روشهای ریاضی ارزیابی گالی

دکتر محمد حسین رامشت
دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان

لیلا گرجی
کارشناس ارشد ژئومرفولوژی، دانشگاه آزاد نجف‌آباد

دکتر مژگان انتظاری
دکتری ژئومرفولوژی، دانشگاه اصفهان

چکیده

بیش از نیم قرن است که فن آوری پیش بینی و مدل سازی فرسایش خاک به عنوان ابزار ارزشمندی در طراحی حفاظتی، طرح های مهندسی و توسعه تحقیقات به کاربرده می شود. این فن آوری در بردارنده معادلات ریاضی است که تخمین هایی از متغیرهای وابسته فرسایش (تلفات خاک، تولید ونشست رسوب) را به صورت تابعی از متغیرهای مستقل (چهارفاکتور اصلی، اقلیم، خاک، توپوگرافی ونوع کاربری) محاسبه می کنند. پارامترها در این معادلات مشتمل بر نماها وضرایبی هستند که مقادیر ارزشی متغیرهای مستقل را به عنوان بخشی از محاسبات ریاضی تعیین یا اصلاح می کنند که برخی از آنها مقادیر تجربی هستند که بر اساس داده های پایه تهیه شده اند و برخی دیگر دارای تعاریف فیزیکی مرتبط با فرایندهای فرسایش می باشند. نمادهای ریاضی و توالی منطقی از دیگر ویژگیهای مدلهای ریاضی هستند. به طور کلی مدلهای ریاضی فرسایش شامل مدلهای مشتق از رگرسیون، مدلهای شاخصه‌ای و مدلهای فرایند می باشند. در مورد فرسایش خندقی علاوه بر روشهای تجربی، چندین مدل ریاضی نیز ارائه شده است که در همه آنها قانون بقاء جرم یا معادله پیوستگی به عنوان معادله کنترل کننده می باشد. این مدلها عبارتند از: مدل دینامیک و استاتیک، مدل weep، مدل GULTEM، مدل EGEM که هر یک مربوط به نوع خاصی از گالی بوده و در شرایط خاصی کاربرد دارد. بی تردید مدلهای معرفی شده در این مقاله را نمی توان مدلهای جامع و فاقد نارسائی های احتمالی دانست. بنابراین پیشنهاد می شود بر حسب ویژگی های اقلیمی، زمین شناسی، ژئومورفولوژی و... مدل مناسب برای ارزیابی میزان فرسایش خندقی (گالی) در هر منطقه مشخص شود.

● **واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، مدلسازی ریاضی، فرسایش خندقی، فرسایش آبی، ارزیابی گالی.**

مقدمه

نکته مهم و قابل اهمیت در مدل‌های ژئومرفولوژی لزوم واقع‌نگری و پرهیز از مفروضات غیرواقع و اجتناب از کلان‌نگری و نادیده گرفتن وابستگی بین عوامل مؤثر در رخداد پدیده مورد نظر می‌باشد. راه‌حل عملی برای دستیابی به این مهم، تعریف اهداف مدل و مشخص کردن مجهولات است که پیش نیاز آن تبیین مدل مفهومی برای پدیده مورد نظر و صحت‌یابی و اعتبارسنجی آن می‌باشد. به عبارت دیگر، مادامی که مدل مفهومی برای یک پدیده ژئومرفولوژی تبیین نشود، امکان دستیابی به زیر مدل‌های ذیربط که در نهایت منجر به بیان عددی پارامترهای مؤثر در رخداد یک پدیده می‌شوند، به درستی امکان‌پذیر نمی‌تواند باشد. (Rescher, 1962, 1810) انجام این مهم مستلزم بررسی‌های گسترده و پرحجم در مقیاسهای واقعی است که امروزه در دسترس بودن اطلاعات قابل حصول از داده‌های سنجش از دور شامل عکس‌های هوایی و انواع تصاویر ماهواره‌ای به ویژه تصاویر رقومی، آن را میسر ساخته است. (Derose 1998, 1050)

