

## مقدمه و مبانی

فرسایش خاک از جمله نگرانی‌های عمده زیست محیطی قرن حاضر بوده و به‌همین دلیل ضرورت بررسی همه‌جانبه عوامل مؤثر بر آن‌ها در فهرست اولویت‌های پژوهشی اکثر کشورهای جهان قرار گرفته است [۱]. نقش فرسایش خاک و تولید رسوب در کاهش حاصل‌خیزی و هدررفت خاک، کاهش حجم مفید مخازن سدها، تخریب شبکه‌های آبیاری و افت کارایی آن‌ها، آلودگی و کاهش کیفیت آب رودخانه‌ها، کاهش مواد غذایی و متعاقباً قحطی و گرسنگی بسیار مهم و حیاتی می‌باشد [۲،۳].

برآورد بار رسوب حوزه‌های آبخیز برای حل و ارزیابی مشکلات مذکور ضروری می‌باشد. که در صورت وجود آمار و اطلاعات مربوط به فرسایش خاک، برآورد حجم کل میزان تولید رسوب سالانه با استفاده از روش‌های آماری صورت می‌گیرد ولی به دلیل کمبود شدید آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور و هم‌چنین هزینه زیاد و زمان‌بر بودن برداشت‌های زمینی، کاربرد روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب الزامی می‌باشد. بدین منظور تحقیقات و بررسی گسترده‌ای در زمینه برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز از سال‌ها پیش آغاز شده که منجر به ارائه مدل‌های تجربی شد. البته باید توجه داشت که اغلب این مدل‌ها در شرایط خاص ایجاد شده‌اند و کاربرد آن‌ها در مناطق دیگر بدون واسنجی باعث ایجاد خطای بالا در میزان رسوب برآوردی می‌شود، هم‌چنین ممکن است یک مدل با مفهوم‌سازی صحیح فرآیند فرسایش و رسوب به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات ورودی در بسیاری از مناطق کاربردی نداشته باشد [۴]. در نتیجه برای ارزیابی بهتر و دقت بیشتر در برآورد فرسایش و هدررفت خاک، مدل‌های فرسایش و رسوب نیازمند واسنجی می‌باشند. امروزه مدل‌های جدید و با دقت بیشتری برای برآورد مقدار فرسایش خاک در حوزه‌های مختلف عرضه شده‌اند. مدل G2 یک مدل جدید برای برآورد هدررفت خاک می‌باشد که در پروژه Geoland2، پروژه‌ای که برای خدمات کشاورزی-زیست محیطی در چهارچوب نظارت جهانی برای محیط زیست و امنیت آن می‌باشد، تهیه شده‌است [۵]. این مدل نتیجه همکاری بین بخش‌های خطرات طبیعی و مدیریت اراضی JRC و آزمایشگاه مدیریت جنگل و سنجش از دور دانشگاه Aristotle تسالونیک می‌باشد، این مدل قادر است هدررفت خاک حاصل از فرسایش سطحی و بین‌شیاری ناشی از انرژی قطرات باران و رواناب را در مقیاس ماهانه، فصلی و

## معرفی مدل G2 با قابلیت ارائه نقشه تغییرات مکانی و زمانی هدررفت خاک به عنوان ابزار اساسی مدیریت حوزه‌های آبخیز

هیرو محمدامینی<sup>۱</sup>، عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۲\*</sup> و آزاده کاتبی کرد<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۶/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۲

## چکیده

از آنجایی که اندازه‌گیری مستقیم هدررفت خاک به ویژه در مقیاس دامنه و یا حوزه آبخیز مشکل و پرهزینه می‌باشد، امروزه استفاده از مدل‌های فرسایش گسترش پیدا کرده و روزبه‌روز مدل‌های جدید و با دقت و مزایای بیش‌تر توسعه پیدا می‌کنند. مدل جدیدی برای برآورد هدررفت خاک و دنباله‌رو معادله جهانی فرسایش خاک بوده که دارای قابلیت برآورد هدررفت خاک در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه و نیز ارائه نقشه مکانی هدررفت خاک در سطح حوزه آبخیز می‌باشد. داده‌های ورودی در مدل G2 شامل داده‌های ایستگاه هواشناسی، داده‌های مربوط به خاک و تصاویر ماهواره‌های جدید در جنوب شرق اروپا (یونان و بلغارستان) با اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب نشان داده است که این مدل دقت قابل قبولی برای برآورد متوسط ماهانه هدررفت خاک دارد. از خصوصیات بارز آن ساده، واقع‌گرا و داده‌محور بودن این مدل می‌باشد. با توجه به امکان دسترسی به داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز این مدل، پیشنهاد می‌شود که از آن برای تهیه نقشه مکانی-زمانی هدررفت خاک در برخی حوزه‌های آبخیز معرف کشور استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: فرسایش بین‌شیاری، فرسایش سطحی، مدل G2، مدل‌های تجربی.

