محاسبه میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز ماهنشان استان زنجان با مدل های RUSLE و MPSIAC مبتنی بر فن‌آوری سیستم اطلاعات جغرافیائی(GIS)

فرشادمیردار هریجانی ,زهراچترسیماب،رحمت الله کاردان،
کارشناسان ارشد، سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور ،دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

آثار سوء پدیده فرسایش و هدررفت خاک در کوتاه مدت ممکن است چندان چشمگیر و محسوس نباشد، ولی در بلند مدت یکی از عوامل اصلی در کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش محصول، رسوب مواد در آبراهه ها، کانال های آبیاری و رودخانه ها، کاهش ظرفیت مخازن و عمر سدها، وقوع سیل و آلودگی محیط زیست می‌شود.
این تحقیق با هدف برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز ماهنشان واقع در استان زنجان با مساحتی بالغ بر ۲۳۲۴/۷۵ کیلومتر مربع مبتنی بر فن‌آوری سیستم اطلاعات جغرافیائی(GIS) و مدل های RUSLE و MPSIAC انجام گرفته است. در این تحقیق لایه های مورد نیاز مدل‌ها در محیط GIS و نرم افزار ArcHydro تهیه شد و در نهایت با تلفیق لایه های به دست آمده میزان فرسایش در حوزه آبخیز به ترتیب در مدل‌های RUSLE و MPSIAC برابر ۱۰.۰۴ و ۹.۹۰ تن در سال برآورد شده است. و همچنین مقدار رسوب حوزه آبخیز در هر دو روش ۳.۳ تن در سال برآورد گردید. سپس مقایسه این دو مدل نشان داد که روش MPSIAC برای این حوزه آبخیز با توجه به آزمون مجموع حداقل مربعات میانگین R.S.S مناسب‌تر است.

واژگان کلیدی: فرسایش و رسوب، حوزه آبخیز ماهنشان، ***ArcHydro, MPSIAC, RUSLE.***

مقدمه :

فرسايش صرف نظر از انواع شكلي آن، پديده‌اي كهن به قدمت پيدايش خشكي‌ها در كره زمين است. پيامدهاي فرسايش خاك توسط برخي از پژوهشگران به حدي خطرناك قلمداد شده است كه شكوفائي و نابودي تمدن‌هاي پيشين را به اين پديده نسبت داده‌اند. هرچند قدمت فرسايش خاك برابر عمر كره زمين است ولي در قرن بيستم به دليل افزايش جمعيت و استفاده بيش از حد از زمين تخريب خاك سير صعودي داشته است و خسارات فراواني از طريق هدر رفت خاک و انباشت رسوبات در مخزن سدهاي ذخيره‌اي، كانال‌هاي آبرساني، بستر رودخانه‌ها و سطح اراضي كشاورزي به كشور وارد مي‌شود. به طور مثال، افزايش ٤٥٠ درصدي ميزان فرسايش خاک در كشور طي سال‌هاي ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۸ نشانگر بحراني بودن وضعيت فرسايش و لزوم كنترل آن در ايران مي‌باشد(احمدي، ۱۳۷۸). در طبيعت، معضل فرسايش خاک در مقابل پديده خاك‌سازي[1] قرار دارد و عوامل مختلفي طبيعي و انساني در بروز و تشديد فرسايش نقش دارند. در بررسي عوامل فرسايش خاك اساساً نمي‌توان عامل مشخص و معيني را بعنوان عامل اصلي فرسايش در يك منطقه معرفي نمود و فرسايش موجود را بايد معلول تأثيرات متقابل مجموعه عوامل و عناصر مؤثر در ايجاد فرسايش دانست. فرسايش خاك توسط آب

