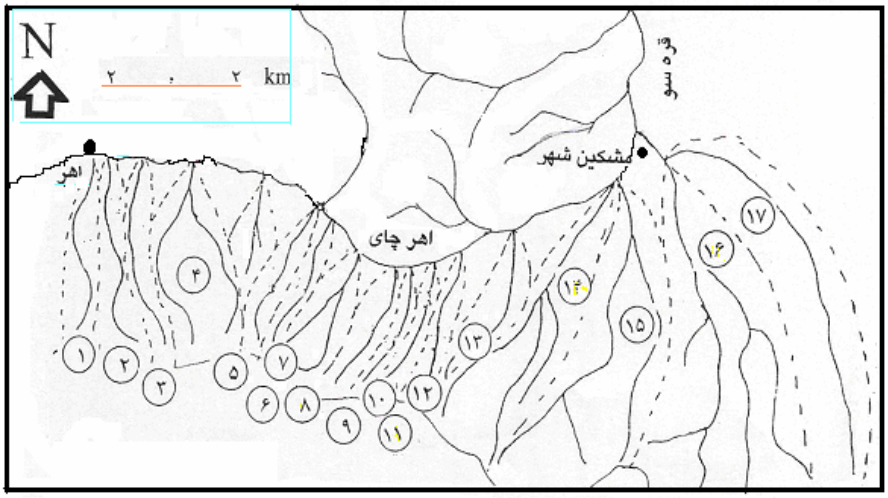
بیشتر محققین نقش عوامل توپوگرافی را در توسعه‌ی خندق‌ها مورد توجه و تأکید قرار داده‌اند و در این مورد، با اندازه‌گیری شیب دامنه‌ها (s) و مساحت حوضه زهکشی (A) و با به‌کارگیری داده‌های این دو پارامتر مهم، آستانه‌ی وقوع خندق‌ها را تعیین و رشد آنها را پیش‌بینی نموده‌اند *(Chaplot,2005:3)*.

در واقع محدوده‌ی حوضه‌های‌زهکشی، به‌عنوان تعیین‌کننده‌ی مقدار آب و مشخص‌کننده‌ی جهت جریان، نقش عمده‌ای را در توسعه‌ی اشکال خطی در نواحی کوهستانی بازی می‌کنند. به همین دلیل، در اغلب تحقیقاتی که در زمینه‌ی علل زایش خندق‌ها صورت می‌گیرد، از این دو پارامتر به عنوان عوامل اصلی، بهره‌گیری می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که رابطه‌ی شیب و مساحت زیرحوضه‌ها در محدوده‌ی تشکیل خندق‌ها، به‌صورت رابطه‌ی توانی($S=aA^b$) است و دارای ضرایب ثابتی می‌باشد. ضرایب ثابت این توابع در بیشتر کشورهای دنیا با توجه به ویژگی‌های محلی، متفاوت است. به عنوان مثال، ضرایب این توابع در چین به صورت $S=0.1839A^{-0.2385}$، *(Valentin et al,2005:138)* و برای بخش‌هایی از بلژیک $S=0.25A^{-0.4}$ است می‌باشد *(Vanwalleghem,2005:13)*.

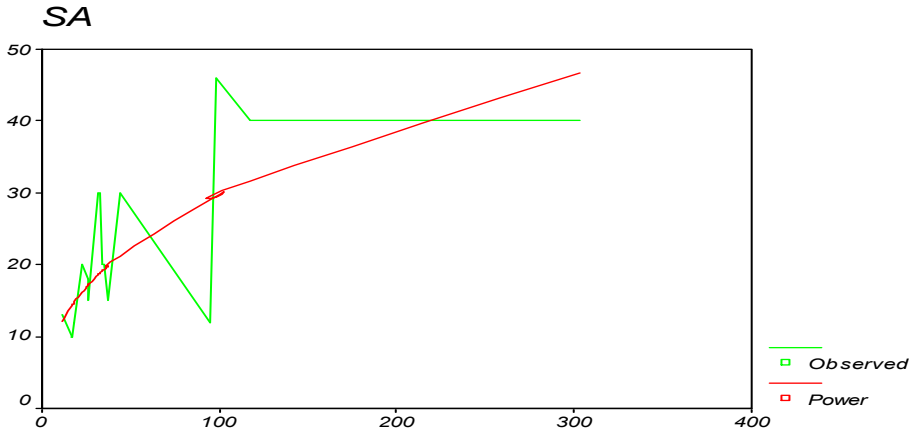
در بررسی خندق‌های منطقه، سعی شد رابطه‌ی این دو پارامتر مورد تجزیه و تحلیل واقع شود و مقادیر به‌دست آمده، با مقادیر و یا به عبارت بهتر، با ضرایب به‌دست آمده توسط

محققین در مناطق مختلف دیگر، مقایسه گردد. به همین دلیل، در محدوده‌ی مورد مطالعه، برای بررسی رابطه‌ی شیب و مساحت زیرحوضه‌ها، منطقه‌ی اهر – مشکین‌شهر، به ۱۷ زیرحوضه‌ی مجزا تقسیم‌بندی شده (شکل ۷ و ۸) شیب و مساحت زیرحوضه‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه، محاسبه و رابطه‌ی آنها مورد بررسی قرار گرفته (شکل ۷ و جدول ۱) و در نهایت رابطه‌ی زیر به‌دست آمده است.