۱- دانش‌آموختگان کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.  
 ۲- استادیار (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.  
 رایانامه: a.khaledi@modares.ac.ir

## جدول ۱ مشخصات مدل G2

نوع فرسایش مدنظر	سطحی - بین شیاری
نوع فرسایش مد نظر	هدررفت خاک (واقعی)
ویژگی‌های فرسایش	پاشمان، رواناب
فرآیند فرسایش	چشم‌انداز Landscape
مقیاس مکانی	ماهانه (طولانی مدت، متوسط)
پایه ریاضیات مورد استفاده	تجربی (به دست آمده از مدل USLE)
نوع ارزیابی ارائه شده	کمی (تن بر هکتار)

Strymonas (رودخانه‌ای در یونان و بلغارستان) اجرا شده بود [۶] می‌باشد. در فرمول اصلاح شده‌ی G2، عوامل V و I به منظور بازتاب نقش محافظتی آن‌ها در فرآیند فرسایش به مخرج کسر منتقل شده‌اند. اصلاحات مناسب نیز برای هر یک از عوامل معادله در نظر گرفته شد. پراتر در معادله (۱) تأکید بر طبقه‌بندی عوامل ورودی به دو گروه عواملی که در تقابل با همدیگر هستند شامل عامل بارندگی و پوشش گیاهی (R در مقابل V) و عامل تضعیف شیب و توپوگرافی (T در مقابل I) می‌باشد.

برای کاربرد این مدل مقایس و محدودیت مکانی خاصی ذکر نشده است. در حال حاضر امکان واسنجی این مدل به صورت دستی و توسط توسعه‌دهندگان مدل وجود دارد و احتمالاً بر اساس اعمال ضرایب ریاضی برای پارامترهایی مانند اثر پوشش گیاهی و یا عامل تضعیف شیب صورت می‌گیرد.

### - عامل فرساینده‌ی باران (R)

رابطه بین بارندگی و تولید رسوب به وسیله فرساینده‌ی باران نشان داده می‌شود. در اغلب مطالعات فرسایش خاک، محاسبه عامل فرساینده‌ی باران به دلیل کمبود داده‌های مربوط به سری زمانی بارندگی محدود شده است. فقط چند مطالعه در اروپا به طور مستقیم عامل R را با استفاده از داده‌های با وضوح زمانی بالا، تعیین کرده‌اند [۱۰، ۱۱ و ۱۲]. عامل فرساینده‌ی باران که حاصل انرژی جنبشی یک رویداد بارش با حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای است [۱۳] با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (E_{jk})_K \quad (2)$$

که در آن R متوسط ماهانه فرساینده‌ی باران ( $1-Mj \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )، n: تعداد سال‌های ثبت شده، mj: تعداد رویدادهای فرسایشی در طول ماه EI30، z: شاخص فرساینده‌ی باران در یک رویداد واحد k می‌باشد. رخداد فرساینده‌ی EI30 به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

سالانه محاسبه کند. Panagos و همکاران در سال ۲۰۱۲ از مدل G2 برای محاسبه متوسط نرخ فرسایش و مقدار هدررفت سالانه خاک در جزیره Crete استفاده کرده‌اند. این جزیره واقع در حوزه مدیترانه شرقی با آب و هوای مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب بوده و بزرگ‌ترین جزیره یونان می‌باشد [۶].