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 موادی که تولید و انباشته می‌سازند، خسارات وارد نموده و با توسعه از سر و هجوم به محدوده‌های کشت شده فعالیت‌های کشت عادی را مختل کنند. این اشکال که از چشم‌اندازهای معمول در کوهستان‌های نیمه خشک محسوب می‌شوند در سرعت‌گیری رواناب‌ها بسیار مؤثر هستند. (Valentin, 2005, 138) با عنایت به سرعت توسعه سرخندق‌ها این اشکال در اغلب کشورهای نیمه خشک بخش اعظم رسوب رودخانه‌ها را تولید می‌کنند. طبق گزارشات محققین، یک خندق مجزا، می‌تواند حتی ۹۳۷۵۰ تن در کیلومتر در سال تولید نماید. (Saynor etal, 2005, 191)

این اشکال به هر علتی که پدید آیند می‌توانند بعد از شکل‌گیری بطور خطی در یک جهت رشد یابند و موجب گسیختگی مواد دامنه‌ای گردند. در تشکیل آنها علاوه از 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 و... به عنوان عوامل انسانی محسوب می‌شوند که نقش عمده‌ای در تشکیل و توسعه خندقها بازی می‌کنند.

سابقه تحقیق

اطلاعات موجود نشان می‌دهد که دیرینه تحقیق و مطالعه در مورد فرسایش خندقی به پیش از سالهای ۱۹۳۹ در ایالات متحده آمریکا برمی‌گردد. در فرانسه نیز در ۱۹۶۰ مطالعاتی در این مورد صورت گرفت. همچنین مدارک آرشیوی، روایتی در تاریخ مبین آن است که در استرالیا و نیوزلند نیز مانند آمریکا ایجاد فرسایش آبکندی پس از مهاجرت اروپائیان

شدت گرفته است. (آیلز ۱۹۷۷، ویلیام ۱۹۹۱ و گیلپسی ۱۹۸۱)

از طرفی شناسایی فرسایش گالی به عنوان یک نوع جداگانه از فرسایش برای اولین بار توسط Foster در سال ۱۹۸۶ عنوان شد. از جمله افراد دیگر که در مورد فرسایش گالی تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده‌اند می‌توان به Cook و Evans در سال ۱۹۷۱، Deploey در سال ۱۹۹۰، Covers, Poesen در سال ۱۹۹۰ Douyer, Papy در سال ۱۹۹۰، Auzet در سال ۱۹۹۵ و Iudwig در سال ۱۹۹۵ اشاره کرد. اما به رغم تمامی پژوهش‌های انجام شده به نظر می‌رسد ادامه تلاش‌های علمی به لحاظ ماهیت پیچیده فرسایش خندقی تا روشن شدن و درک ابعاد مختلف آن اجتناب‌ناپذیر باشد. در بین منابع مطالعاتی وتحقیقاتی منتشر شده در ایران، تعداد اندکی از منابع مطالعاتی واثر علمی وجود دارد که فرسایش خندقی در آنها به صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفته و یا موضوع اصلی تحقیق انجام شده، بوده باشد. (احدی ۱۳۷۴، حشمتی ۱۳۷۵، خلیلی‌پور ۱۳۷۶، کریمی ۱۳۷۷)

علل ایجاد آب‌کند یا گالی

برای بسط استراتژیهای مناسب به منظور جلوگیری از ایجاد فرسایش آبکندی، درک علل ایجاد آبکند ضروری می‌باشد. گرچه مطالعات زیادی درباره علل ایجاد آبکند انجام شده است اما هنوز به عنوان یکی از موضوعات بحث‌انگیز در بین محققین این فن مطرح است (گراف ۱۹۸۳ و صوفی ۱۹۹۷) مجموعه تحقیقات انجام شده منجر به ارایه ۳ نظریه کلی درباره علل ایجاد آبکند گردیده که عبارتنداز:

۱- تخریب اکوسیستم‌های طبیعی توسط انسان

۲- تغییرات اقلیمی

۳- تغییرات تصادفی درونی سیستم

مدارک آرشیوی در تاریخ نشان می‌دهد که در استرالیا و نیوزلند همانند آمریکا ایجاد فرسایش آبکندی پس از مهاجرت اروپائیان شدت گرفته است. (آیلز ۱۹۹۷، ویلیام ۱۹۹۱ و گیلپسی ۱۹۸۱)

