



## بهره‌مندی از قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت برآورد هدررفت خاک در ابعاد حوزه آبخیز در شمال غربی ایران

علی‌رضا واعظی<sup>۱</sup> و خالد حاجی‌ملکی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ۲- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

### چکیده

برآورد هدررفت خاک برای برنامه‌ریزی به منظور مدیریت پایدار زمین ضروری است. بسیاری مدل‌های تجربی و ریاضی برای برآورد هدررفت خاک در سراسر جهان ارائه شده‌اند. معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده (RUSLE) به منظور برآورد هدررفت خاک در زمین‌های کشاورزی و مرتعی ارائه شد. در این مطالعه، سعی بر آن بود که هدررفت خاک بر اساس این مدل با بهره‌مندی از قابلیت‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوزه آبخیز تهم چای در شمال غربی ایران برآورد گردد. برای این منظور نقشه‌های عوامل مؤثر بر فرسایش خاک شامل فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب، پوشش گیاهی و عملیات حفاظت خاک تهیه و برای استخراج نقشه هدررفت خاک استفاده شدند. هدررفت خاک برآورد شده در جای جای حوزه آبخیز از ۳/۱۳ تا ۹/۱۲۷ تن در هکتار در سال تغییر کرد. بیشترین مقادیر برآوردی مربوط به جاهای دارای شیب تند، پوشش گیاهی ضعیف با خاک فرسایش‌پذیر بود.

واژه‌های کلیدی: معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده، عوامل فرسایش خاک، نقشه، هدررفت خاک

### مقدمه

فرسایش خاک به دلیل کاهش پتانسیل اراضی کشاورزی برای تولید، تهدیدی جدی برای تأمین امنیت غذایی جامعه جهانی می‌باشد. فرسایش خاک توسط آب مهم‌ترین تهدید تخریب زمین در سراسر جهان شناخته شده است (Wang et al., ۲۰۰۳). ارزیابی میزان فرسایش خاک امری مهم و به منظور مدیریت پایدار اراضی است. معادله جهانی هدررفت خاک<sup>۱۴۸</sup> (USLE) برای نخستین بار بر اساس مفهومی از فرآیند جداسازی و انتقال ذرات خاک در اثر بارندگی توسط ویشمایر و اسمیت<sup>۱۴۹</sup> (Whishmeier and Smith, ۱۹۷۸) ارائه شد. این معادله برای پیش‌بینی متوسط سالانه هدررفت خاک حاصل از فرسایش ورقه‌ای، شیاری و بین شیاری در یک قطعه زمین یا دامنه ارائه شد. بعدها مدل اصلاح شده معادله جهانی هدررفت خاک<sup>۱۵۰</sup> یا RUSLE دچار بازنگری شد و با اصلاحاتی در عامل فرساینده‌گی و عامل فرسایش‌پذیری خاک بر قابلیت‌های آن در اراضی مرتعی نیز افزوده شد (Renard et al., ۱۹۹۱). در هر دو مدل هدررفت خاک بر مبنای عامل فرساینده‌گی باران (R)، عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، عامل طول و درجه شیب (LS)، عامل مدیریت زراعی یا پوشش گیاهی (C) و عامل اقدامات حفاظت خاک (P) برآورد می‌گردد. در برخی موارد ارزیابی خطر فرسایش با استفاده از مدل RUSLE با مشکلاتی مواجه است چرا که مدل نمی‌تواند توزیع مکانی و زمانی فرسایش خاک را نشان دهد. این امر به علت پیچیدگی عوامل موجود در مدل و تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد آن‌ها است. به منظور رفع کاستی مدل RUSLE در بیان توزیع مکانی فرسایش خاک، از ترکیب مدل RUSLE با فن سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌گردد. استفاده از فن سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، تخمین خطر فرسایش خاک را با دقت زیاد و هزینه‌های قابل قبول، در مناطق بزرگ امکان‌پذیر می‌سازد (Wang et al., ۲۰۰۳). سامانه اطلاعات جغرافیایی، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیشتر و به سادگی امکان‌پذیر ساخته و ترکیب اطلاعات گسترده در زمینه‌های مختلف و از منابع گوناگون را ممکن و مدیریت اطلاعات را ساده می‌سازد (Shi et al., ۲۰۰۴). سنجش از دور به عنوان منبع تأمین بسیاری از داده‌های مورد نیاز و GIS به عنوان سامانه‌ای که مدیریت و تحلیل را بر عهده دارد، ارتباط تنگاتنگی باهم دارند. ماهیت رقمی داده‌های سنجش از دور و اطلاعات حاصل از آن‌ها قابلیت ورود مستقیم به سامانه اطلاعات جغرافیایی را فراهم نموده است (Makhdoom and darvishsefat, ۲۰۰۲). هدف از پژوهش حاضر بهره‌مندی از قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی جهت برآورد هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز تهم چای در شمال غربی ایران می‌باشد.