رابطه (۱) $S=0.407A^{4.54857}$



شکل۷: تقسیم‌بندی محدوده‌ی اهر – مشکین‌شهر به ۱۷ زیرحوضه‌ی کوچک



شکل۸: رابطه‌ی شیب ومساحت زیر حوضه های زهکشی با توان توانی در محدوده‌ی اهر–مشکین شهر

علاوه بر در نظرگرفتن رابطه‌ی توانی شیب و مساحت زیرحوضه‌ها، رابطه‌ی AS^2 نیز از سوی محققین مطرح گردیده که طبق این رابطه، آستانه‌ها، بین ۸۱۴ و ۴۱ تعیین شده است (یعنی زمانی که عدد حاصل از محاسبه بین دو رقم مذکور قرار گیرند، محدوده‌ی مورد نظر، مستعد به زایش خندق‌ها است). آستانه‌ی تعیین شده‌ی مذکور مورد توافق همه محققین نیست، از دیدگاه محققین دیگر(*Montgomery and Dietrich, 1992* به نقل از*Valentin et al ,2005:13*) این مقادیر باید بین ۴۰۰۰ و ۵۰۰ کیلومتر تعیین گردد. مقادیر حاصل از رابطه‌ی فوق برای محدوده‌ی مورد مطالعه، محاسبه و در جدول ۲ درج گردیده است. مقادیر محاسبه شده، نشان می‌دهد که برخی از زیرحوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از روابط یاد شده، محدوده‌های مساعد برای تشکیل خندق‌ها محسوب می‌شوند.

به عقیده‌ی چاپلوت *(Chaplot,2005:3)* زمانی که جریانات سطحی و جریانات تمرکز یافته، مکانیسم اصلی در تشکیل اشکال خطی در نواحی کوهستانی است، آستانه ها برای زایش اشکال خطی، بویژه خندق‌ها، باید بین $S*A>18$ و $S*A^{0.4}>0.72$ در نظرگرفته شوند. در مناطقی که جریانات اشباع شده سطحی (نه جریانات حاصل از رگبارهای ناگهانی) عوامل و آستانه‌ی تعیین‌کننده برای تشکیل خندق‌ها است، باید از لگاریتم نیپر حاصل دو پارامتر A,S استفاده شود. در چنین شرایطی، رابطه‌ی A,S برای تعیین آستانه‌ها، به صورت زیرخواهد بود.

رابطه (۲) $In(A/S)>6.8$

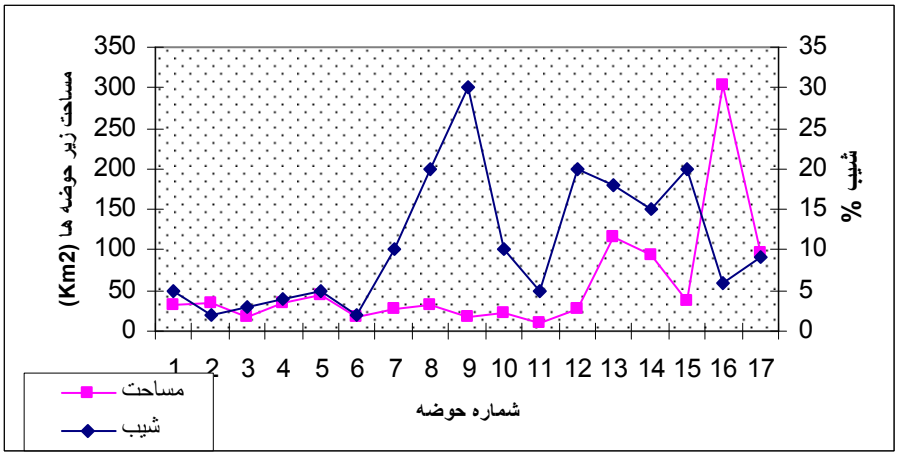
با توجه به این که خندق‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، اغلب توسط جریانات موقتی حاصل از رگبارها تشکیل و توسعه می‌یابند، مقادیر تعیین شده طبق رابطه‌ی ۲، به منظور تعیین آستانه‌های لازم برای تشکیل خندق‌های منطقه، ازحد لازم کمتر است (جدول۱).