کاربری اراضی از مرتع به زراعت (استار ۱۹۸۹، ملویل و ارسکین ۱۹۸۶)، تغییر وقوع سیلابهای شدید (استار، ۱۹۸۹)، چرای شدید مخصوصاً در خشکسالی‌ها (آیلز، ۱۹۷۷)، تخریب اکوسیستم بوسیله جاده‌سازی و قطع پوشش گیاهی (ملویل ۱۹۸۶، پروسه و اسلید ۱۹۹۴ و پروسه ۱۹۹۱) عوامل اصلی کنترل کننده فرسایش در این نقطه از استرالیا معرفی شده است. امروزه بسیاری از آبکندهای قدیمی تثبیت شده‌اند که عواملی مانند آگاهی از سکنه حوضه‌های آبخیز از خطرات فرسایش آبکندی، استفاده از روشهای مناسب در زراعت و چرا، مدیریت مناسب و اصلاح مراتع (آیلز ۱۹۷۷) و کاربرد اقدامات حفاظت آب و خاک (گیلپسی ۱۹۸۱) سبب کاهش فرسایش گشته است.

در اروپا، هاروی در ۱۹۹۶ از تغییر در هیدرولوژی آبخیز به دلیل تغییر پوشش گیاهی توسط انسان در قرن ۹ و ۱۰ میلادی به عنوان عامل ایجاد آبکند در انگلیس نام برده است.

بورک و همکاران در سال ۱۹۹۸ نیز از فشار بالای استفاده از اراضی و توأم شدن آن با باران‌های شدید به عنوان یکی از زیر کشت ذرت در مرکز بلژیک، فالکند در سال ۱۹۹۵ از افزایش کشت بادام بدون سکوبندی پس از تخریب پوشش گیاهی طبیعی مدیترانه در جنوب اسپانیا به عنوان عوامل اصلی ایجاد فرسایش آبکندی نام برده‌اند.

چندین محقق نظیر مونتگومری در سال ۱۹۹۴، ومپل و همکاران ۱۹۹۶ وکروک و موکلر در سال ۲۰۰۱ از تأثیر جاده‌سازی به عنوان عامل اصلی افزایش خطر ایجاد آبکند برروی شیبهای تند در اکوسیستم‌های مختلف نام برده‌اند. همچنین سه دسته عمده از تغییرات اقلیمی نیز به عنوان عامل ایجاد آبکند ارائه شده‌اند که عبارتنداز: (الف) افزایش یاکاهش رطوبت موجود به صورت بارندگی‌های بزرگتر یاکوچکتر از نرمال بلندمدت (ب) نوسانات در شدت بارندگی (ج) تغییرات تصادفی در مقدار و فراوانی باران و سیلاب.

متدها یا مدلهای ارزیابی گالی

به طور کلی مدل صورت ساده شده‌ای از یک سامانه و یک قسمت محدود شده از واقعیت عینی می‌باشد که دربرگیرنده عناصر درونی و روابط بین آنهاست (witt Rabblinge، ۱۹۸۹) از آنجاکه خندق‌های طبیعی اثر به جا مانده از عملکرد فرسایش خطی هستند که خود بخشی از شکل یا فرم زمین می‌باشند، از این رو خندقها و حوضه آبخیز هر یک از آنها را می‌توان به سامانه‌های ژئومورفیک تشبیه نمود که ممکن است در آنها بین عناصر و یا عواملی مانند شیب کف خندق‌ها با وسعت حوضه‌های آبخیز، شیب آبخیزهای بالادست خندق‌ها با ابعاد آنها و یامواد تشکیل دهنده جداره‌های خندق با میزان فرسایش‌پذیری و دیگر عوامل، ارتباط درونی وجود داشته باشد.

به این ترتیب، مسئله اساسی چگونگی بررسی وشناخت عوامل مؤثر در شکل‌گیری فرسایش خندق و روابط بیرونی آنها باتوجه به پیچیدگی‌های مربوط به مدل‌سازی برای پیش‌بینی خطر فرسایش خندقی بوده است. از آنجاکه شکل‌گیری فرسایش خندقی و انواع مختلف خندق‌ها از نظر مورفولوژی و رشد و گسترش آنها در کلیه مناطق یکسان نمی‌باشد. از این رو فرض بر این بوده است که افزون بر عوامل مؤثر در شکل‌گیری وتشدید فرسایش خندقی، سایر عوامل مانند خصوصیات مورفومتری، مورفولوژی، مکانیسم‌های رشد و گسترش، تراکم و نقاط شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها حتی در یک اقلیم و شرایط آب و هوایی معین تابعی از عملکرد عوامل محیطی و اقدامات انسانی است که می‌تواند مبنای مناسبی برای ساخت مدل برای پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی باشد.