<sup>۱۴۸</sup>. Universal Soil Loss Equation

<sup>۱۴۹</sup>. Whishmeier and Smith

<sup>۱۵۰</sup>. Revised Universal Soil Loss Equation

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه واقع در حوزه آبخیز تهم‌چای با مساحت ۲۲۸۱۶ هکتار در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی در شمال غرب زنجان واقع شده است. بارندگی سالیانه حوزه آبخیز حدود ۳۷۸ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس دوره آماری ۵۰ ساله، بیشترین مقدار بارندگی در فصل بهار (حدود ۲/۳۷ درصد) و کمترین آن در فصل تابستان به مقدار ۸/۲ درصد می‌باشد. منطقه دارای پوشش مرتعی ضعیف است و در اغلب موارد مراتع ضعیف به کشتزارهای دیم گندم تبدیل شده‌اند. در سطح حوزه، ۲۰ عرصه زهکش در بخش زیر حوزه‌ها انتخاب گردید. برای برآورد هدرفت خاک در عرصه‌های زهکش با استفاده از مدل RUSLE، از رابطه زیر استفاده شد:

$$K \times L \times S \times C \times PA = R$$

رابطه (۱)

عامل فرساینده‌گی بارن (R) از حاصل ضرب انرژی کل رگبارها (E) در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای ( $I_{30}$  آن‌ها به دست آمد. در هر رگبار پس از محاسبه انرژی جنبشی در فواصل ۱۵ دقیقه‌ای، انرژی جنبشی در مقدار بارندگی هر دوره ضرب گردید و نهایتاً حاصل جمع انرژی جنبشی کل مدت بارندگی در حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای رگبار ضرب شد. (Renard et al., ۱۹۹۷)

$$KE = 11.87 + 8.73 \log I$$

رابطه (۲)

که در آن: KE انرژی جنبشی یک رگبار در واحد سطح و ارتفاع ( $Jm^{-2}.mm^{-1}$ ) باران I شدت باران ( $mm.h^{-1}$ ) است. مقادیر عامل فرسایش‌پذیری از صفر تا یک  $Mg.h.(MJ.mm)^{-1}$  متغیر است. مقدار K با استفاده از معادله زیر ارائه شده است (Renard and Freimund, ۱۹۹۴)

$$K = 0.0035 + 0.00388 \exp \left[ -0.5 \frac{(\log Dg + 1.519)^2}{0.57517} \right]$$

رابطه (۳)

که در آن: Dg میانگین قطر ذرات خاک است.

که در آن:  $f_i$  کسر ذرات بر حسب درصد،  $d_i$  میانگین قطر ذرات خاک بر حسب mm می‌باشد. پس از برآورد عامل فرسایش‌پذیری برای نقاط نمونه‌برداری شده در سطح عرصه‌های زهکش، مختصات جغرافیایی آن‌ها همراه با مقدار عامل K وارد محیط Arc GIS ۱۰.۲ شده و نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک تهیه گردید.