[1] Pedogenes

يكي از مسائل مهم و اصلي بازدارنده براي تحقق توسعه اقتصادي و اجتماعي به دليل تخريب منابع زيست محيطي افزون بر عامل بازدارنده در دستيابي به امنيت غذايي در جهان مي‌باشد (قدوسي،۱۳۸۲). هدف از شناخت عوامل مؤثر در فرسايش خاك، ارزيابي خطرات فرسايش و مشخص كردن مناطقي بوده است كه از نظر خطر فرسايش مشابه بوده و به نظر مي‌رسيده است كه از اين طريق امكان برنامه‌ريزي براي حفاظت خاك و مبارزه با فرسايش ميسر مي‌شود. با توجه به چنين نگرش و تفكری بوده است كه لزوم آگاهي از مقدار و شدت فرسايش براي تعيين استراتژي‌هاي كارآمد و بهينه حفاظت خاك و مبارزه با فرسايش و توليد رسوب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته تا بر اساس آن بتوان موقعيت مكاني و ميزان خطر فرسايش را پيش‌بيني نمود(Morgan، ۱۹۹۵).

فرسايش خاک و رسوبگذاری به وسيله آب شامل فرايندهای جداسازي ذرات خاک توسط قطرات باران، انتقال و رسوب مواد توسط جريان آب می باشد . Foster and Meyer, 1977; Wischmeier and Smith, (1978; Julien, 1998)

۲-مواد و روش ها:

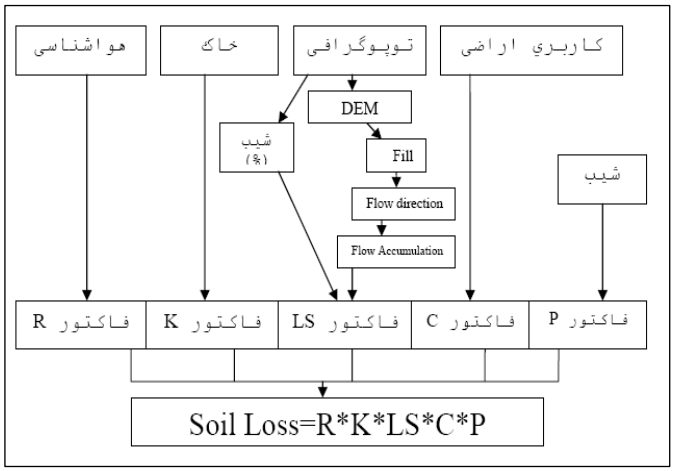
۲-۱-موقعیت جغرافیائی محدوده مطالعاتی ماهنشان – زنجان

از نظر موقعیت جغرافیایی این محدوده بین ً۳۰،َ۰۷، °۴۷ تاً۴۵،َ۰۳، °۴۸ طول شرقی وً۲۴،َ۴۰، °۳۶ تاً۴۱،َ۰۳، °۳۷ می‌باشد. وسعت حوزه آبخیز ماهنشان برابر ۲۳۲۴۷۴/۷۳ هکتار معادل ۲۳۲۴/۷۵ کیلومتر مربع است. حداکثر ارتفاع قلل حوزه آبخیز به نام کوه صندوق سندران و به ارتفاع ۳۲۹۸ متر و حداقل ارتفاع محدوده برابر ۱۱۳۷ متر است که اختلافی معادل ۲۱۶۱ متر را رقم می‌زند.

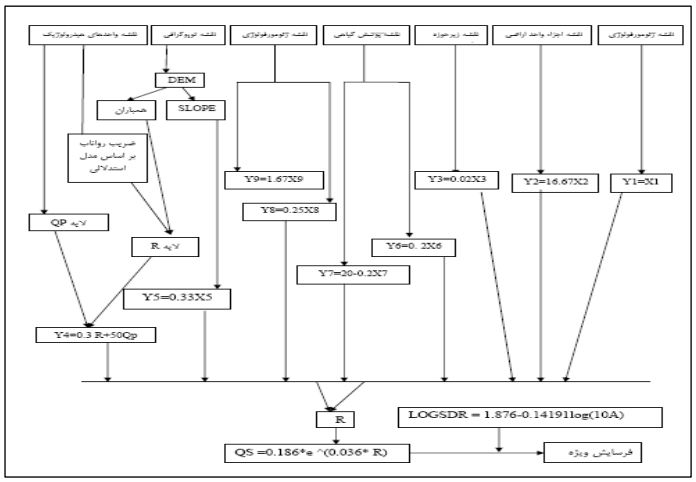
۲-۲ – روش تحقیق

اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش و رسوب در هر واحد مطالعاتی بدلیل پرهزینه بودن احداث ایستگاه‌های رسوب-سنجی، وقت‌گیر بودن و فقدان افراد کارآزموده در همه‌ی واحدهای مطالعاتی امکان‌پذیر نیست و استفاده از روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب مناطق فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی رایج شده است. این مدل‌ها (RUSLEوMPESIAC) قادرند میزان فرسایش و رسوب را به صورت کمّی برآورد نمایند.

