بررسی فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره با استفاده از شاخص‌های اقلیمی

سعید الفتی
کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد
خدیجه مرادی
کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

چکیده
شکل‌گیری خندق‌ها همواره با فرسایش و تغییر شکل ظاهری زمین همراه است و سبب تولید میزان قابل توجهی رسوب، تخریب اراضی، جاده‌ها، شبکه‌های آبیاری و پرشدن سدها می‌گردد. یکی از عوامل بسیار تأثیرگذار در بوجود آمدن خندق‌ها شرایط اقلیمی منطقه است. مقاله حاضر به منظور بررسی وضعیت خندق‌زایی و فرسایش خندقی در حوضه آبریز رودخانه دیره شهرستان گیلان‌غرب به عنوان یکی از مراکز عمده تولید کشاورزی در استان کرمانشاه انجام گرفته است. در این راستا از ۵ شاخص اقلیمی بهره گرفته شده است. این ۵ شاخص عبارتند از ضریب هیدروترمال، ضریب Ws یا مقدار رطوبت موجود در سازندها، مدل سپاسخواه، مدل آرنولدوز و مدل دوم فورنیه. نتایج محاسبه شده ضریب هیدروترمال و Ws نشان می‌دهد دارای حساسیت بالا و استعداد بسیار قوی برای خندق‌زایی است. همچنین میانگین محاسبات سه مدل بعدی که جهت برآورد میزان رسوب تولید شده با استفاده از فاکتورهای اقلیمی صورت پذیرفت نشان داد که میزان فرسایش برای کل حوضه مورد مطالعه ۲۴۸۱۸/۲۷ تن می‌باشد که نقشی قابل توجه در خندقزایی دارد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خندقی، شاخص‌های اقلیمی، کرمانشاه، حوضه آبریز دیره

مقدمه
طبق تعریف خندق آبراهه‌ای است نسبتاً دائمی با دیواره‌های جانبی قائم که جریان‌های موقتی آب از آن می‌گذرد *(برادفورد، ۱۹۸۰: ۷۷)* فرسایش خندقی یکی از مهمترین انواع فرسایش است که موجب بروز آسیب‌ها و زیان‌های زیادی می‌گردد. به عنوان مثال این نوع از فرسایش باعث کاهش امکان تردد ماشین‌های کشاورزی و هزینه‌های اضافی مربوط به این بخش می‌شود *(سلیمان‌پور، ۱۳۸۹: ٤۲)*. همچنین شکل‌گیری خندق‌ها همواره با فرسایش و تغییر شکل ظاهری زمین همراه است و سبب تولید میزان قابل توجهی رسوب، تخریب اراضی، جاده‌ها، شبکه‌های آبیاری و پر شدن سدها می‌گردد *(جعفری‌گرزین، ۱۳۸٦ و بروکارد و کاستاچوک،۱۹۹۵)*. خندق‌ها که در بیشتر موارد شاخصه‌های عمده‌ی تغییرات محیطی در نظر گرفته می‌شوند، به لحاظ رشد سریعی که دارند از اشکال عادی فرسایش به شمار نمی‌آیند *(هث‌وایت و همکاران، ۱۹۹۰، ناخترگاله و همکاران،۲۰۰۱ ، بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۳)*. در زاگرس رخنمون سازندهای سست مانند مارن و گچ و ... و شرایط آب و هوایی (رطوبت، بارش و دما) به گسترش این نوع فرسایش کمک کرده است. بنابراین لازم است با مطالعه بر روی این نوع از فرسایش جهت پیشگیری از خطرات و جلوگیری از توسعه هر چه بیشتر آن برنامه‌ریزی لازم صورت گیرد *(مرادی، ۱۳۹۱: ۲)*.