اگر در تعیین آستانه‌ها، صرفاً مقدار شیب مد نظر باشد، به عقیده‌ی محققان، باید مقدار شیب ۴٪ به عنوان آستانه‌ی شروع سایش خندقی تعیین گردد *(Chaplot,2005:3)*. یعنی شیب‌های بالاتر از ۴٪ صرفاً به عنوان شیب‌های مساعد برای هدایت و تمرکزآب‌های سطحی، در نظرگرفته شود.

بیش از نیمی از خندق‌های کم عمق منطقه (با عمق بین ۲ – ۰/۳ متر)، در محدوده‌های پایین و میانی دامنه‌ها و در محدوده‌هایی با شیب بین ۱۵ و۲۰ درصد، تشکیل گردیده‌اند. خندق‌های عمیق (با عمق بیشتر از ۲ متر) در بخش‌های بالادست که شیبی بیش از ۲۰ درصد را دارند، پدید آمده‌اند.

جدول ۱: روابط مساحت وشیب با استفاده از روابط ۱ و۲ در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

$A(Km^2)$	S%	S.A	In(A/S)>6.8	$S.A^{0.4}$	$A.S^2$
۳۲,۷۵	۵	۱۶۳,۷۵	۱,۸۸	۷,۶۸	۸۱۸,۷۵
۳۳,۴۷	۲	۶۶,۹۴	۲,۸۱	۵,۳۷	۱۳۳,۸۸
۱۷,۳۲	۳	۵۱,۹۶	۱,۷۵	۴,۸۵	۱۵۵,۸۸
۳۴,۸۵	۴	۱۳۹,۴	۲,۱۶	۷,۲	۵۵۷,۶
۴۳,۶۵	۵	۲۱۸,۲۵	۲,۱۶	۸,۶	۱۰۹۱,۲۵
۱۶,۵	۲	۳۳	۲,۱۱	۴,۰۴	۶۶
۲۶,۲۷	۱۰	۱۶۲,۷	۰,۹۶	۷,۶۶	۲۶۲۷
۳۱,۵۷	۲۰	۶۳۱,۴	۰,۴۵	۱۳,۱۸	۱۲۶۲۸
۱۷,۸۵	۳۰	۵۳۵,۵	۰,۵۱۹-	۱۲,۳۴	۱۶۰۶۵
۲۲,۲	۱۰	۲۲۰,۲	۰,۷۹	۸,۶۵	۲۲۲۰
۱۰,۹۲	۵	۵۴,۶	۰,۷۸	۴,۹۵	۲۷۳
۲۶,۲	۲۰	۵۲۴	۰,۲۷	۱۲,۲۳	۱۰۴۸۰
۱۱۶,۷	۱۸	۲۱۰۰,۶	۱,۸۷	۲۱,۳۲	۳۷۸۱۰,۸
۹۴,۷	۱۵	۹۴,۸	۱,۸۴	۶,۱۷	۲۱۳۳۰
۳۷	۲۰	۷۴۰	۰,۶۱	۱۴,۰۵	۱۴۸۰۰
۳۰۳	۶	۱۸۱۸	۳,۹۲	۲۰,۱۳	۱۰۹۰۸
۹۸,۱	۹	۸۸۲,۹	۲,۴	۱۵,۰۸	۷۹۴۶,۱