در اشکال (۱) و (۲) نمودارهای چرخش اطلاعات روش های فرسایشی به کار رفته در این تحقیق نشان داده شده است.



شکل شماره ۱ : گردش اطلاعات مدل فرسایشی RUSLE



شکل شماره 2 : گردش اطلاعات مدل فرسایشی MPSIAC

۲-۳- مبانی نظری محاسبه فرسایش وِیژه

الف- روش RUSLE :

Soil Loss=R*K*LS*C*P (معادله ۱

هریک از پارامترهای ذکر شده به شرح ذیل است:

محاسبه فاکتور R: عامل فرسایندگی باران (شاخص فرسایندگی) می‌تواند برای یک واقعه بارندگی و یا به طور متوسط برای بارندگی یک سال آبی مورد محاسبه قرارگیرد. در این مقاله هدف برآورد فرسایش خاک در مقیاس متوسط سالیانه می‌باشد. برای محاسبه عامل فرسایندگی باران روش‌های فورنیه اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت.

$R= \sum r^2/p$

محاسبه فاکتور L: هر چه طول شیب زیادتر باشد شدت فرسایش بیشتر می شود. فرسایش در طول شیب یکنواخت نیست و در قسمت های انتهایی بیشتر است. برخی از تحقیقات نشان داده است که مقدار فرسایش در انتهای طول شیب ۱.۵ برابر متوسط فرسایش طول شیب است(رفاهی 1378). بین طول شیب و فرسایش رابطه ای به شکل زیر وجود دارد.

$$L = (X / 22.13)^{m} \quad ، \quad X = (Flow\ \ accumulation * Cell\ value) \quad ، \quad m = \frac{B}{B+1}$$

$$B = (Sin(slop * 0.01745) / 0.0896) / \left[3 * Sin(slop * 0.01745)^{0.8} + 0.56\right]$$

محاسبه فاکتور S: درجه شیب ، شکل شیب ، طول شیب ، جهت و موقعیت شیب از مهمترین ویژگی های شیب هستند که روی فرسایش خاک توسط آب اثر می‌گذارند. درجه شیب : زمانیکه شیب تندتر می‌شود ، شدت رواناب افزایش می‌یابد در نتیجه توانایی آب برای جدا کردن و انتقال ذرات افزایش می‌یابد . در صورتیکه شدت جریان کم باشد ، جدا شدن و انتقال ذرات خاک از لایه سطحی تنها به جدا شدن توسط بارندگی مربوط می‌شود .
در مدل RUSLE محاسبه فاکتور S به صورت زیر می باشد :

$$S = 10.8\sin\theta + 0.03 \qquad slopes \prec 9\%n \;,\; S = 16.8\sin\theta - 0.5 \qquad slopes \geq 9$$

$$[[S = con(\tan(slop * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \sin(slop) * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \sin(slop) * 0.01745) - 0.5]]$$

فاکتور C: مقدار عامل C تحت تاثیر نوع گیاه، تعداد بوته در واحد سطح، مقدار بقایای نباتی، درصد پوشش خاک توسط آسمانه گیاهی (درصدی از کل سطح خاک که در تصویر قایم شاخ و برگ گیاهی از دید پنهان می ماند پوشش آسمانه گیاهی نامیده می شود) و ترتیب کشت در تناوب قرار می گیرد.

فاکتور P: عامل حفاظت خاک عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین تندترین شیب شخم زده شود. در اینجا منظور از کارهای حفاظتی بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس بندی است.