در رابطه با فرسایش خندقی پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌گردد. کولیسون(۲۰۰۱) بر اهمیت ترک‌های کششی به عنوان یک عامل مهم ناپایداری و توسعه خندق تأکید دارد. سوفی و همکارانش(۲۰۰۲) با بررسی کرونولوژی تشکیل خندق در یک محیط جنگلی در جنوب‌شرق استرالیا نشان دادند که قطع درختان و بارندگی شدید، علت اصلی فرسایش خندقی بوده است.پوسن و همکاران (۲۰۰۳) یکی از دلایل مهم در رابطه با سرعت شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی را تغییر وضعیت و رفتار فرسایش خندقی در طول زمان دانسته‌اند. والنتین و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی با عنوان فرسایش خندقی، عوامل و کنترل براساس مطالعات میدانی انجام دادند که هدف آن بیان عوامل مؤثر در وقوع این نوع از فرسایش و تغییرات محیطی حاصل از آن بود. مرادی (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به شبیه‌سازی فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره پرداخت و نقاط مستعد فرسایش خندقی را با کمک نرم‌افزار GIS مشخص کرد. معیری و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش AHP اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره نمودند و حوضه را در ٦ طبقه پهنه‌بندی نمودند و نتیجه گرفتند بیش از ۳۸ درصد حوضه دارای خطر بالایی برای فرسایش خندقی می‌باشند. همچنین می‌توان به کارهای ازچی(۲۰۰۰)، مورگان (۲۰۰۳)، سیدروچوک و همکاران (۲۰۰۳) قدوسی (۱۳۸۲)، عاملی (۱۳۸۲)، نکویی‌مهر و امامی (۱۳۸٦) و میلادی (۱۳۹۰)، اشاره داشت. تاکنون از لحاظ فاکتورهای اقلیمی کمتر به مطالعه خندق‌ها پرداخته شده است. در این تحقیق سعی شده با استفاده از ۵ شاخص اقلیمی به بررسی وضعیت فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره که یکی از مناطق عمده کشاورزی در سطح استان کرمانشاه می‌باشد پرداخته شود.

داده‌ها و روش‌ها
موقعیت منطقه مورد مطالعه
حوضه‌ی آبریز دیره با مساحت ۱۱۳/٤۱ کیلومترمربع در غرب ایران، محدوده‌ی سیاسی استان کرمانشاه واقع می‌باشد. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۳٤/۱٤ تا ۳٤/۲۹ درجه از شمال خط استوا و بین نصف‌النهارهای ٤۵/۳۹ درجه تا ٤۵/۵٦ درجه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. شیب حوضه بین ۰ تا ٤۳/۷ درجه است.

روش کار
جهت بررسی فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد.

نقشه‌های لیتولوژی و شیب نیز در محیط ArcGIS ترسیم گردید. همچنین با استفاده از مشاهدات میدانی نسبت به شناسایی خندق‌ها اقدام شد. جهت بررسی استعداد خندق‌زایی و ویژگی‌های سازندهای منطقه از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک گیلان‌غرب، مدل‌های برآورد میزان فرسایش و رسوب استفاده شده است. برای پردازش داده‌های مورفومتری خندق‌ها و تعیین روابط همبستگی آنها جهت تفسیر و تبیین میزان تأثیرگذاری متغیرها بر همدیگر از نرم‌افزار SPSS و EXCEL استفاده شد و نمودارهای مربوطه ترسیم گردید. از نرم‌افزار ArcView نیز جهت ترسیم نقشه‌ها استفاده گردید.

بررسی‌های انجام شده از طریق عملیات میدانی، عکس‌های هوایی، نتایج تحلیل‌های کمی و بررسی نوع سازندها نشان داد که عوامل مختلفی نظیر شرایط اقلیمی، وضعیت توپوگرافی، شیب و جهت شیب و دخالت‌های انسانی در شکل‌گیری خندق‌های منطقه مؤثرند. در بین عوامل مختلف، شرایط اقلیمی بطور مستقیم و یا غیرمستقیم نقشی بسیار مؤثر در خندق‌زایی دارد. برای مشخص نمودن استعداد خندق‌زایی می‌توان از ضرایب اقلیمی متعددی استفاده نمود، که در ادامه به شرح و نتایج آنها پرداخته خواهد شد.

