

کاربرد مدل SATEEC در محیط GIS در برآورد رسوبزایی و تهیه نقشه شدت فرسایش زیر حوضه آبخیز سد زاینده رود

حسین کریمی، حسین کریمی وردنجانی و سیفاله قربانی

به ترتیب کارشناسان ارشد خاکشناسی skarimi343@yahoo.com، هیدروژئولوژی شرکت مهندسين مشاور پورآب و کارشناس
منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری

فرسایش تشدیدي خاک با توجه به اثرات زیست محیطی و اقتصادی آن می تواند بعنوان یکی از مشکلات جهانی مطرح گردد. مدل های کامپیوتری فراوانی جهت برآورد رسوب و فرسایش در اراضی کشاورزی، مراتع و جنگل ها ارائه گردیده است. معادله جهانی اصلاح شده هدرروی خاک (RUSLE) در بسیاری کشورها بکار رفته و داده های ورودی این مدل طی سالیان گذشته مورد بررسی و تجدید نظر قرار گرفته است. این مدل کاربرد وسیعی در اراضی کشاورزی دارد و بندرت در مراتع مورد استفاده قرار می گیرد. مدل SATEEC (Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control) جهت برآورد هدرروی خاک و رسوب ویژه در اراضی کشاورزی و حوضه های آبخیز با استفاده از مدل RUSLE بسط یافته است. عوامل مؤثر در فرسایش از قبیل فرساینده گی باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، کاربری اراضی (C) و عملیات حفاظتی (P) بعنوان نقشه های (رستری) ورودی این مدل در محیط GIS تهیه گردید. مدل SATEEC با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) نقشه های جهت جریان (Flow Direction) و تجمع جریان (Flow Accumulation) را ترسیم و بدنبال آن عامل تندی و طول شیب (LS) را در قالب نقشه رستری LS محاسبه نمود. عوامل فوق بعنوان نقشه های ورودی این مدل استفاده گردید و نقشه شدت رسوب ویژه حوضه مطالعاتی بدست آمد. کلیه مراحل فوق بصورت اتوماتیک و توسط زبان برنامه نویسی Avenue صورت پذیرفت. نقشه شدت رسوب ویژه نشان می دهد که میزان رسوب متوسط سالانه حاصل از فرسایش سطحی و شیاری ۱/۷۹ تن در هکتار در سال می باشد و مقادیر زیاد تولید رسوب و تمرکز فرسایش در ارتفاعات و شیب های کناری آبراهه ها قرار گرفته اند. تحقیق حاضر نشان می دهد که استفاده از مدل SATEEC می تواند برآورد قابل قبولی از میزان فرسایش سطحی و شیاری در حوضه های آبخیز کشور داشته باشد.

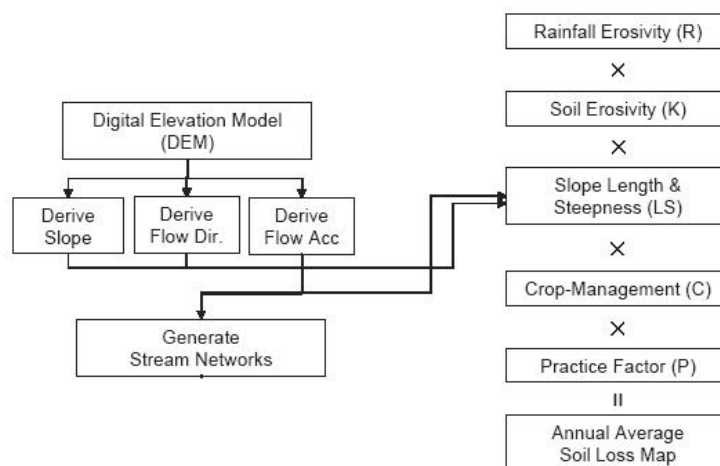
واژه های کلیدی: رسوب ویژه، RUSLE, SATEEC و GIS