محاسبه فاکتور K

آقای ویشمایر و همکارانش با آزمایش های متعدد توانستند همبستگی خوبی را بین عامل فرسایش پذیری خاک (K) و ۵ عامل فیزیکی خاک یعنی درصد سیلت (۰.۰۰۲-۰.۰۵ mm) + شن خیلی ریز (۰.۰۵-۰.۱ mm)، درصد شن (۰.۱-۲ mm)، مقدار مواد آلی، ساختمان خاک و نفوذ پذیری خاک بدست آورند. (رفاهی 1378)

محاسبه فرسایش ویژه با استفاده از روش RUSLE

در محیط نرم افزاری GIS تمامی عوامل موثر در فرسایش که در بالا توضیح داده شد. محاسبه شد سپس با استفاده از دستور Raster Calculator لایه های به دست آمده در هم ادغام شد و میزان فرسایش ویژه محاسبه شد.و نتایج آن در جدول شماره ۱ آورده شد.

ب- روش MPSIAC

برای براورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از اجزای واحد اراضی یا واحد هیدرولوژیک، ۹ عامل موثر در فرسایش و رسوب زایی بر حسب شدت و ضعف نقش آنها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند.(شکل شماره ۲) نهایتا نمره بدست آمده از ۹ عامل در هر یک از اجزای واحد اراضی بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب زایی در آن واحد می باشد(رفاهی 1378).

نتایج عوامل ۹ گانه موثر در رسوب ویژه حوزه در جدول شماره ۲ آورده شده است. نهایتا عدد بدست آمده از جمع این ۹ فاکتور را درجه رسوب دهی آن زیر حوزه می نامند.(جدول شماره ۳) همچنین می توانیم با توجه به درجه رسوب دهی با استفاده از فرمول زیر رسوب ویژه یا همان میزان تولید رسوب در واحد سطح آن زیر حوزه را نیز تعیین کنیم.

QS =0.186*e ^(0.036* R)