### - معرفی مدل

مدل G2 روشی برای تهیه نقشه‌های فصلی و ماهانه فرسایش سطحی و بین‌شیاری ناشی از اثر قطرات باران و رواناب در سلول‌های با اندازه ۳۰۰ متر است. این مدل دنباله‌رو معادله جهانی هدررفت خاک<sup>۱</sup> ویشمایر و اسمیت بوده و به صورت یک پکیج نرم افزاری قابل دانلود و نصب بر روی کامپیوتر است. مدل G2 داده‌های ورودی استاندارد از پایگاه‌های داده جهانی و اروپایی مانند پایگاه داده خاک اروپا<sup>۲</sup>، کربن آلی سطح خاک<sup>۳</sup>، محصولات BioPar از Geoland2، تصاویر ماهواره‌ای<sup>۴</sup> SPOT و مجموعه داده‌های<sup>۵</sup> DEM ماهواره ASTER<sup>۶</sup>، را به صورت هماهنگ به کار می‌گیرد. مشخصات کلی مدل G2 در جدول ۱ خلاصه شده است. مقدار هدررفت خاک در مدل G2 با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$E = \left(\frac{R}{V}\right) \times S \times \left(\frac{T}{I}\right) \quad (1)$$

که در آن E مقدار خاک برداشت شده از یک منطقه در طول یک دوره‌ی زمانی خاص بر حسب تن بر هکتار، R عامل فرساینده‌ی باران برای یک دوره زمانی خاص که انرژی قطرات باران و رواناب را محاسبه می‌کند ( $S, (Mj \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1})$ )، عامل فرسایش‌پذیری خاک ( $(t \text{ ha h Mj}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ ) برابر است با عامل K در معادله جهانی فرسایش خاک که نشان‌دهنده‌ی سهولت جداشدن خاک به وسیله پاشمان و جریان سطحی است، T عامل توپوگرافی (بدون بعد) و مانند فاکتور LS در مدل USLE بوده که بیانگر اثر طول شیب و تندی شیب می‌باشد [۷، V]، عامل احیاء پوشش گیاهی (بدون بعد) که نشان‌دهنده اثر متقابل تمام متغیرهای پوششی و مدیریتی شبیه عامل C در مدل USLE بوده و I عامل تضعیف شیب<sup>۷</sup> (بدون بعد) و تا حدی شبیه عامل P در مدل USLE بوده که تصحیح‌کننده عامل T می‌باشد [۶، ۹۸].

معادله (۱) یک نسخه دوباره تعریف شده از فرمول اصلی  $(E=R \times V \times S \times T \times I)$  می‌باشد که در حوضه مرزی رودخانه

1. Universal Soil loss Equation (USLE)
2. European Soil Database (ESDB)
3. Topsoil Organic Carbon (TOC)
4. Système Pour l'Observation de la Terre (System For Earth Observation)
5. Digital Elevation Model
6. Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer
7. Slope Intercept

جدول ۲- تخمین اولیه مربوط به عامل فرسایش پذیری خاک در مدل G2

S	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	توضیحات	کد
-	-	-	-	فاقد اطلاعات	۰
-	-	-	-	فاقد بافت (هیستوسول و...)	۹
0.0115	83	8	9	درشت (رس کمتر از ۱۸ و شن بیشتر از ۶۵ درصد)	۱
0.0311	58	15	27	متوسط (رس بین ۱۸ تا ۳۵ و شن بیشتر از ۱۵ درصد یا رس کمتر از ۱۸ و شن بین ۱۵ تا ۶۵ درصد)	۲
0.0438	8	74	18	ریز تا متوسط (رس کمتر از ۳۵ و شن کمتر از ۱۵ درصد)	۳
0.0339	4	48	48	ریز (بین ۳۵ تا ۶۰ درصد)	۴
0.0170	0	20	80	خیلی ریز (رس بیشتر از ۶۰ درصد)	۵

**عامل فرسایش پذیری خاک (S)**

عامل فرسایش پذیری خاک نشان دهنده مقدار مجموع سالانه واکنش پروفیل خاک به فرآیند جدایش و حمل خاک به وسیله قطرات باران و جریان سطحی می باشد. عامل فرسایش پذیری خاک از طریق اندازه گیری های مستقیم در کرت های صحرائی تخمین زده می شود [۱۵]. ولی با توجه به اینکه اندازه گیری های مستقیم از نظر مالی در سطح منطقه ای و ملی مشکل می باشد، Renard و همکاران در سال ۱۹۹۷ فرمول زیر را برای محاسبه عامل فرسایش پذیری خاک ارائه دادند [۱۶] (رابطه ۶).

$$S = K = \left[ \frac{2.1 \times 10^{-4} M^{1.4} (2 - OM) + 3.3 (s - 2) + 2.5(P - 3)}{100} \right] \times 0.1317 \quad (6)$$