شکل۹: رابطه شیب و مساحت زیرحوضه‌ها در ۱۷ زیر حوضه‌ی مختلف منطقه

نقش عوامل توپوگرافی در طویل شدن خندق‌ها

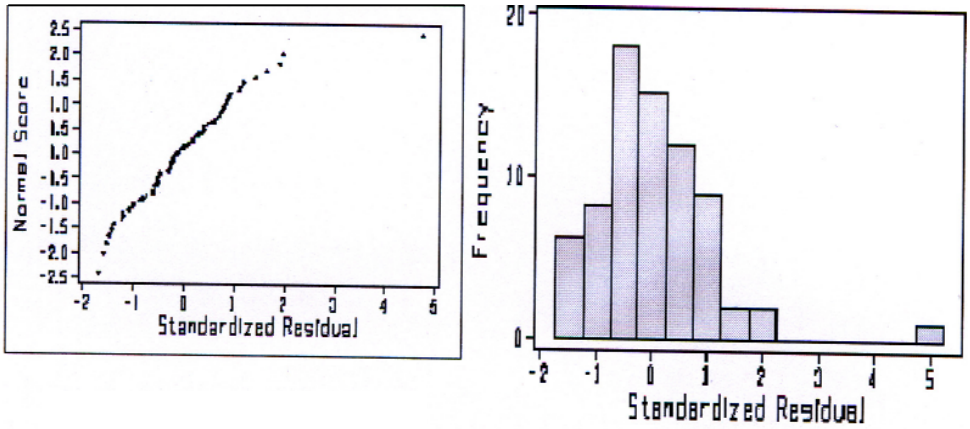
علاوه بر دو پارامتر شیب و مساحت حوضه، می‌توان با استفاده از پارامترهـای دیگـر، نظیـر طول دامنه،شیب دامنه، فاصله‌ی سرخندق ازخط‌الراس و... خندق‌ها را بررسی نمود و آنها را بـا طول خندق‌ها - به‌عنوان یک مؤلفه‌ی مهم در بررسی رشد خندق‌ها- مرتبط دانست (جـدول۱) و به نتایج ارزنده ای در رابطه با میزان رشد خندق‌ها دست یافت. با این استدلال و توجیه برای بررسی خندق‌های منطقه، ۷۳ مورد از خندق‌های منطقه انتخاب شد و پارامترهـای توپـوگرافی با تأثیر احتمالی‌در خندق‌ها جمع‌آوری گردید (جدول۲) و تجزیه و تحلیل‌های آماری، در مورد آنها صورت گرفت. بررسی و تحلیل متغیّرها، با استفاده از رگرسیون خطی نشان می‌دهد که در بین متغیّرهای مورد تحلیل، طول دامنه (LS) با ضریب تبیـین ۰٫۵۳ در مرحلـه‌ی نخـست بـا طول خندق و در مرحله‌ی دوم با اختلاف ارتفاع (RL) برازش شده است. بنابراین، با توجـه بـه نقش این دو مؤلفه در رشد طول خندق‌ها و با توجه بـه نتـایج حاصـل از تحلیـل‌هـای آمـاری (رگرسیون خطی، روش مرحله‌ای) می‌توان مدل نهایی را به صورت زیر نوشت.

مدل (۱) $LG=9.255+0.324LS+0.569RL$

برای اطمینان از صحّت مدل ارایه شده، نرمال بودن مانده‌ها بررسی و استقلال مانده‌هـا بـه اثبات رسیده است. مطابق شکل۱۰، الف و ب)، مقادیر احتمال تجمعی مورد انتظار مانده‌ها، بـه مقادیر متناظر نرمال نزدیک هستند (به غیر از یک مورد نهایی). بنـابراین فـرض نرمـال بـودن مانده‌ها رد نمی‌شود. همچنین شکل ۱۱، رابطه‌ی خطی میان‌متغیرها را نشان می‌دهد کـه ایـن امر، حاکی از اثر مستقل متغیرها بر روی متغیر وابسته است (شکل۱۱، ب). بنابراین، بـا توجـه به موارد مذکور و شکل ۱۱ الف و ب، مدل ارایه شده از صحّت لازم برخوردار است.

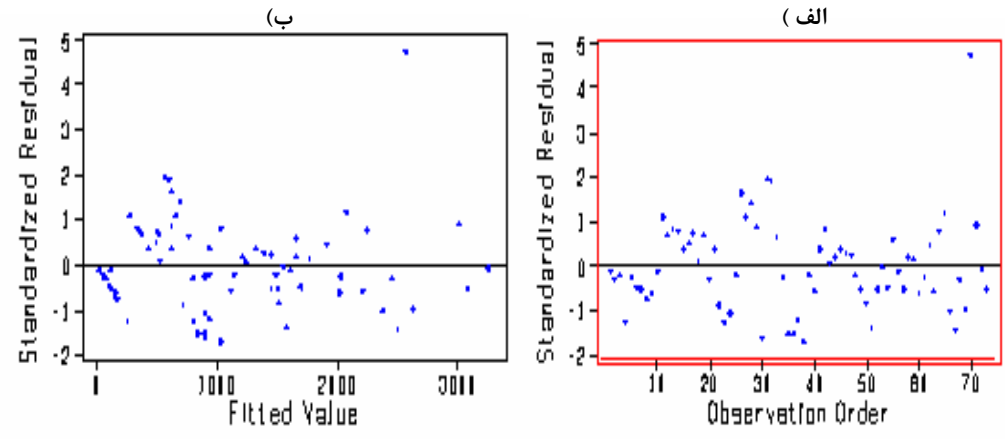
جدول۲: فرکانس وقوع خندق ها در رابطه با مؤلفه‌های مختلف