جدول شماره(۱):محاسبات مربوط به عوامل موثر در فرسایش ویژه در روش RUSLE

نام زیرحوزه	R	M	S	L	K	C	P	ES	QS	مساحت
M۱-۱-۱	۴۵.۷۰	۰.۱	۰.۱	۰.۶۲	۰.۳۳	۰.۱۶	۰.۸	۱۱.۹۹	۳.۹	۱۰۰۸۴.۸۷
M۱-۱-int	۳۸.۷۰	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۵۷	۰.۳۴	۰.۱۵	۰.۸۳	۶.۵۰	۲.۱	۹۶۳۵.۵۰
M۱-۲	۴۲.۱۵	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۸	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۵۷	۹.۳۱	۳.۰	۱۱۲۰۳.۶۲
M۱-۳-۱	۴۳.۶۳	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۷	۰.۳۷	۰.۲۷	۰.۵۶	۱۲.۷۲	۴.۱	۹۴۰۵.۹۳
M۱-۳-int	۳۸.۰۸	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۷	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۵۶	۷.۲۲	۲.۶	۴۴۴۱.۹۶
M۱-int	۳۴.۹۹	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۵۶	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۵۵	۴.۹۴	۱.۶	۸۸۷۵.۰۱
M۲	۳۹.۲۴	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۱	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۶	۱۰.۶۹	۳.۵	۸۴۲۴.۰۰
M۳-۱-۱-۱-int	۳۸.۸۸	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۱	۰.۳۲	۰.۲۲	۰.۶	۸.۴۲	۲.۷	۱۰۹۹۵.۶۳
M۳-۱-۱-۲	۴۵.۵۳	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶	۰.۳۱	۰.۲۱	۰.۵۹	۱۲.۰۶	۴.۱	۷۱۴۰.۱۶
M۳-۱-۱-۳	۴۲.۲۴	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۱	۰.۳۳	۰.۲۳	۰.۶	۱۲.۴۶	۴.۶	۴۱۹۶.۹۴
M۳-۱-۱-int	۳۸.۰۰	۰.۱	۰.۱	۰.۶۲	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۶۱	۹.۱۷	۳.۰	۹۷۶۰.۳۱
M۳-۱-۲	۴۵.۲۶	۰.۱	۰.۱	۰.۶	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۵۹	۱۳.۵۴	۴.۵	۷۹۳۹.۵۶
M۳-۱-۳-۱	۴۲.۸۰	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۵۹	۰.۳۳	۰.۲۳	۰.۵۸	۱۰.۸۰	۳.۹	۴۴۳۱.۶۶
M۳-۱-۳-۲	۴۴.۳۰	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶	۰.۳۲	۰.۲۲	۰.۵۹	۱۲.۶۸	۴.۰	۱۱۳۱۵.۱۱
M۳-۱-۳-int	۳۶.۳۵	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۸	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۵۷	۸.۰۱	۳.۰	۳۲۷۷.۴۵
M۳-۱-int	۳۷.۴۸	۰.۱	۰.۱	۰.۶۲	۰.۳۶	۰.۲۶	۰.۶۱	۹.۷۵	۳.۲	۸۶۷۲.۱۳
M۳-int	۳۷.۶۸	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۶۳	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۶۲	۱۱.۴۹	۳.۷	۹۹۴۰.۵۳
M۴-۱-۱	۴۶.۴۳	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۴	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۶۳	۱۳.۲۲	۴.۴	۸۷۷۴.۵۱
M۴-۱-۲-۱-۱	۵۱.۲۳	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۶۷	۰.۳۳	۰.۲۳	۰.۶۶	۱۴.۵۸	۴.۸	۹۴۶۹.۴۲
M۴-۱-۲-۱-۲	۴۸.۷۲	۰.۱	۰.۱	۰.۶۳	۰.۳۲	۰.۲۲	۰.۶۲	۱۰.۸۸	۳.۵	۱۰۳۷۰.۳۶
M۴-۱-۲-۱-۳	۴۸.۰۲	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۶۶	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۶۰	۱۶.۷۴	۵.۸	۶۴۷۳.۵۰
M۴-۱-۲-۱-۴	۴۷.۹۸	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۱	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۶	۱۲.۲۴	۴.۶	۳۵۱۸.۶۴
M۴-۱-۲-۱-int	۴۳.۱۶	۰.۱	۰.۱	۰.۶۳	۰.۳۳	۰.۲۳	۰.۶۲	۱۲.۷۶	۴.۲	۹۴۸۰.۰۱
M۴-۱-۲-int	۳۹.۶۹	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۹	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۵۸	۹.۵۷	۳.۲	۷۹۰۹.۲۵
M۴-۱-int	۳۶.۰۱	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۵۸	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۵۷	۵.۹۸	۲.۰	۸۰۶۰.۱۵
M۴-۲-۱	۳۸.۶۵	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۵۵	۰.۳۶	۰.۲۶	۰.۵۴	۷.۵۰	۲.۴	۹۴۶۱.۷۷
M۴-۲-int	۳۵.۰۲	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۵۵	۰.۳۶	۰.۲۶	۰.۵۴	۵.۹۹	۲.۲	۴۶۸۱.۴۹
M۴-int	۳۴.۹۷	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۵۸	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۵۷	۶.۴۳	۲.۲	۶۸۰۵.۲۰
M-int	۳۳.۳۸	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۵۳	۰.۳۵	۰.۲۰	۰.۵۲	۳.۴۰	۱.۱	۷۷۳۰.۰۷
کل حوزه	۴۱.۳۵	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۶۰	۰.۳۴	۰.۲۴	۰.۵۹	۱۰.۰۴	۳.۳	۲۳۲۴۷۴.۷۴