برای محاسبه عامل شیب (LS) ابتدا نقشه شیب حوضه بر حسب درجه تهیه گردید. سپس مدل رقومی منطقه (با دقت ۱۰ متر) توسط ابزار پرکننده گودی‌ها اصلاح شد و از مدل رقومی اصلاح شده نقشه رستری جهت جریان استخراج و در نهایت از آن نقشه رستری تجمع جریان برای کل حوضه به دست آمد. رابطه (۶) برای محاسبه عامل LS در نرم افزار Arc GIS ۱۰.۳ استفاده شد (Moore and Wilson, ۱۹۹۲)

$$LS = (1.4)^{[Fac \times 10 / a]} \cdot [\sin(r) / \sin b]^{0.4}$$

رابطه (۴)

که در آن Fac نقشه رستری جریان تجمعی حوضه، (r) زاویه شیب بر حسب درجه، a طول کرت استاندارد (که برابر با ۱۳/۲۲ متر می‌باشد)، b شیب کرت استاندارد (که برابر با ۱۴۳/۵ درجه) می‌باشد.

در یک سطح وسیع مانند حوضه برآورد عامل پوشش گیاهی با مشکلاتی مواجه است. به همین دلیل استفاده از فن سنجنش از دور در تخمین و پهنه‌بندی این عامل پیشنهاد می‌شود. در این راستا می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای بهره برد به گونه‌ای که ابتدا اقدام به تهیه شاخص تفکیک پوشش گیاهی نرمال شده کرد. برای تبدیل این شاخص به عامل پوشش گیاهی از رابطه (۸) (Van der Knijff et al, ۱۹۹۹) استفاده گردید:

$$C = \exp \left[ -a \times \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right]$$

رابطه (۵)

که در آن و پارامترهای مربوط به شکل منحنی شاخص می‌باشند (Van der Knijff et al, ۱۹۹۹). در نتیجه مقادیر C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. مقادیر C می‌تواند از نزدیک صفر برای خاکهای با سطح حفاظتی بالا تا ۱ برای خاکهای شخم خورده و تحت آیش تغییر کند. (Renard et al., ۱۹۹۷) در حوزه آبخیز مورد مطالعه به دلیل آن که هیچ گونه اقدامات حفاظتی شامل موارد نامبرده صورت نگرفته بود و اراضی کشاورزی در جهت شیب شخم خورده بودند، لذا مقدار عامل حفاظتی بر این اساس در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

مقدار عامل فرساینده‌گی بارن (R) در سطح حوزه آبخیز ۳۱/۹۲  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$  بود. رنارد و فریمانند (۱۹۹۴) با استفاده از اطلاعات ۱۳۲ ایستگاه هواشناسی در آمریکا، مقدار این عامل را از ۸۵ تا ۱۱۹۰۰  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$  به دست آوردند. کولی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از اطلاعات ۳۵ ایستگاه هواشناسی عامل فرساینده‌گی بارن را برای منطقه‌ای در چین از ۳۴۸ تا ۲۳۵۲  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$  به دست آوردند.