یافته‌های تحقیق

ضریب هیدروترمال از جمله ضرایب ساده و مهم است که در این مورد کاربرد دارد. چنانچه ضریب هیدرترمال در محدوده ۱/۲۵ تا ۲/۵ قرار گیرد این مناطق برای خندق‌زایی بسیار مستعد می‌باشند *(بیاتی‌خطیبی،۱۳۷۹: ٥٤)*.

رابطه(۱) $HTK= (ER/ET)10$

ER: مجموع بارش سالانه به میلیمتر

ET: ضریب دمایی برای ماه‌هایی از سال که دمای منطقه بیش از ۱۰ درجه سانتیگراد است.

HTK: ضریب هیدروترمال.

مقدار HTK محاسبه شده برای حوزه آبریز دیره ۲/۳ می‌باشد. بنابراین از لحاظ ضریب هیدروترمال منطقه دارای حساسیت بالا و استعداد قوی برای خندق‌زایی است. تحلیل میزان رطوبت موجود در سازندها و نوسان آن در پیدایش خندق‌های منطقه، میزان رطوبت و تغییرات آن در نتیجه تناوب فصول خشک و مرطوب عاملی بسیار مهم در بوجود آمدن شیارها و شکاف‌ها در سازندهای ریزدانه حاوی رس و سیلت و در نهایت توسعه‌ی فرسایش شیاری و پیدایش خندق‌های منطقه نقش مؤثری دارد. از جمله ضرایب دیگری که با استفاده از آن می‌توان پتانسیل خندق‌زایی منطقه را با پارامترهای اقلیمی در ارتباط گذاشت و تعیین نمود، ضریب WS یا مقدار رطوبت در سازندهای سطحی می‌باشد *(بیاتی، خطیبی، ۱۳۷۹: ٥٦ و ایلدرمی، ۱۳۸۱: ۲۱۵ و عابدینی، ۱۳۸٤: ۱۱۷)*. این ضریب بدین صورت می‌باشد که اگر میزان رطوبت موجود در سازندهای سطحی کاهش یابد به مفهوم کاهش رطوبت قابل جذب ریشه گیاهان می‌باشد. در نهایت گیاهان نمی‌توانند از مقدار رطوبت ناچیز چسبیده به ذرات خاک استفاده کنند و در نهایت پژمرده می‌گردند. تناوب فصول گرم و خشک موجب می‌شود که در فصول گرم با خشک شدن زمین و پژمردن پوشش گیاهی در سطح سازندهای ریزدانه شکاف‌هایی بوجود آید و این شکاف‌ها در زمان اولین بارش ناگهانی، محل تمرکز رواناب‌ها و پیدایش فرسایش خندقی می‌شود ***Oostwoud & et al, 2001: 911, 32; Bryan, 2000:) 375)***. از طرفی هرگونه فعالیت‌های انسانی مانند شخم زدن، چرای بی‌رویه، آتش‌سوزی موجب به هم خوردن تعادل طبیعت بویژه در فصول گرم (ماه‌هایی که WS منفی دارند) می‌شود، بنابراین کاهش یا منفی بودن WS زمانی مهم می‌شود که در منطقه پس از یک دوره خشکی در بین بارندگی‌ها و نیز بهم خوردن تعادل طبیعی زمین اولین بارندگی‌ها شروع شود *(عابدینی،۱۳۸٤: ۱۱۸)*.

ضریب WS از رابطه (۲) بدست می‌آید:

رابطه (۲) $WS= R-Rp/t$

t: درجه حرارت ماهیانه،

WS: رطوبت موجود،

R: متوسط بارش ماهیانه به میلیمتر،

Rp: ضریب مربوط به دما و از رابطه$Rp=30 (t+7)$ بدست می‌آید.