معرفی مدلهای ریاضی ارزیابی گالی

۱- مدل Woodward, (1999) EGEM

۲- مدل Alekseysidorchuk, (1998) GULTEM

۳- مدل A.sidorchuk, (1999) DYNAMIC & STATIC

۴- مدل Foster & Iane, (1987) WEPP

۱- مدل EGEM (مدل فرسایش خندقی موقت)

مدل EGEM یکی از مدل‌هایی است که به طور اختصاصی برای محاسبه میزان هدر رفت خاک ناشی از فرسایش گالی‌ها ارائه شده است. هر چند به نظر می‌رسد که این مدل توانایی زیادی در محاسبه میزان هدر رفت خاک ناشی از این فرسایش دارد ولی هنوز به طور کامل تست نشده است. در این مدل برخی از پارامترها شامل مساحت حوضه، طول حوضه، طول جریان متمرکز، کلاس خاک، تنش برشی، عمق گالی، ضریب مانینگ، نوع بارندگی توسط هر گالی محاسبه می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد که یک رابطه بسیار مناسب بین حجم خندق موقت اندازه‌گیری شده و حجم خندق موقت پیش‌بینی شده وجود دارد. (R^2=0.88) ولی چون طول گالی یک پارامتر ورودی است که در محاسبه نرخ فرسایش و هم در اندازه‌گیری حجم گالی کاربرد دارد حجم خندق اندازه‌گیری شده وحجم خندق پیش‌بینی شده، باید بر این طول خندق تقسیم شوند. نتایج نشان می‌دهد که همچنین ارتباط بین مقطع عرضی خندق اندازه‌گیری شده با مقطع عرضی خندق پیش‌بینی شده چندان معنی دار نیست. (R^2=0.27) بنابراین می‌توان اثبات کرد EGEM در تمامی مناطق توانایی مناسبی را برای ارزیابی فرسایش گالی نخواهد داشت. دومین نتیجه این که طول گالی یک پارامتر کلیدی برای ارزیابی حجم گالی است. آنالیز رگرسیون نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین طول و حجم گالی وجود دارد. (R^2=0.91) بنابراین محاسبه دقیق طول گالی همچنان در ارزیابی نرخ فرسایش تعیین کننده است. (Nachtergaele, 2001)

۲- مدل GULTEM (مدل فرسایشی گالی‌های حرارتی)

مدل سه بعدی هیدرولیکی GULTEM برای محاسبه تغییرات سریع مورفولوژی گالی‌ها در مرحله ابتدایی پیشرفت گالی ارائه شده است. مبنای این مدل براساس تحلیل مسیر جریانها روی نقشه دیجیتالی می‌باشد. این تحلیل‌ها شامل، محاسبه رواناب ناشی از ذوب برف یا بارندگی است و برقانون بقا جرم و تغییر شکل بستر گالی‌ها تأکید دارد.

مدل پایداری لغزش‌های کم عمق نیز برای محاسبه شیب دیواره‌های جانبی گالی استفاده می‌شود. متد تصادفی تخمین نرخ جداسازی در مدل GULTEM، پایه محاسبه نیروهای محرکه غالب بر نیروهای مقاوم در جریان می‌باشد که می‌تواند چسبندگی خاک را از بین ببرد. این متد تفاوت‌های قابل توجهی در انواع ارتباط‌های بین نرخ رسوبگذاری و شدت جریان را برای انواع مختلف خاکها توضیح می‌دهد. همچنین این مدل در انتخاب سیستم‌های خاص و مناسب برای حفاظت خاک و کاربری اراضی در حوضه‌های آبریز با استعداد بالای فرسایش گالی کاربرد دارد.

۳- مدل DYNAMIC & STATIC (مدل دینامیک و استاتیک)

گالی‌ها فرمهایی هستند که به وسیله جریان متمرکز آب در زمین‌هایی که از جنس رسوبات دانه ریز و سست باشند تشکیل می‌شود. این پدیده حاکی از عدم تعادل می‌باشد و هر عاملی که تعادل را به هم بزند مقدمه شروع شکل‌گیری گالی را فراهم می‌کند.