شیب دامنه S		طول خندق LG		فاصله‌ی سر خندق از خط الراس DD		طول دامنه LS		اختلاف ارتفاع RL	
تعداد خندق	طبقه شیب	تعداد خندق	طبقه طول خندق	تعداد خندق	طبقه فاصله سرخندق از خطالراس	تعداد خندق	طبقه طول دامنه	تعداد خندق	طبقه اختلاف ارتفاع
۸	۰-۱۰	۱۰	۰-۵۰۰	۱۲	۰-۵۰۰	۱۴	۰-۵۰۰	۲	۰-۱۰۰
۳۰	۱۰-۲۰	۲۸	-۱۰۰۰	۹	-۱۰۰۰	۲۴	-۱۰۰۰	۳۲	-۲۰۰
۱۵	۲۰-۳۰	۱۴	۵۰۰	۱۲	۵۰۰	۱۶	۵۰۰	۲۵	۱۰۰
۹	۳۰-۴۰	۸	-۱۵۰۰	۱۰	-۱۵۰۰	۱۲	-۱۵۰۰	۳	-۲۰۰
۲	۴۰-۵۰	۱۰	۱۰۰۰	۷	۱۰۰۰	۲	۱۰۰۰	۲	۴۰۰
۸	۵۰-۶۰	۲	-۲۰۰۰	۵	-۲۰۰۰	۳	-۲۰۰۰	۳	-۶۰۰
۹	۶۰-۷۰	۱	۱۵۰۰	۶	۱۵۰۰	۰	۱۵۰۰	۲	۴۰۰
۱	۷۰-۸۰		-۲۵۰۰	۲	-۲۵۰۰	۱	-۲۵۰۰	۱	-۸۰۰
			۲۰۰۰	۲۰	۲۰۰۰	۱	۲۰۰۰	۱	۶۰۰
			-۳۰۰۰		-۳۰۰۰		-۳۰۰۰	۰	-۱۰۰۰
			۲۵۰۰		۲۵۰۰		۲۵۰۰	۱	۸۰۰
			-۳۵۰۰		-۳۵۰۰		-۳۵۰۰	۱	-۱۲۰۰
			۳۰۰۰		۳۰۰۰		۳۰۰۰		۱۰۰۰
					-۴۰۰۰		-۴۰۰۰		-۱۴۰۰
					۳۵۰۰		۳۵۰۰		۱۲۰۰
					-۴۵۰۰		-۴۵۰۰		-۱۶۰۰
					۴۰۰۰		۴۰۰		۱۴۰۰
									-۱۸۰۰
									۱۶۰۰
									-۲۰۰۰
									۱۸۰۰
									-۲۲۰۰
									۲۰۰۰
N = ۷۳									



شکل ۱۰: الف) توزیع نرمال ب) اثبات استقلال مانده‌ها

یکی دیگر از فرضیات مدل رگرسیون خطی بر روی مانده‌ها، ثابت بودن واریانس آنها است. بنابراین دراین رابطه نیز تحلیل‌هایی صورت گرفته است. نتایج این تحلیل‌ها نشان می‌دهد، که پراکندگی باقی مانده در اطراف خط صفر صورت گرفته است (شکل۱۱، الف و ب) که این امرحاکی از این است که مدل رگرسیون ارایه شده، معتبر است.



شکل ۱۱: اثبات ثابت بودن واریانس‌ها در مدل رگرسیون خطی

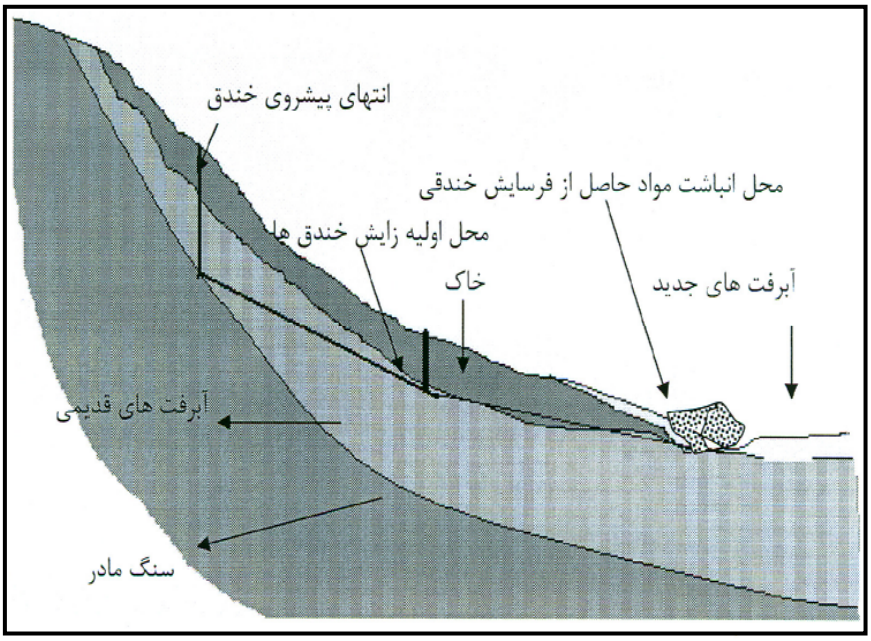
ویژگی‌های خاک و سازندهای سطحی در محدوده‌ی تشکیل خندق

عوامل توپوگرافی با وجود تعدد، یکی از مؤلفه‌های دخیل در تشکیل خندق‌ها است. ویژگی‌های بستر تشکیل خندق‌ها از نظر بافت،ضخامت لایه‌ها و... در رشد و زایش این پدیده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. با همین توجیه و با عنایت به اهمیت یاد شده، ویژگی خاک‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