که در آن S یا K عامل فرسایش پذیری خاک ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ Mj}^{-1}$ )، M ( $\text{mm}^{-1}$ ) عامل بافت که به عنوان درصدی از سیلت و شن ریز تعریف شده، OM درصد ماده آلی، S کلاس های ساختمان خاک ( $S=1$  دانه بندی بسیار ریز،  $S=2$  دانه بندی ریز،  $S=3$  دانه بندی متوسط تا بزرگ،  $S=4$  دانه بندی به صورت قطعات مشخص صفحه ای و بزرگ)، P کلاس نفوذ پذیری ( $P=1$  بسیار سریع تا  $P=6$  خیلی کند) می باشند. معادله (۶) به منظور تخمین عامل فرسایش پذیری خاک در مقیاس اروپا براساس مجموعه داده های سطح خاک LUCAS استفاده شده است. در مدل G2 با داشتن اطلاعاتی از بافت خاک می توان تخمینی اولیه برای عامل فرسایش پذیری خاک در نظر گرفت (جدول ۲).

**عامل توپوگرافی (T) و عامل تضعیف شیب (I)**

عامل T به منظور برآورد تاثیر خصوصیات توپوگرافی روی خطر فرسایش مشخص شده است (عامل توپوگرافی شبیه به عامل LS در مدل USLE می باشد). معادله عامل توپوگرافی به صورت رابطه (۷) می باشد.

$$T = \left( \frac{A_s}{2.3} \right)^{0.4} \times \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (7)$$

که در آن T عامل اثر توپوگرافی (مقدار آن بزرگ تر مساوی یک

$$E = E_p = \left( \sum_{r=1}^0 e_r v_r \right) I_p \quad (3)$$

که در آن  $e_r$  واحد انرژی بارندگی ( $\text{mm}^{-1} \text{Mj ha}$ )،  $V_r$  عمق بارندگی (mm) در دوره زمانی  $I_{30}$  حداکثر شدت بارندگی ( $\text{mm h}^{-1}$ ) در یک دوره ۳۰ دقیقه ای می باشد. واحد انرژی بارندگی برای هر فاصله زمانی با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$e_r = 0.2 [1 - 0.2 \exp[-0.6 i_r]] \quad (4)$$

که در آن  $i_r$  شدت بارش ( $\text{mm h}^{-1}$ ) در بازه زمانی می باشد. در عمل مجموع ماهانه  $EI_{30}$  و متوسط عامل R برای هر ماه محاسبه می شود.

**عامل احیاء پوشش گیاهی (V)**

عامل احیاء پوشش گیاهی درجه ای از پوشش گیاهی و مدیریت آن است که انتظار می رود خاک را در مقابل فرسایش حفاظت کند [۷]. برای تخمین عامل C می توان از جداول تجربی یا نقشه های کاربری اراضی نسبتاً جایگزین و هم چنین در صورتی که اطلاعاتی در مورد مدیریت اراضی در دسترس نبود می توان از تصاویر ماهواره ای استفاده کرد [۱۴]. در مدل G2 عامل احیاء پوشش گیاهی یک عامل پویا بوده و ترکیبی ورودی از سری های زمانی لایه های پوشش گیاهی و پارامترهای ثابت تجربی کاربری اراضی می باشد که به صورت رابطه (۵) شده است.

$$V = e^{(LU \times F_{\text{cove}})} \quad (5)$$

که در آن V عامل احیاء پوشش گیاهی (نرمال شده و بدون بعد) بوده که برای زمین های لخت و مدیریت بسیار ضعیف برابر با یک و برای زمین های با شرایط مدیریتی بهتر بیشتر از یک می باشد، F cover یک لایه پوشش گیاهی نرمال شده و دامنه آن صفر تا یک بوده و در نهایت LU یک متغیر تجربی برای کاربری اراضی (برای یک مکان خاص ثابت است) و دارای دامنه یک تا ۱۰ که مربوط به مدیریت و احیاء متفاوت اراضی می باشد.