یکی از مهمترین عوامل شکل‌گیری گالی، فاکتورهای انسانی (حاصل برخورد انسان و طبیعت) مانند از بین رفتن جنگل‌های بومی، کشت در زمین‌های غیرقابل کشاورزی و ارتباط تغییرات شرایط هیدرولوژیک با بارندگی و سیستم‌های رواناب می‌باشد. به طور کلی شکل‌گیری گالی حکایت از شروع یک فاز فرسایشی دارد، که به سرعت در طول دوره ابتدایی شکل‌گیری و زمانی که پارامترهای مورفولوژی گالی شامل (طول، عمق، عرض، مساحت و حجم) تا حدودی ناپایدار است، انجام می‌شود. این دوره اغلب کوتاه بوده و در حدود ۵ درصد از عمر گالی را دربرمی‌گیرد و برای بقیه طول شکل‌گیری گالی، وسعت آن تقریباً پایدار می‌باشد.

این دو مرحله از پیشرفت گالی، دو نوع مدل برای فرسایش گالی را طرح‌ریزی می‌کند:

۱- مدل دینامیک که تغییرات سریع مورفولوژی گالی را در اولین دوره گسترش آن پیش‌بینی می‌کند.

۲- مدل استاتیک که پارامترهای مورفولوژیک نهایی را در گالی‌های پایدار محاسبه می‌کند.

اساس مدل دینامیک، حل معادله بقاء جرم و تغییر شکل بستر گالی می‌باشد. مدل پایداری شیب نیز برای پیش‌بینی تغییر شیب دیواره‌های جانبی گالی استفاده می‌شود.

اساس مدل استاتیک بر فرض تعادل نهایی مورفولوژی گالی است. زمانی که به طور متوسط برای چندین سال، ارتفاع و وسعت کف گالی تغییر نکند، این قابلیت با میزان فرسایش و رسوبگذاری در بستر گالی تغییر می‌کند. این بدان معنی است که شدت جریان از حد آستانه برای فرسایش کمتر و از سرعت بحرانی ظرفیت شستشوی رسوبات بیشتر است.

مدل دینامیک و استاتیک گالی‌ها در مطالعات و تحقیقاتی که در روسیه و استرالیا انجام شده، تأیید شده است.

۴- مدل WEPP (پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)

مدل WEPP یا پروژه پیش بینی فرسایش آبی، تکنولوژی جدیدی از پیش‌بینی فرسایشی براساس مبانی تئوری فیلترینگ (Infiltation)، هیدرولوژی، فیزیک خاک، علم گیاهان، هیدرولیک، و مکانیسم فرسایش، ارائه می‌دهد. به کار بردن نمای کلی منطقه در این مدل مزیت اصلی این مدل نسبت به تکنیک‌های پیش‌بینی فرسایشی دیگر است.

مزیت برجسته این مدل در توانایی آن نسبت به اندازه‌گیری مکانی و زمانی نحوه فرسایش خاک است. (فرسایش خاک برای کل منطقه و یا نقطه‌ای در هر دامنه را می‌توان به صورت روزانه، ماهانه یا متوسط سالانه تخمین زد) و به این دلیل که چنین مدلی براساس روند و پروسه است، می‌توان از آن برای تخمین شرایط وموقعیت‌های بسیار گسترده‌تری استفاده کرد، حال آن که این در مورد روش‌های عملی و آزمایشی ممکن است.

مدل WEPP که ابتدا در سال ۱۹۸۵ پایه گذاری شده است بر پایه مفاهیم اساسی اقلیمی، تئوری نفوذ، هیدرلوژیکی، فیزیک خاک، علوم گیاهی،

هیدرولیک ومکانیسم‌های فرسایش بناء شده است. فرآیندهایی که در بسط WEPP در نظر گرفته شده‌اند عبارتنداز: فرسایش شیاری و بین شیاری، انتقال و ترسیب ذرات، نفوذپذیری، تراکم خاک، اثرات بقایا و آسمانه گیاهی بر جدا شدن ذرات خاک و نفوذپذیری، سله بستن سطحی، هیدرولیک شیار، روان آب سطحی، رشد گیاه، تجزیه بقایای گیاهی، نفوذ عمقی، تبخیر، تعرق، ذوب برف، اثرات یخ بستن خاک بر نفوذپذیری و فرسایش پذیری، اقلیم، اثرات شخم بر خواص خاک، اثرات زبری تصادفی خاک، واثرات کنتور (تراز) به ویژه لبه‌های تراز. مدل مذکور، تغییرات مکانی و زمانی توپوگرافی، زبری سطحی، خواص خاک، گیاهان و شرایط کاربری زمین را برروی دامنه شیب در نظر می‌گیرد.