دشت مشکین شهر و محدوده‌ی بین اهر و مشکین شهر، محل انباشت آبرفت‌های قدیمی به ضخامت زیاد (بیش از ۱۰۰ متر) می‌باشد. آبرفت‌های قدیمی، که حاوی مواد تخریبی حاصل از سنگ‌های آتشفشانی (عمدتاً توف) است در طول تحول خود و بعد از تشکیل در دوره کواترنر، به خاک در افق‌های بالایی آن فرصت تشکیل و تکامل داده‌اند. با عنایت به نوع و ضخامت افق‌ها و مشخص بودن لایه‌ها در خاک‌های منطقه، می‌توان قدمت و سرگذشت آب و هوایی منطقه را نیز بازخوانی نمود. در امتداد دشت‌های آبرفتی، قدمت خاک‌ها از بالا به پایین کاهش می‌یابد. اما در بخش‌هایی از منطقه، خاک‌های دشت‌های سیلابی نسبت به خاک‌های تشکیل‌یافته در دشت‌های آبرفتی–که متشکل از آبرفت‌های قدیمی هستند–، تکامل بیشتری نشان می‌دهند *(دلال‌اوغلی،۱۳۸۳: ۷۳)*. اصولاً خاک‌ها تابعی از فرآیندهای پدولوژیک و ژئومورف

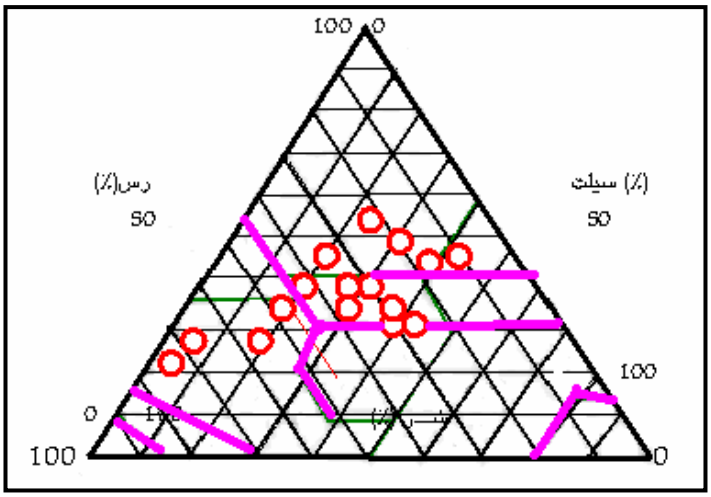
هستند و خاک‌های منطقه نیز سهم چنین عواملی را با عنایت به بافت و ضخامتی که دارند، به خوبی نشان می‌دهند. با توجه به سهم این عوامل، ویژگی‌های خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است. به همین دلیل، در بیشتر قسمت‌های محدوده‌ی مورد مطالعه، تغییراتی در نیمرخ خاک مشاهده می‌شود و نقش این تغییرات به تبعیت از رطوبت خاک،ارتفاع، فرآیندهای ژئومورفیک و.... به گونه‌های متنوع در نحوه‌ی زایش اشکال مختلف، بویژه خندق‌ها جلوه‌گر شده است. خاک‌های منطقه، عمدتاً بر روی آبرفت‌ها و سازندهای حواشی رودخانه‌ها تشکیل شده‌اند، (اینسپتی سول). این خاک‌ها بر روی آبرفت‌های قدیمی که گسترش آنها گاه تا رأس دامنه‌ها و تا ارتفاع ۱۲۴۰ و در بستری با شیب ۲/۴ درصد است، نیز تکامل یافته و دارای افق‌های,Ap B21. هستند. خاک‌های مذکور نسبتاً تکامل یافته هستند و خندق‌های عمیق و طویل بر روی آنها تشکیل شده‌اند.اغلب خندق‌ها، تمامی افق‌های خاک‌های مذکور را بریده‌اند.