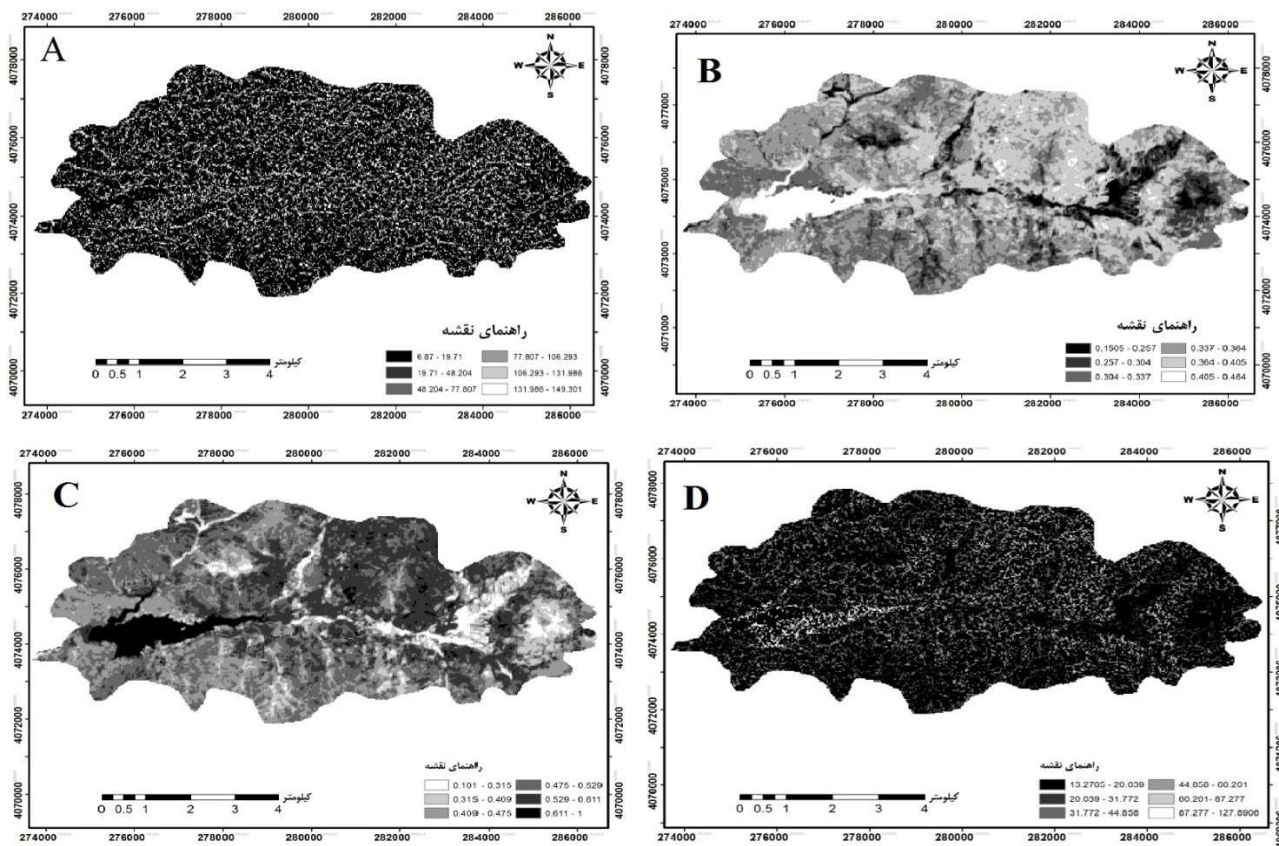
مطابق با نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (شکل ۱)، مقادیر این عامل در سطح حوزه بین ۱۵/۰ تا ۴۶/۰  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$  متغیر می‌باشد. مقادیر فرسایش‌پذیری خیلی کم (از ۱۵/۰ تا ۲۵/۰  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$ ) مربوط به خاکهای با بافت لوم شنی، فرسایش‌پذیری کم (از ۲۵/۰ تا ۳۶/۰  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$ ) مربوط به خاکهای با بافت متوسط و رسی و فرسایش‌پذیری متوسط (۳۶/۰ تا ۳۶/۰  $MJ.mm(ha.h)^{-1}$ )