با توجه به داده‌های محاسبه شده میزان Ws یا رطوبت موجود برای ماه‌های دی، بهمن، فروردین و اردیبهشت مثبت و برای ۸ ماه دیگر سال منفی می‌باشد. بنابراین وقوع بارندگی‌ها در ماه‌های دارای Ws منفی باعث شکل‌گیری خندق می‌شود، خصوصاً بارندگی‌های اوایل فصل پاییز به دلیل آشفتگی و فقدان پوشش گیاهی، کاملاً مستعد خندق‌زایی می‌باشند. از طرفی به دلیل بارندگی‌های فروردین و به دلیل فقدان پوشش گیاهی مناسب، حالت سست و نرم بودن خاک‌ها در اثر یخبندان و ذوب در فصول سرد، از خندق‌زایی بالاتری برخوردارند.جهت پی بردن به مقدار رسوب ویژه در هکتار از فرمول‌های تجربی متفاوتی که در شرایط اقلیم کشورمان به ویژه اقلیم نیمه خشک منطقه گیلان‌غرب سازگاری و مطابقت داشته، استفاده شده است. فرمول مربوط به سپاسخواه از روی داده‌های اقلیمی ۱۱ ساله شهرستان گیلان‌غرب محاسبه شده است که به شرح زیر است.

رابطه (۳) $EI30=1/6(\sum N\ Pi/P)=^{(1/27)}1/6*33/3\ ^{1/27}=137/28$

EI30: متوسط شاخص فرسایش‌زایی سالانه باران بر حسب تن در هکتار

Pi: متوسط بارندگی ماهانه بر حسب میلیمتر

P: متوسط بارندگی سالانه به میلیمتر

N: تعداد ماه‌هایی که بارش رخ داده است

فرمول آرنلدوز نیز یکی دیگر از فرمول‌های با اهمیت جهت برآورد میزان رسوب در مناطق نیمه خشک می‌باشد که از طریق داده‌های اقلیمی محاسبه می‌گردد.

رابطه(٤) $EI30=0/302(\sum{}^{N}Pi/P)^{1/93}=0/302*33/3\ ^{1/93}=262/01$

مدل دوم فورنیه

براساس مدل دوم فورنیه میزان رسوب حاصله برای کل زیر حوضه‌های منطقه محاسبه و بطور متوسط برای کل زیرحوضه‌های منطقه نیز برآورد شده است.

رابطه(٥) $LogQs=2/65\log pw/pa + 0/6\ h^2/s-1/56=257/3\ \ Qs/t/hec$

Qs: میزان رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار

Pa: میانگین بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر

Pw: میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه سال به میلیمتر

H: متوسط ارتفاع حوضه

S:شیب متوسط حوضه (می‌توان مساحت حوضه را نیز به جای شیب منظور کرد).

بیشترین مقادیر بارندگی متوسط ماهانه منطقه مربوط به اردیبهشت ماه

حدود ۶۸/۷ میلیمتر می‌باشند اما در اردیبهشت ماه پوشش گیاهی تا حدی سطح ارتفاعات را در مقابل انرژی جنبشی فرسایش بارانی، محافظت می‌کند. غالباً بارش‌های رگباری مهرماه به دلیل کاهش اثر حفاظتی پوشش گیاهی و آشفته بودن سطح زمین توسط انسان، موجب فرسایش شدید و پیدایش جریانات گل‌آلود می‌شود. با توجه به نتایج فرمول‌های تجربی، آرنولدوس، سپاسخواه، فورنیه، میزان فرسایش زایی باران از ۱۳۷/۲۸ تا ۲۶۲/۰۱ تن در هکتار متغیر است. میانگین میزان فرسایش‌زایی باران با توجه به سه فرمول مذکور در حدود ۲۱۸/۸۳ تن در هکتار در سال می‌باشد. این امر بیانگر آن است که شدت فرسایش‌زایی زیادتر باران به ویژه در دامنه‌های رو به شمال با توجه به لیتولوژی سنگ‌های رسوبی کارستی، پوشش گیاهی و ضخامت نسبتاً بیشتر سازندهای سطحی در اثر بارش‌های رگباری اوایل پاییز است. با ضرب ۲۱۸/۸۳ مقدار رسوب ویژه در هکتار بر مساحت کل حوضه (۱۱۳/۴۱ کیلومترمربع) میزان فرسایش برای کل حوضه مورد مطالعه ۲۴۸۱۸/۲۷ تن می‌باشد که نقشی قابل توجه در خندق‌زایی دارد.