نتیجه گیری

امروزه توسعه فناوری پیش‌بینی و مدلسازی فرسایش خاک با اهداف اجرائی و تحقیقاتی توسعه روزافزونی داشته است که محور عمده این توسعه نگرش فرایندی و مدلسازی ریاضی جهت انتخاب بهترین و کاراترین مدل برای پیش‌بینی و روند یابی این فرایند می‌باشد.

به دلیل پیچیده و متفاوت بودن چگونگی و نحوه شکل‌گیری و ایجاد خندق‌ها در اثر رخداد فرسایش خندقی در نواحی مختلف از نظر ژئومورفولوژی، مدلسازی و ارائه مدل جامع و فراگیر که بتوان از آن در تمامی مناطق یا حوضه‌های آبخیز استفاده نمود، سخت و دشوار می‌باشد. از این رو، بی‌تردید مدل‌های معرفی شده در این مقاله را نیز نمی‌توان مدل‌های جامع وفاقد نارسائی‌های احتمالی دانست. بنابراین پیشنهاد می‌گردد برحسب ویژگی‌های اقلیمی، زمین‌شناسی و... مدل مناسب برای هر منطقه به طور جداگانه انتخاب گردد.

منابع

۱- احمدی، حسن؛ ۱۳۷۸: ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.

۲- پرویزی، یحیی؛ حصادی، همایون؛ ۱۳۸۳: مبانی ریاضی مدل سازی فرسایش خاک، مطالعه موردی فناوری wepp، کنفرانس سراسری آبخیزداری و منابع آب و خاک.

۳- رفاهی، حسینقلی؛ ۱۳۷۵: فرسایش آبی وکنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

۴- صوفی، مجید؛ ۱۳۸۳: فرسایش آبکندی در استان فارس، کنفرانس سراسری آبخیزداری و منابع آب و خاک.

5- Chaplot, V; G, Giborie; P, Marchand and C, Valentin. 2005. Dynamic modeling for linear erosion intiation and development under climate and land-use changes in northen Laos. Catena, In press.

6- Derose, R.C; B. Gomez; M. Marden and N.A. Trustrum 1998. Gully erosion in Mangatu Forest, New Zealand, estimated from digital elevation models. Earth Surface processes and landforms 23:1045-1053.

7- Dotter weich, Markus, 2005. High resolution reconstruction of a 1300 year old gully system in northern Bararian, The Holocene, 15, 7:997-1005.

8- Evans, R, Morgan, R.P.C, 1974, Water erosion farable land. Area 6 (3), 221-225.

9- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. Freeman, San Francisco, CA

10- Nachtergaele.J.,J.Poesen., L.vandekerckhov., D.Oostwoud wijdenes and M.Roxo.2001. Testing the Ephemeral Gully Erosion Modle (EGEM) in Mediterranean Environments; 10the International soil conservation organization, May 24-29

11- Poesen, J. and G. Govers, 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. pp.513-530. In: Boardman, J.,I.D.L., Foster, and J.A., Dearing, (ed.) Soil Erosion on Agricultural Land. Wiley, Chichester.

12- Poesen, J.W., B. van wesemael, G. Govers, J. Martinez-Fernandez, P. Desmet, K. Vandaele, T. Quine and G. Degraer, 1997. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion. Geomorphology 18:183-197.

13- Rescher, N. 1962. The Stochastic revolution and the nature of scientific explanation synthese.14.200-215.

14- 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. 86:19-201.

15- Sidorchuk Aleksey, and Anna Sidorchuk. 1998. The Model for estimating of the Gully morphology. p.333-344. In Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes. IAHS Publ.249.

16- Vanwalleghem, T.H,R.Bork., J,poesen.,G, Schmidtchen., M, Dotterweich., J,Nachterg aele.2005.Rapid development and infilling of aburied gully under cropland, central Belgium. Catena. In press.

17- Woodward, D.E.1999. Method to predict cropland ephemeral 20 - Sidorchuk, A.Yu.1995. Erosion - sedimentation processes on the Russian Plain and the problem of aggradation in the small rivers.p.74-83.(In Russian). In R.S.Chalov (ed). Water Resources Management and Problems of Fluvial Science. Izd AVN., Moscow.

18- Wu, Y and H Chang. 2005. Moitoring of gully erosion on the loess plateau of China using a global positioning system. Catena. In press.