مقدمه

فرسایش تشدید می‌شود و دستیابی دقیق به اثرات اقتصادی و زیست محیطی آن بدلیل فرایندهای پیچیده آن بسیار مشکل است. بسیاری از فعالیت‌های انسان از قبیل معدن کاری، ساخت و ساز، کشاورزی و بهم زدن خاک سطحی موجب این فرسایش می‌گردند (Lal 1994). بنابر گزارش سازمان ملل (UNEP 1991) سالانه حاصلخیزی ۲۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان در اثر فرسایش و تخریب اراضی کاهش یافته بطوری که کشت و کار در این اراضی غیراقتصادی می‌باشد. علاوه بر این فرسایش خاک در اراضی کشاورزی می‌تواند لطمات جبران ناپذیری بر محیط زیست وارد سازد. اتصال مواد غذایی موجود در خاک به ذرات رسوب و انتقال آنها توسط فرایند فرسایش می‌تواند علاوه بر کاهش حاصلخیزی اراضی، آلودگی رودخانه‌ها و اراضی پائین دست را نیز شامل شود (Ouyang and Bartholic 1997).

در طی سالیان گذشته جهت برآورد فرسایش خاک و برنامه ریزی مبارزه با آن مدل‌های فرسایشی گوناگونی از قبیل مدل جهانی هدرروی خاک (USLE) (Wischmeier and Smith 1978)، WEPP (Flanagan and Nearing 1995)، SWAT (Arnold et al 1998) و EUROSEM (Morgan et al 1998) ارائه شده‌اند. در چهل سال گذشته مدل USLE به دلیل سادگی جمع‌آوری اطلاعات آن یکی از پرکاربردترین مدل‌های فرسایشی بوده است. Renand و همکاران (۱۹۹۱) جهت برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش مدل اصلاح شده USEL (RUSLE) را ارائه نمودند.

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را به سادگی و با سرعت بیشتر امکان پذیر می‌سازد. Yitayew و همکاران ۱۹۹۹ از GIS در برآورد فرسایش به روش USLE استفاده نمودند. ابزار برآورد رسوب جهت کنترل مؤثر فرسایش (Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control) (Lim et al 2003) یک مدل ترکیب شده با GIS می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان با اطلاعات ورودی لازم در مدل RUSLE به تخمین از میزان فرسایش و نقشه شدت فرسایش منطقه دست یافت. شکل (۱) نشان دهنده فلوچارت کلی ورودی و خروجی اطلاعات در مدل SATEEC را نشان می‌دهد.



شکل (۱) فلوچارت و شمای کلی مدل SATEEC

مدل **RUSLE** برآوردی از میزان هدروری خاک در واحد سطح برای فرسایش سطحی و شیاری را ارائه می‌دهد.
مدل **RUSLE** از طریق معادله (۱) میزان فرسایش را محاسبه می‌کند.

$$A = RKLSCP \quad \text{معادله (۱)}$$

- A:** (سال / ایگر / تن) میانگین سالیانه هد روی خاک
R: قدرت فرسایش دهنده باران و روان آب
K: فرسایش پذیر خاک
LS: طول و تندی شیب
C: پوشش گیاهی
P: عملیات اصلاحی