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی نقاط مستعد خندق‌زایی بر این دانش استوار است که خندق معمولاً در مکان‌های تمرکز جریان آب و رطوبت تشکیل می‌شود. ویژگی چنین مکان‌هایی مورفولوژی مقعر و تقریباً تخت می‌باشد. عوامل دیگری این ویژگی را تشدید می‌نمایند. برای مثال نوع لیتولوژی و خاک بستر مناسبی برای افزایش و یا کاهش نقش مورفولوژی زمین شکل‌ها در تمرکز خندق‌های حوضه آبریز دیره می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص‌های اقلیمی رطوبت موجود در سازندها و ضریب هیدروترمال تأییدکننده استعداد قوی خندق‌زایی حوضه مورد مطالعه می‌باشد. مدل‌های مورد استفاده در برآورد میزان رسوب حاصل از این فرسایش (سپاسخواه:۱۳۷/۲۸ تن در هکتار، آرنولدوز: ۲۶۲/۰۱ تن در هکتار، مدل دوم فورنیه:۲۵۷/۳ تن در هکتار) که از فاکتورهای اقلیمی بهره می‌گیرند با میانگین ۲۱۸/۸۳ تن در هکتار و مجموع ۲۴۸۱۸/۲۷ تن نشان‌دهنده بحرانی بودن وضعیت فرسایش خاک حوضه که یکی از دشت‌های حاصلخیز استان و مرکزی مهم در تولیدات کشاورزی به حساب می‌آید، است. به همین جهت توصیه می‌گردد با توجه به پیشنهادات زیر برنامه‌ریزی‌هایی در جهت پیشگیری و جلوگیری از فرسایش خاک و مخاطرات متعاقب آن در این حوضه صورت گیرد.

۱. کنترل و احیای خندق‌ها بوسیله حفاظت و ایجاد پوشش گیاهی منطبق با شرایط طبیعی منطقه ۲. کنترل خندق بوسیله انواع بندها (الف. بندهای موقتی: با کند کردن سرعت جریان آب و در نتیجه تشدید عمل رسوب‌گذاری مانع از این فرسایش می‌شود. ب. بندهای چوبی: با قرار دادن دو ردیف تیر چوبی در عرض خندق و قرار دادن چوب‌های ضخیم افقی بین آنها و فرو کردن در کف آبراهه ایجاد سد می‌کند. ج. بندهای سنگی: از روی هم قرار گرفتن قطعه سنگ‌های غیر متصل ساخته می‌شود و باعث عمل رسوبگذاری و همچنین تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردد. د. بندهای خاکی: در خندق‌هایی ساخته می‌شوند که حجم جریان آنها کم است. بندهای گابیونی و دائمی و ... نیز می‌تواند در کنترل این فرسایش بسیار مؤثر باشند) ۳. دادن آگاهی به کشاورزان از طرف مأمورین سازمان حفاظت محیط زیست منطقه، از لحاظ نوع و اصول کشت صحیح و جلوگیری از شخم زدن در جهت شیب دامنه‌ها ٤. اصلاح کاربری اراضی بر اساس توان طبیعی و محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی، ژئومورفولوژی، خاک و ... در منطقه.