مربوط به خاکهای لومی، لوم رسی و رسی سیلتی می باشد. کولی و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر فرسایش پذیری را در جزیره کرت در چین با استفاده از همان رابطه از ۰۲/۰ تا  $0.4 / (Mg.h.(MJ.mm)^{-1})$  برآورد نمودند. به علت وجود اختلافات زیاد در توپوگرافی منطقه، مقادیر عددی نقشه عامل طول و درجه شیب حوزه (LS) از  $871/6$  تا  $301/149$  تغییر کرد (شکل ۱). توجه به نقشه شیب، منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی نامنظمی می باشد. مقادیر عامل طول و درجه شیب توسط محققین مختلف (لوریتو و همکاران، ۲۰۰۴)، (ابوحامد، ۲۰۰۹) بسته به وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۱۴۶ برآورد شده است. همچنین اسدی و همکاران (۲۰۱۱) مقدار این عامل را بین صفر تا ۲۸۹ در حوزه آبخیز ناورود گزارش کردند.

مقدار عامل پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی بین ۱۰۱/۰ تا یک متغیر می باشد شکل (۲) قسمت (C). برخی از قسمت های شرقی و شمال غربی منطقه به علت وجود پوشش مناسب دارای مقادیر عددی کمتری در نقشه می باشند. اما بیشتر قسمت های منطقه به علت دارا بودن شیب های تند و وجود سنگریزه زیاد در سطح خاک که از رشد پوشش گیاهی جلوگیری به عمل آورده لذا مقدار عددی بیشتری را در نقشه عامل پوشش گیاهی دارا هستند. مساحت عمده منطقه از نظر این عامل در کلاس ۵۲۹/۰ تا ۶۱۱/۰ قرار می گیرد. گیتاس و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر عامل C را به ترتیب در مناطقی از یونان از ۰۸۲/۰ تا ۸۳۹/۰ تخمین زدند. همچنین پاتریچ و همکاران (۲۰۰۶) نیز در حوزه ای در رومانی مقادیر فاکتور C را از ۰۲۵/۰ تا ۰۷۶/۰ تخمین زدند. عامل عملیات حفاظتی خاک به دلیل عدم وجود هر گونه اقدامات حفاظتی در منطقه مذکور یک لایه با مقدار عددی ثابت (یک) در نظر گرفته شد (اسدی و همکاران، ۲۰۰۱).

نقشه میزان فرسایش خاک از ترکیب پنج لایه عامل فرسایش پذیری باران، عامل فرسایش پذیری خاک، عامل طول و درجه شیب، عامل پوشش گیاهی و عامل عملیات حفاظتی به دست آمد (شکل ۱). مطابق نقشه میزان فرسایش برآورد شده با مدل RUSLE در محیط نرم افزار Arc GIS ۱۰.۲ از  $270/13$  تا  $890/127$  بر حسب تن در هکتار در سال متغیر است. مناطق با مقدار فرسایش زیاد ( $277/87$  تا  $890/127$  تن در هکتار در سال) تا متوسط ( $856/44$  تا  $201/60$  تن در هکتار در سال) اغلب در نواحی شیب دار (بالا بودن میزان عامل LS) قرار دارند که پوشش گیاهی ضعیف می باشد. شی و همکاران (۲۰۰۹) و کولی و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعات خود با استفاده از مدل RUSLE مقادیر فرسایش خاک را به ترتیب از صفر تا بیشتر از ۴۰ و صفر تا ۴۲۵ تن در هکتار در سال برآورد نمودند. لوریتو و همکاران (۲۰۰۹) نیز در سه اکوسیستم متفاوت در ایتالیا، با استفاده از مدل RUSLE، میزان خطر فرسایش را از صفر تا بیش از ۵۰۰ تن در هکتار در سال تخمین زدند.