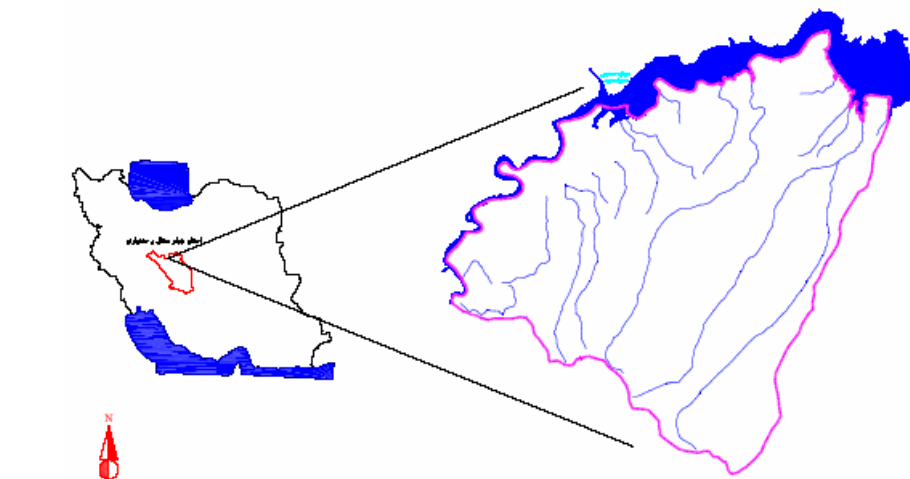
برای بدست آورد **R** از حاصلضرب انرژی جنبشی **E** باران در بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) استفاده می‌شود. جهت برآورد فرسایش‌پذیری خاک از ۵ ویژگی خاک که در حساسیت خاک اهمیت دارد استفاده می‌شود (*Wischmeier and Smith 1978*). این ویژگیها شامل درصد شن، مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک می‌باشند. با استفاده از نمودار فرسایش‌پذیری خاک مقدار عددی فرسایش‌پذیری خاک (**K**) حاصل می‌شود. عوامل تندی (**S**) و طول (**L**) شیب نشان‌دهنده اثر توپوگرافی بر فرسایش می‌باشند. فرمول‌ها تجربی زیادی جهت برآورد تندی و طول شیب ارائه شده‌اند. *Yitayew* در سال ۱۹۹۹ فاکتور **LS** را با استفاده از **GIS** محاسبه نمود. در این روش جهت تهیه نقشه طول و تندی شیب از مدل رقومی ارتفاع (**DEM**) استفاده می‌شود. در مدل **SATEEC** جهت برآورد **LS** از معادله (۲) استفاده می‌شود.

$$Ls = \left(\frac{A}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن **A** حاصلضرب تجمع جریان (*Flow accumulation*) در اندازه سلول‌های نقشه رستری و θ زاویه شیب بر حسب درجه می‌باشد. فاکتورهای **C** و **P** با استفاده از استانداردهای موجود و جداول مربوطه حاصل می‌شود. عوامل مؤثر در مقدار عددی فاکتور پوشش گیاهی (**C**) عبارت از آسمانه گیاهی، بقایای گیاهی در سطح خاک، اثرات زراعت قبلی و عملیات شخم می‌باشند. در ایالات متحده آمریکا در مورد مراتع، جنگل‌ها و اراضی متفرقه جداولی تهیه شده است که مقدار عددی **C** را نشان می‌دهد. عامل حفاظت خاک (**P**) برابر نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پائین شخم خورده می‌باشد. منظور از کارهای حفاظتی بیشتر کشت بر روی خطوط تراز، کشت نواری و ترانس‌بندی می‌باشد. اگر هیچگونه عملیات حفاظتی انجام نگیرد مقدار عددی **P** برابر یک می‌باشد.