منابع و مآخذ

– احمدی، حسن، (۱۳۸۸) ، ژئومورفولوژی کاربردی ج۱ فرسایش آبی،انتشارات دانشگاه تهران.

– بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۳)، تحلیل و بررسی نقش عوامل توپوگرافی و مورفوژنز در خندق‌زایی مطالعه موردی، دامنه‌های شمالی قوشه داغ، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش ٤۹، صص ۷۰-۵۳.

جعفری‌گرزین، بهنوش، رضاعلی دومهری، مهرداد صفایی و سیدحسن احمدیان، (۱۳۸٦)، معرفی مدل‌هایی برای پیشبینی رشد حجم خندق (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخ‌آباد مازندران)، مجله پژوهش و سازندگی، ش۷۵.صص ۱۱۷-۱۰۸.

– رضایی‌مقدم، محمدحسین، بهبودی، عبدالله، (۱۳۹۰)، کاربرد مدل EGEM در برآورد فرسایش ناشی از خندق‌های موقتی در حوضه آبریز سرندچای، مجله فضای جغرافیایی، سال یازدهم ، شماره۳۵ ، صص۱۵٤-۱۳۵.

–رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۵)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

– عابدینی، موسی، (۱۳۸٤) ، پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادیشهر از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید، مجله جغرافیا و توسعه،ش، صص ۱۱۳-۱۳۳.

– عاملی، داریوش، (۱۳۸۲)، مدل پهنه‌بندی خطر ناشی از فرسایش آبکندی در حوضه آبکند کلوچه بیجار با استفاده از GISوRS، پایان نامه کارشناسی ارشد منابع طبیعی، دانشگاه تربیت معلم.

– قدوسی، جمال، (۱۳۸۲) مدل‌سازی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن مطالعه موردی حوضه آبخیز زنجانرود، پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

–مرادی، خدیجه، (۱۳۹۱)، مدلسازی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن در حوضه آبریز دیره رودخانه الوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

– میلادی، بهزاد، (۱۳۹۰)، شبیه‌سازی مناطق مستعد فرسایش خندقی در حوضه های آبریز مرگ و رازآور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

نکویی‌مهر، محمد، امامی، سیدنعیم، (۱۳۸٦)، طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی (مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۷،صص۸٤-۹۲.

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

-C. valenti, j. Poesen,Yong. Li, (2005), gully erosion impacts, factors and control. Catena 63, 132-153.

-Collison, A. J., (2001). The sycle of instability: Stress releas and fissure flow as controls on gully head reteat. HydrologicalProcesses, 15(1), pp 3-12.

- Heathwaite,A. L., T.P ,Burt.,S, T,Trudgill, (1990), Land-use controls on sediment production in a lowland catchment, soth-west England. Soil erosion on agricultural land .John Wiley and sons LTD pp 69-86.

- Imeson, A.C. and F.J.P.M. Kwaad, (1980); Gully types and gully prediction, KNAG geografisch xiv, 5: 430-441.

- Oostwoud Wijdenes, D.J., Poesen, J., Vandekerckhove, L.,Ghesquiere, M., (2000(63 Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. Catena, 39, pp 147–167.

-Massoud Moayeri,. Amjad Maleki. Mojgan Entezari, Khadijeh Moradi, Saeed Olfati,2013, Simulation of Possibility of Gully Erosion in Catchment of Dyreh by Analytical Hierarchy Process (AHP), Journal of Basic and Applied Scientific Research,pp 1-9.

- Morgan, R. P. C., and D. Morgan Zulu, (2003); Treshold condations for initiation of valley-side gullies in the Midle Wees of Switzerland. Catena 50: 401-411.

- Nachtergaele, J., Poesen, J., Sidorchuk, A. Torri, D., (2002). Prediction of concentrated flow width in ephemeral gully channels, Hydrological Processes 16 (10), 1935– 1953.

- Posesen, J., Nachtorgale, J., Verstrac, G., (2003), Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena 50,PP 91-133.