شکل ۱- نقشه عامل طول و درجه شیب (A)، نقشه عامل فرسایش پذیری (B)، نقشه عامل پوشش گیاهی (C)، نقشه میزان فرسایش خاک برآورد



شده (D) در حوزه آبخیز تهیم چای شمال غرب زنجان



## منابع

- Abu Hammad, A. ۲۰۰۹. Watershed erosion risk assessment and management utilizing revised universal soil loss equation-geographic information systems in the Mediterranean environments. *Water and Environ. J*
- Asadi, H. Vazife doost, M. Mousavi, S. A. and Honarmand, M, ۲۰۱۱. Evaluation and zoning soil erosion risk used by RUSLE, GIS and RS in Navroud watershed. Presenting the results of Guilan Regional Water Corporation. (In Persian)
- Eynard, A., Schumacher, T.E., Lindstrom, M.J. and Malo, D.D. ۲۰۰۴. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota Prairie Ustolls and Usterts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۶۸: ۱۳۶۰-۱۳۶۵.
- Gitas I.Z., Douros, K., Minakou, Ch., Silleos, G.N. and Karydas, Ch.G. ۲۰۰۹. Multi temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL eProceedings* ۸(۱): ۴۰-۵۱.
- Kouli, M., Soupios, P. and Vallianatos, F. ۲۰۰۹. Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania,
- Lorito, S., Pavanelli, D., Bigi, A., Stanchi, S. and Vianello, G. ۲۰۰۴. Introduction of GIS based RUSLE model for land planning and environmental management in three different Italian's ecosystems. *Eurosoil* ۲۰۰۴, Freiburg, Germany September, ۴-۱۲.
- Makhdoom, M. darvishsefat, A. Environmental assessment and planning with GIS. ۲۰۰۲. Press Tehran University. ۲۳۴-۳۰۴ p. (In Persian)
- Mohammed Al-Quraishi, A. ۲۰۰۳. Soil erosion risk prediction with RS and GIS for the northwestern part of Hebei province, China. *Pakistan J. of Applied Sci.* ۳(۱۰-۱۲): ۶۵۹-۶۶۹.
- Moore, I.D. and Wilson, J.P. ۱۹۹۲. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *J. Soil and Water Conserv.* ۴۷: ۴۲۳
- Renard, K.G. and Freimund, J.R. ۱۹۹۴. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. of Hydrology*, ۱۷۴: ۲۸۷-۳۰۶.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., ۱۹۹۱. RUSLE: revised universal soil loss equation. *J. Soil Water Conserv.* ۴۶, ۳۰-۳۳.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. ۱۹۹۷. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. ۷۰۳*, USDA, Washington, DC, USA. ۴۰۴ p.
- Shi, Z.H., Cai, C.F., Ding, S.W., Wang, T.W. and Chow, T.L. ۲۰۰۴. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. *Catena* ۵۵: ۳۳-۴۸.
- Van der Knijff, M., Jones, R.J.A. and Montanarella, L. ۱۹۹۹. Soil erosion risk in Italy. *EUR ۱۹۰۲۲*. EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ۵۴p.
- Wang, G., Gertner, G., Fang, S. and Anderson, A.B. ۲۰۰۳. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* ۶۹: ۸۸۹-۸۹۸.
- Whishmeier, W.H. and Smith, D.D. ۱۹۷۸. Predicting rainfall erosion losses- a guide to soil conservation planning. U.S Department of Agriculture, *Agriculture handbook NO. ۵۳۷*.

## Abstract

Estimation of soil loss is a crucial factor in the planning of sustainable land use. Many empirical and mathematical soil erosion models have been developed worldwide. The revised universal soil loss equation was developed to assess soil loss in agricultural land and range land. In this work we attempt to estimate soil loss based on the RUSLE using the capabilities of remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) in the TahamChai catchment, NW Iran. Toward this, the maps of soil erosion factors consisting rainfall intensity, soil erodibility, slope steepness and length, vegetation cover, and conservation practices were provided and used to extract soil loss map. Soil loss estimated in the catchment area varied from  $۱۳.۲ \text{ t ha}^{-1}\text{year}^{-1}$  to  $۱۲۷.۹ \text{ t.ha}^{-1}\text{year}^{-1}$ . The high rates of soil estimation in the catchment were associated to some areas, where slope steepness is high, vegetation cover is weak and soil is erodible.