جدول ۳- پویا و ایستا بودن عوامل مورد استفاده در مدل G2

علامت	عوامل	نوع عوامل
E	هدررفت واقعی خاک (تن بر هکتار)	عوامل پویا
R	فرساینده‌گی باران (اصلاح شده‌ی مدل USLE توسط مدل G2)	
V	احیاء پوشش گیاهی (گسترش یافته توسط مدل G2)	
S	فرسایش پذیری خاک (اصلاح شده‌ی مدل USLE توسط JRC از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵)	عوامل ایستا
T	اثرات توپوگرافی	
I	اثر تضعیف شیب (توسعه یافته به وسیله G2)	

جدول ۴- مشخصات داده‌های ورودی مورد نیاز مدل G2

متغیرهای مدل	داده‌های ورودی	جزئیات/ مقیاس
فرساینده‌گی باران (R)	ایستگاه‌های هواشناسی	۲۵ ایستگاه با داده‌های ماهانه
احیاء پوشش گیاهی (V)	استخراج شده از BioPar ماهواره MERIS	اندازه پیکسل ۳۰۰ متر
فرسایش پذیری خاک (S)	کربن آلی خاک	اندازه پیکسل یک کیلومتر
اثر توپوگرافی (T)	DEM استخراج شده از ماهواره ASTER	اندازه پیکسل ۳۰ متر
تضعیف اثر شیب (I)	موزائیک‌های SPOT	اندازه پیکسل ۲۵ متر

جدول ۴ نشان داده شده است.

مدل G2 در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب (زمستان‌های معتدل و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک) تهیه شده است و در نتیجه انتظار می‌رود که این مدل برای مناطق شمال، شمال غرب و غرب کشور قابل استفاده باشد که البته ابتدا لازم است با استفاده از داده‌های مشاهداتی در یک یا چند حوزه آبخیز واقع در این مناطق واسنجی شود.

#### جمع‌بندی مزایای مدل G2

G2 مدلی پویا بوده که مقدار تغییرات هم‌زمان فرساینده‌گی باران و احیاء پوشش گیاهی را اندازه می‌گیرد، هم‌چنین این مدل ساده و نیاز به داده کمی دارد. مدل G2 واقع‌گرا، عملی و داده محور می‌باشد. همان‌طور که گفته شد این مدل براساس مدل‌های تجربی خانواده USLE می‌باشد که برای فرساینده‌گی ناشی از رگبار نیاز به کالیبراسیون دارد. از مزایای دیگر مدل G2 می‌توان برآورد و ارائه نقشه مکانی مقادیر ماهانه، فصلی و سالانه هدررفت خاک، داشتن ترکیبی از مزایای دو مدل USLE و Gavrilovic، در نظر گرفتن پارامترهای موثر کاربری اراضی و معرفی یک متغیر اصلاحی برای اثر توپوگرافی را نام برد. هم‌چنین مدل G2 به دلیل ارائه نقشه توزیع مکانی و زمانی هدررفت خاک می‌تواند به عنوان یک ابزار بسیار کارآمد مدیریتی برای انتخاب زمان و مکان عملیات حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرد.

و بدون بعد)،  $A_s$  تجمع جریان (m) و شیب (rad) می‌باشد. تجمع جریان به عنوان جریان انباشته شده در یک سلول از تمام سلول‌های بالادست تعریف شده است. مقدار آن با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) محاسبه می‌شود. در صورتی که مدل رقومی ارتفاع که برای محاسبه  $A_s$  و استفاده می‌شود دارای خطا باشد این خطا به خروجی نیز منتقل می‌شود [۱۷]. به منظور جبران این نوع عدم قطعیت مدل G2 به تحت پوشش قرار دادن محدودیت‌های معادله USLE و معادله Moore-Burch [۱۸] توجه ویژه‌ای کرده که شامل تندی شیب کمتر از ۱۴ درجه، طول شیب حداکثر تا ۱۰۰ متر [۱۹] و اندازه سلول رستری ارتفاعی کمتر از ۳۰ متر می‌باشد. هم‌چنین مدل G2 یک فاکتور اصلاحی (عامل I) برای طول شیب توسعه داده که تغییرات کاربری اراضی را بیان می‌کند. این عامل منجر به کاهش نسبی اثر عامل T روی خطر فرسایش می‌شود [۶]. لایه I، با استفاده از یک فیلتر سوبل (فیلتر شناسایی لبه غیرجهت‌دار) روی تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا برآورد شده است. محاسبه عامل I تجدیدنظر شده (در مقایسه با فرمول قبلی در مدل G2 [۶] با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$I = 1 + \sqrt{\frac{S_f}{255}} \quad (8)$$

که در آن  $S_f$  مقدار فیلتر سوبل تصویر در محدوده ۰-۲۵۵ است. پویا و یا ایستا بودن عوامل مورد نیاز مدل G2 در جدول ۳ و هم‌چنین نوع داده‌های ورودی مورد نیاز مدل G2 و جزئیات و مقیاس آن‌ها در

10. Mikos, M., Jost, D., Petkovsek, G. 2006. Rainfall and runoff erosivity in the alpine climate of north Slovenia: a comparison of different estimation methods. *Hydro- logical Sciences Journal*. 51(1): 115-126.