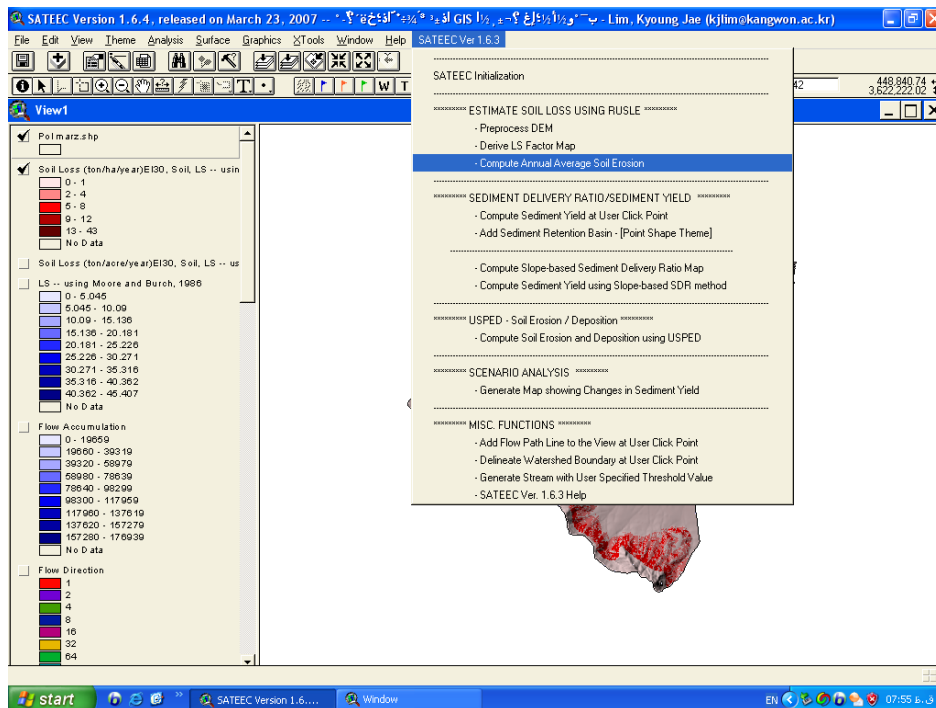
روش تحقیق

از مدل **SATEEC** جهت برآورد میزان هدروری خاک در یکی از زیرحوضه‌های سد زاینده رود واقع در استان چهارمحال و بختیاری استفاده گردید. حوضه آبخیز تحت مطالعه در موقعیت جغرافیایی ۲۱°۲۷'۵۰" تا ۲۵°۳۴'۵۰" شرقی و ۳۷°۳۷'۳۲" تا ۳۲°۴۳'۳۲" شمالی واقع و مساحتی را بالغ بر ۵۷/۰۵ کیلومتر مربع شامل می‌شود. شکل (۲) موقعیت زیرحوضه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی زیرحوضه سد زاینده رود

داده‌های ورودی این مدل شامل نقشه‌های R ، K ، DEM ، C و P می‌باشد. شکل (۳) توابع موجود در مدل *SATEEC* را نشان می‌دهد. هریک از نقشه‌های فوق در قالب نقشه‌های رستری بصورت لایه‌های جداگانه به محیط نرم‌افزار *Arcview* فراخوانده می‌شوند. بررسی و محاسبه اتوماتیک نقشه LS و شدت فرسایش توسط مدل می‌پذیرد.



شکل (۳): مدل کامپیوتری *SATEEC* و توابع موجود در آن

ابعاد سلولی هر یک از نقشه‌های مربوطه (P و C ، K ، R) برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شد. جهت برآورد LS از مدل رقومی ارتفاع و از روش *Moore and Burch (1986)* استفاده گردید. بدین منظور نقشه رستری تجمع جریان (*Flow Accumulation*) تهیه می‌گردد. مقادیر سلول‌های این نقشه نشان دهنده تعداد سلول‌هایی است که سلول مربوطه زهکش آنها می‌باشد. با توجه به اینکه ابعاد هر یک از سلول‌ها ۱۰ متر می‌باشد لذا میزان طول شیب (L) در هر نقطه از حوضه مطالعاتی بدست خواهد آمد.

با توجه به وضعیت کاربری اراضی و پوشش زیرحوضه مقدار عدد C برای کاربری‌های مختلف حوضه محاسبه و نقشه مربوطه تهیه گردید. جهت برآورد میزان P از استانداردهای لازم استفاده و چون در حوضه تحت بررسی هیچگونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته است مقدار عددی P برابر یک در نظر گرفته شد.