علاوه بر خاک‌های مذکور، خاک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت نیز در منطقه وجود دارد که بستر مساعدی را برای تشکیل خندق‌ها فراهم ساخته‌اند. این خاک‌ها که به خاک‌های سولوم (Solum) موسوم هستند، دارای افق‌های A, B, E هستند و ضخامت آنها به ۹۵ سانتی‌متر می‌رسد. این خاک‌ها در عمق ۷۵-۹۰ سانتی‌متری، حاوی لایه‌ای از مواد آهکی هستند که حضور آنها ، تشکیل خندق‌ها را سهل‌تر نموده‌اند. پای دامنه‌ها معمولاً متشکل از خاک‌های آنتی‌سول است که از خاک‌های معدنی محسوب می‌شود.۶۰ درصد از ضخامت آنها مربوط به موادی با منشاء آتشفشانی است. این نوع خاک‌ها فاقد تکامل پروفیلی بوده و دارای افق‌های Ap C1,C2 هستند. بر روی این خاک‌ها، خندق‌هایی با منشاء زایش آب‌های زیر قشری تشکیل و توسعه یافته‌اند. در بخش پاشنه‌ی دامنه‌ها، دوباره تیپ‌های خاک اینسپتی سول است. خاک‌های این بخش، نسبتاً تکامل یافته‌اند و در برگیرنده‌ی افق‌های Ap,B2,B3 است. بعد از این بخش، محدوده‌ی دشت‌های سیلابی شروع می‌شود که محل انباشتگی مواد ناشی از سایش خندق‌ها است (شکل۱۲).



شکل ۱۲: محدوده‌ی گسترش خندق‌ها در دامنه‌های منطقه

تجزیه و تحلیل نمونه‌های آزمایش شده از محل وقوع خندق‌های نسبتاً عمیق و بزرگ، نشان می‌دهد که بیشتر خندق‌های بزرگ، بر روی سازندهایی با درصد رس و سیلت فراوان تشکیل و توسعه یافته‌اند (شکل ۱۳) که این امر احتمالاً حاکی از این است که سازندهایی با چنین درصدهایی بهترین بستر را برای رشد و توسعه‌ی خندق‌ها فراهم می‌سازند. اصولاً رسوبات آبرفتی و خاک‌های شنی و مارنی، بی‌نهایت به تشکیل خاک‌ها مساعد هستند *(Esteves et al, 2005:283)*. در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز بیش از ۹۰ درصد خندق‌های منطقه بر روی رسوبات آبرفتی تشکیل و توسعه یافته‌اند. این رسوبات در بخش‌هایی از منطقه، لایه‌های حاوی گچ و آهک است که در اثر پسروی سرخندق‌ها به طرف این لایه‌ها باعث شده است که موادگچی و آهکی در اثر شستشو به داخل آنها جاری گردند و در بخش‌هایی پایین‌تر، از غنای پوشش گیاهی منطقه بکاهند.



شکل ۱۳: پراکندگی تعدادی از خندق‌های بزرگ منطقه برروی انواع سازندها با نسبت‌های متفاوت از رس، سیلت و شن

نتیجه‌گیری

خندق‌ها از پیچیده‌ترین اشکال فرسایش خطی هستند که به محض زایش، به سرعت رشد می‌یابند. رشد و تحول این اشکال که در چندین مرحله صورت می‌گیرد، تحت عوامل کنترل‌کننده‌ی بی‌شماری رخ می‌دهد. رشد خندق‌ها در اثر این کنترل‌کننده‌ها، ممکن است سریع و یا کند صورت گیرد، اما سریع‌ترین حالات رشد خندق در مراحل اولیه‌ی تحول، که ۶۰ درصد از مساحت خندق را شامل می‌شود، رخ می‌دهد در بقیه‌ی حیات خندق، شرایط مورفولوژیک نسبتاً پایدار می‌گردد و رشد خندق، کند و حتی متوقف می‌شود.در مراحل نخست تحول، خندق‌ها به‌سرعت طویل و عمیق می‌گردند و فرسایش شدید خاک و انباشتگی مواد در پایین‌دست خندق‌ها و در دشت‌های سیلابی معمولاً در این مرحله رخ می‌دهد. بنابراین کنترل رشد خندق‌ها در این مرحله از تحول، از اهمیت زیادی برخوردار است.

خندق‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه توسط عوامل متنوع تشکیل می‌گردند و از نظر رشد، در مراحل مختلف تحول خود به‌سر می‌برند. خندق‌هایی که در پای مزارع تشکیل و توسعه می‌یابند از نظر فرسایش خاک و در اختیار قرار دادن مواد دامنه‌ای به رودهای جاری، از خطرناک‌ترین آنها محسوب می‌شوند. در زایش و رشد چنین خندق‌هایی، کشت ردیفی و شخم در جهت شیب و سفت شدن خاک‌های مسیرهای مشخصی از دامنه در اثر رفت و آمد مکرر تراکتور، که زمینه را برای تمرکز آب‌های جاری فراهم می‌سازند، نقش دارند.کشیدن جاده‌ها از کمرکش کوهستان‌ها و پاک‌شدن پوشش گیاهی دامنه‌ها در اثر چرای مفرط و آتش‌سوزی‌ها و

یا تداوم نشست برف در یکی از دیواره‌های دره‌ها، از عوامل دیگر زمینه‌ساز برای رشد و توسعه خندق‌ها محسوب می‌شوند.گذشته از علل و عوامل‌مذکور، گستردگی وضخامت زیاد آبرفت‌های قدیمی در محدوده‌ی اهر – مشکین شهر، که بهترین بستر را برای تشکیل و همچنین عمیق-تر شدن اشکال خطی، بویژه خندق‌ها فراهم می‌سازند، به پراکندگی بیشتر اشکال یاد شده کمک نموده‌اند.