11. Loureiro, N.D., Coutinho, M.D. 2001. A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*. 250(1-4): 12-18.

12. Angulo-Martinez, M., Lopez-Vicente, M., Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S. 2009. Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*. 13: 1907-1920.

13. Brown, L.C., Foster, G.R. 1987. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*. 30(2): 379-386.

14. Vrieling, A. 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. *Catena*, 65(1): 2-18.

15. Kinnell, P.I.A. 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. *Journal of Hydrology*. 385(1-4): 384-397.

16. Renard, K.G., Foster G.R., Weesies, G.A., McCool D.K., Yoder, D.C., and Cordinators, D.C. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S: Department of Agriculture. *Agriculture Handbook*. No. 703, 404pp.

17. Abd Aziz, S., Steward, B.L., Kaleita, A.L., and Karkee, M. 2012. Assessing the effects of DEM uncertainty on erosion rate estimation in an agricultural field. *Transactions of the ASABE*. 55(3): 785-798.

18. Moore, I.D., and Burch, G.J. 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society America Journal*. 50(5): 1294-1298.

19. Moore, I.D., and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*. 4(5): 423-428.

## منابع مورد استفاده

1. Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G. (2002). *Soil erosion*, John Wiley & Sons, Inc, York, 338 pp.

2. Javadi, M.R., Gh. Zehtabian, H. Ahmadi, Sh. Ayobi and M. Jafari. 2011. Comparison and estimation of potential runoff and suspended sediment production by using rainfall simulator (a case study: Nomeh Rood Watershed). *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*. 6(2): 1-14 (in Persian).

3. Davari, M., Bahrami, H.A. and Ghoddousi, J. (2004). Comparison of sediment production estimated results using two models MPSIAC and EPM (A case study in Nojian watershed), The first National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, University of Kerman. (in Persian).

4. Sadeghi, S.H.R., Azari, M., GhaderiVangah, B. 2008. Field evaluation of the hill slope Erosion Model (HEM) in Iran. *Biosystems Engineering*. 99(2): 304-311.

5. Panagos, P., Karydas, C.G., Ballabio, C. and Gitas, I.Z. 2014. Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 27B: 147-155.

6. Panagos, P., Karydas, C.G., Gitas, I.Z. and Montanarella, L. 2012a. Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service. *International Journal of Digital Earth*. 5(6): 461-487.

7. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conservation Planning*. Washington, D.C. *Agriculture Handbook*, No. 537.

8. Karydas, C.G., Zdruli, P., Koci, S., Sallaku, F., 2015. Month-step erosion risk monitoring of Ishmi-Erzeni watershed, Albania using the G2 model. *Environmental Modeling and Assessment*. In Press.

9. Karydas, CG, P Panagos, IZ Gitas, 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics, *International Journal of*

*Abstract*

## Introducing G2 Model with the Ability to Provide Spatial and Temporal Soil Loss Map as the Main Tool for Watershed Management

H. Mohammadamini<sup>1</sup>, A. Khaledi Darvishan<sup>2\*</sup> and A. Katebikord<sup>1</sup>

Received: 2015/09/12 Accepted: 2016/02/21

Direct measurement of soil loss especially in hillslope and watershed scales is expensive and difficult thus soil erosion models are widely used and the new models with more accuracy and advantages are developed day by day. G2 is a new USLE-based soil loss model with the ability to predict soil loss in monthly, seasonal and annual timescales and provide the spatial soil loss map in watershed scale. The input data in G2 model includes meteorological and pedological data and ASTER, SPOT and MERIS satellite images. The results of G2 in Southeast Europe (Greece and Bulgaria) with Mediterranean and semi-humid climate showed that this model has the acceptable accuracy to predict monthly soil loss. The main characteristics of G2 model are simplicity, being realistic and data-driven. It's recommended to use G2 model to prepare the spatio-temporal soil loss map in some representative watersheds of Iran, because of the availability of data and satellite images.

**Keywords:** *Empirical Models, G2 Model, Interrill Erosion, Sheet Erosion.*

1. Former Master Students, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

2. Assistant Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Tel: +98 11 44553101. Email: a.khaledi@modares.ac.ir