جدول شماره(۲) تعیین میزان درجه رسوبدهی (R) در واحدهای ناحیه مطالعاتی ماهنشان

زیر حوضه	Y۱	Y۲	Y۳	Y۴	Y۵	Y۶	Y۷	Y۸	Y۹	مجموع امتیازات R	رسوب ویژه (متر مکعب در هکتار)	Es(T/ha.Y)
M۱-۱-۱	۷,۲۶	۵,۵۷	۴,۶۶	۷.۴۵	۹,۰۱	۹,۷۶	۱۲,۸۰	۱۱,۸۴	۸,۷۷	۷۷.۱۲	۳.۸۸	۱۲.۰۲
M۱-۱-int	۶,۶۷	۵,۶۶	۴,۱	۵,۶۶	۴,۶	۱۱,۲۷	۱۳,۵۱	۱۳,۳۱	۱۰,۶۱	۷۵.۳۸	۳,۶۵	۱۱.۲۲
M۱-۱	۶,۹۷	۵,۶۲	۴,۳۹	۳.۸۳	۶,۸۶	۱۰,۴۹	۱۳,۱۴	۱۲,۵۶	۹,۶۷	۷۳.۵۳	۳.۴۱	۱۰.۵۳
M۱-۲	۶,۲	۵,۸۳	۴,۳۷	۵.۲۷	۶,۱۴	۱۰,۶۸	۱۳,۲۲	۱۲,۵۸	۹,۷۷	۷۴.۰۶	۳.۴۸	۱۰.۹۳
M۱-۳-۱	۷,۶۱	۶,۱۹	۴,۴۹	۴.۸۸	۵,۴۱	۱۰,۹۱	۱۳,۲۲	۱۲,۸۵	۱۰,۲۵	۷۵.۸۰	۳.۷۰	۱۱.۳۵
M۱-۳-int	۵,۹۸	۵,۸۷	۴,۰۵	۲.۲۵	۵,۱۳	۱۱,۳۹	۱۳,۶۶	۱۱,۸۵	۹,۳۶	۶۹.۵۴	۲.۹۵	۸.۱۴
M۱-۳	۷,۰۹	۶,۰۹	۴,۳۵	۴.۰۳	۵,۳۲	۱۱,۰۶	۱۳,۳۶	۱۲,۵۳	۹,۹۶	۷۳.۸۰	۳.۴۴	۱۰.۱۹
M۱-int	۵,۵۳	۵,۹۱	۳,۸	۶.۶۵	۴,۲۱	۱۲,۱۸	۱۴,۲۲	۱۴,۱۲	۱۱,۱۴	۷۷.۷۶	۳.۹۷	۱۲.۰۸
M۱	۶,۶	۵,۸۳	۴,۲۸	۲.۶۱	۵,۸۷	۱۰,۹۶	۱۳,۳۹	۱۲,۸۱	۱۰,۰۱	۷۲.۳۶	۳.۲۷	۱۰.۰۰
M۲	۵,۱۷	۵,۷۸	۴,۱۵	۴.۳۴	۵,۷۵	۱۱,۹۱	۱۴,۰۶	۱۲,۵۷	۸,۹۹	۷۲.۷۱	۳.۳۱	۹.۹۹
M۳-۱-۱-۱-int	۶,۶۵	۵,۳۸	۴,۱۲	۱۱.۴۱	۷,۷۳	۹,۹۷	۱۲,۷۸	۱۲,۴۴	۹,۰۳	۷۹.۵۱	۴.۲۳	۱۳.۲۶
M۳-۱-۱-۲	۴,۴۴	۵,۲۲	۴,۶۴	۱۰.۹۹	۸,۰۶	۱۰,۴۶	۱۲,۷۸	۱۲,۷۳	۸,۱۳	۷۷.۴۴	۳.۹۳	۱۱.۵۸
M۳-۱-۱-۳	۶,۱۵	۵,۴۵	۴,۳۸	۱۲.۶۹	۸,۵۳	۱۰,۴۴	۱۲,۷۹	۱۱,۱۱	۸,۱۹	۷۹.۷۳	۴.۲۶	۱۱.۶۶