علاوه بر موارد فوق، که خاص محدوده‌ی مورد مطالعه هستند، تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌ها و یا تداوم فصول خشک در طی سال در محدوده‌های نیمه‌خشک، از علل عمده پراکندگی چنین اشکالی در این محدوده‌ها هستند.

کاهش رطوبت لایه‌های سطحی خاک در طی دوره‌ی نسبتاً طولانی ماه‌های‌خشک و وقوع بارندگی‌های رگباری بر روی خاک‌های بی‌حفاظ، آبکندهای کوچک را به سرعت به خندق‌های عمیق تبدیل می‌کند. خروج آب‌های زیرقشری در پای دامنه‌ها در ماه‌هایی از سال، بویژه در ماههای بهار و پاییز به رشد بیشتر آنها به طرف دامنه‌ها وحرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای کمک می‌کنند. به همین علت است که سیلاب‌های بهاری در این مناطق، حاوی مواد رسوبی بسیار زیادی هستند که بیش از ۵۰ درصد مواد همراه آنها، موادی است که از فرسایش خندقی حاصل شده‌اند. با توجه به حجم زیادی از موادی که توسط رشد خندق‌ها وارد رودخانه‌ها می‌گردند، باید تدابیری در جهت رشد آنها اندیشیده شود. با عنایت به خاص بودن هرخندق، از نظر ویژگی‌های ظاهری و علل زایش و رشد آن، هر تدبیری در جهت کنترل رشد آن باید با توجه به علل و ویژگی‌های خندق‌ها اندیشیده شود. متأسفانه علی‌رغم پراکندگی زیاد خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه و فعال بودن چنین فرسایشی در محدوده مورد نظر، هنوز تدابیری در جهت کنترل رشد آنها صورت نپذیرفته است و با وجود این که مراتع در محدوده‌ی مذکور از مراتع غنی کشور محسوب می‌شود و با رشد چنین اشکالی از ارزش مراتع بسرعت کاسته می‌شود، هنوز خطر رشد این اشکال از سوی مسؤلین جدی گرفته نشده است.

منابع و مآخذ

۱- دلال اوغلی، علی (۱۳۸۳): *تغییرات کاتنای خاک در دشت مشکین شهر*. فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اهر. شماره ۱.

2-Chaplot,V.,G,Giboire.,P,Marchand and C, Valentin (2005) Dynamic modeling for linear erosion initiation and development under climate and land –use changes in northern Laos.Catena,In press.

3-Dotterweich, Markus (2005) High resolution reconstruction of a 1300 year old gully system in northern Bavarian,The Holocene,15,7:997-1005.

4-Esteves,M .,L,Descroix.,N, Mathys and J, M,Lapetite (2005) Soil hydraulic properties in marly gully catchment .Catena.63:282-298.

5-Renschler,C.S and J, Harbor (2002) Soil erosion assessment tools from point to regional scales-the role of geomorphologists in land management research and implementation. Geomorphology.47:189-209.

6-Santisteban,LM.,L,Casali., J, Lopez and J. Nachtergaele (2005) Exploring the role of topography in small channel erosion.Earth surface processes and landforms.30: 591-599.

7-Saynor, M. J .,W, D. Erskine.,K,G.Evans and I,Eliot(2004)Gully ignition and implication for management of scour holes in the vicinity of the Jabiluka mine,Australia.Geografiska Annaler.86:191-201.

8-Sidorchuk,Aleksey (2005) Stochastic components in the gully erosion modeling. Catena, 63:299-317.

9-vandekerckhove, L., J, Poesen., D, O. Wijdenes., G, Gyssels., L, Beuselinck and E, Luna (2000). Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments .Geomorphology.33:37-58.

10-Valentin., J.Poesen and Y, Li (2005) Gully erosion :impacts, factors and control. Catena.63:132-153.

11-Vanwalleghem, T., H, R. Bork., J,Poesen., G, Schmidtchen., M, Dotterweich., J, Nachtergaele (2005) Rapid development and infilling of a buried gully under cropland, central Belgium. Catena.In press.

12-Vanwalleghem., J, Poesen., J, Nachtergaele and G, Verstraeten.(2005). Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils. Geomorphology.69:76-91.

13-Vanwalleghem., J, Poesen., J, Nachtergaele., V, D. Eeckhaut., J, Decker and G, Verstraeten. (2005). Reconstructing rainfall and land-use conditions leading to the development of old gullies.The Holocene .15:378-386.

14-Wu,Y and H,Cheng. (2005). Monitoring of gully erosion on the Loess plateau of China using a global positioning system.Catena.In press.