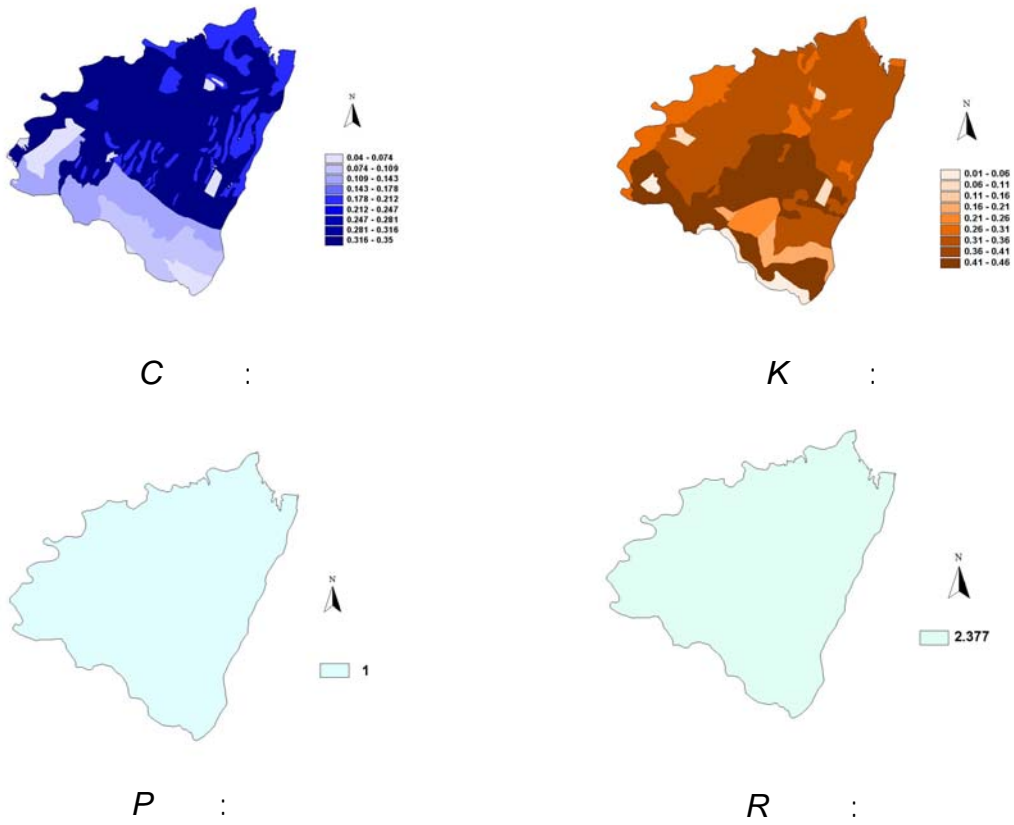
مقادیر عددی R با استفاده از روش ویشمایر و اسمیت ۱۹۸۷ محاسبه و برابر ۲/۳۷ در نظر گرفته شد. نقشه رستری فرسایش‌پذیری K با استفاده از خصوصیات هر یک از اجزاء واحد اراضی محاسبه گردید. نقشه‌های حاصل با توجه به فلوجارت ارائه شده در محیط *Arcview* با یکدیگر ترکیب گردیدند.

نتایج و بحث

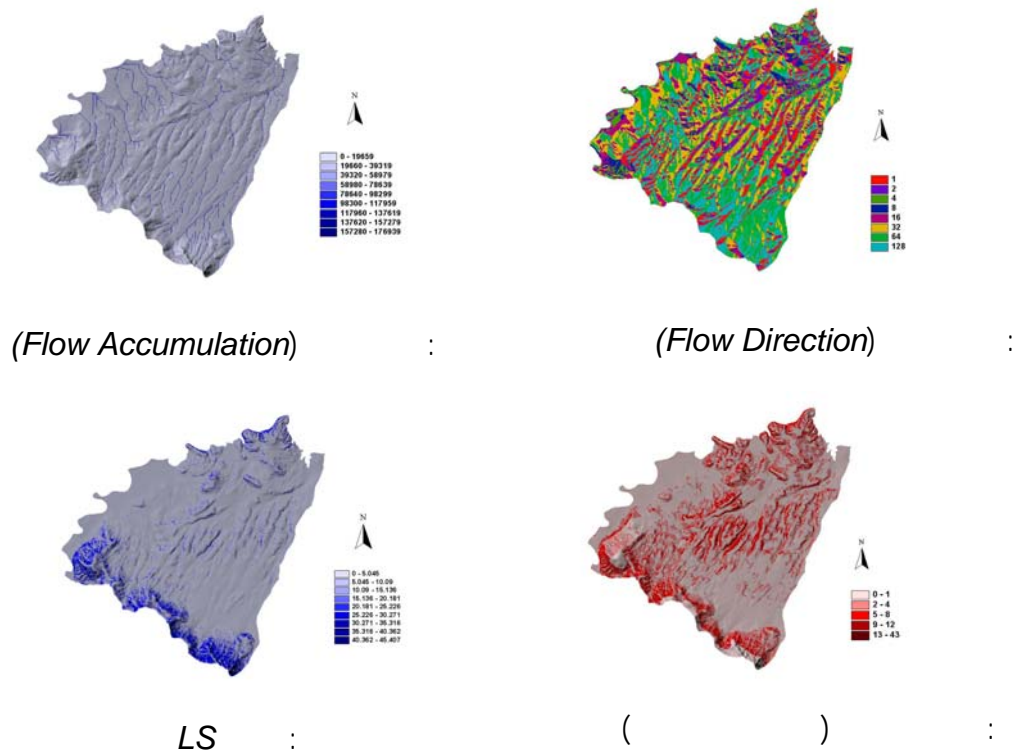
مدل کامپیوتری *SATEEC* میانگین سالیانه هدرروی خاک را برآورد و نقشه‌های حاصل از این مدل نشان‌دهنده میزان حساسیت مکانی تمامی قسمت‌های حوضه مطالعاتی به فرسایش می‌باشند. نقشه‌های K ، R و C و P در شکل (۴) نشان داده شده‌اند. هم‌طور که در نقشه ۴-ب مشخص شده است نواحی جنوبی حوضه بدلیل ویژگیهای خاک فرسایش‌پذیری بیشتری را نشان می‌دهد در صورتی که فاکتور پوشش گیاهی و مدیریتی در مناطق جنوبی مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. با توجه به وجود نواحی روستایی و دخل تصرف در اراضی مزبور وجود مقادیر بیشتر فاکتور C دور از انتظار نمی‌باشد.

شکل (۵) نقشه‌های اولیه جهت جریان (*Flow Direction*) و تجمع جریان (*Flow Accumulation*) را جهت تهیه فاکتور LS نشان می‌دهد.

نقشه شدت رسوب ویژه نشان می‌دهد که میزان رسوب متوسط سالانه حاصل از فرسایش سطحی و شیاری ۱/۷۹ تن در هکتار در سال می‌باشد (شکل ۵-د) و مقادیر زیاد تولید رسوب و تمرکز فرسایش در ارتفاعات و شیب‌های کناری آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند. تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از مدل *SATEEC* می‌تواند برآورد قابل قبولی از میزان فرسایش سطحی و شیاری در حوضه‌های آبخیز کشور داشته باشد. لازم به یادآوری است که برآورد حوضه‌های مطالعاتی دیگر و واسنجی این مدل برای شرایط کشورمان الزامی می‌باشد.



شکل (۴): نقشه فاکتورهای فرسایش پذیری، پوشش گیاهی، فرسایش دهندگی و عملیات حفاظتی



شکل (۵): نقشه جهت و تجمع جریان، فاکتور LS و هدرروی خاک

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1), 73–89.
- Flanagan, D. C., Nearing, M. A., 1995. USDA water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No. 10. USDA ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN 47907-1194.
- Lal, R., 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*, (Second edition) Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M. E., 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 527–544.
- Ouyang, D., Bartholic, J., 1997. Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed. *Proceedings of the 22nd National Association of Environmental Professionals Conference*. May 19–23, 1997, Orlando, FL, pp. 659–671.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., Porter, J. P., 1991. RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46 (1), 30–33.
- United Nation Environmental Program, 1991. *Status of Desertification and Implementation of the UN Plan of Action to Combat Desertification*. UNEP, Nairobi, Kenya.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *The USDA Agricultural Handbook No. 537*.