M۳-۱-۱-int	۶,۹۳	۵,۸۰	۴,۰۵	۱۲.۷۶	۹,۵۲	۹,۷۲	۱۲,۵۴	۱۱,۸۳	۹,۲۹	۸۲.۴۴	۴.۷۰	۱۴.۴۹
M۳-۱-۱	۶,۱۸	۵,۴۸	۴,۲۵	۸.۱۸	۸,۴۵	۱۰,۰۷	۱۲,۷۱	۱۲,۱۴	۸,۸۰	۷۶.۲۵	۳.۷۶	۱۱.۳۶
M۳-۱-۲	۵,۵۴	۵,۶۳	۴,۶۲	۱۳.۱۷	۸,۶۹	۹,۴۵	۱۲,۳۹	۱۲,۱۵	۸,۵۲	۸۰.۱۶	۴.۳۳	۱۲.۹۶
M۳-۱-۳-۱	۵,۸۵	۵,۴۳	۴,۴۳	۱۲.۰۳	۷,۶۳	۱۰,۰۰	۱۲,۵۳	۱۲,۸۰	۸,۶۰	۷۹.۳۰	۴.۲۰	۱۱.۵۷
M۳-۱-۳-۲	۶,۴	۵,۲۹	۴,۵۵	۱۰.۱۱	۷,۰۱	۱۰,۰۱	۱۲,۷۹	۱۲,۲۶	۸,۲۵	۷۶.۶۵	۳.۸۲	۱۲.۰۱
M۳-۱-۳-int	۶,۴۹	۵,۶۵	۳,۹۲	۱۱.۴۵	۵,۵۴	۱۰,۳۶	۱۲,۵۲	۱۲,۰۵	۸,۸۲	۷۶.۸۰	۳.۸۴	۱۰.۱۳
M۳-۱-۳	۶,۲۹	۵,۳۸	۴,۴۱	۷.۰۲	۶,۹	۱۰,۰۷	۱۲,۶۸	۱۲,۳۵	۸,۴۳	۷۳.۵۲	۳.۴۱	۱۰.۰۷
M۳-۱-int	۶,۷۱	۵,۹۶	۴,۰۱	۱۴.۳۵	۷,۸۵	۹,۸۸	۱۲,۲۵	۱۲,۶۶	۹,۳۳	۸۳.۰۱	۴.۸۰	۱۴.۵۴
M۳-۱	۶,۲	۵,۵۳	۴,۳۱	۵.۶۹	۷,۹۷	۹,۹۷	۱۲,۶۰	۱۲,۲۷	۸,۷۳	۷۳.۲۷	۳.۳۸	۱۰.۱۳
M۳-int	۶,۱۵	۵,۷۲	۴,۰۳	۹.۲۹	۱۰,۱۱	۱۱,۳۱	۱۳,۵۱	۱۱,۸۵	۸,۸۰	۸۰.۷۷	۴.۴۳	۱۳.۶۸
M۳	۶,۲	۵,۵۶	۴,۲۷	۳.۹۱	۸,۲۴	۱۰,۱۴	۱۲,۷۲	۱۲,۲۱	۸,۷۴	۷۱.۹۹	۳.۲۳	۹.۷۱
M۴-۱-۱	۶,۵۴	۵,۸۷	۴,۷۱	۸.۰۱	۷,۰۴	۹,۷۲	۱۲,۴۰	۱۲,۳۶	۹,۴۰	۷۶.۰۵	۳.۷۳	۱۱.۳۴
M۴-۱-۲-۱-۱	۶,۲۱	۵,۵۷	۵,۱	۱۴.۱۷	۱۱,۵۸	۱۰,۸۵	۱۳,۱۸	۱۱,۲۹	۸,۳۵	۸۶.۳۰	۵.۴۰	۱۶.۵۸
M۴-۱-۲-۱-۲	۶,۶۶	۵,۴۰	۴,۹	۱۵.۴۱	۱۰,۳۳	۱۰,۸۰	۱۳,۲۰	۱۱,۴۲	۸,۳۵	۸۶.۴۷	۵.۴۴	۱۶.۸۹
M۴-۱-۲-۱-۳	۶,۲۶	۵,۶۴	۴,۸۶	۱۰.۳۲	۸,۷۴	۱۱,۶۶	۱۳,۹۵	۱۲,۱۷	۸,۹۳	۸۲.۵۳	۴.۷۲	۱۳.۷۱
M۴-۱-۲-۱-۴	۵,۷۲	۵,۶۲	۴,۸۴	۹.۶۹	۶,۹۶	۱۱,۵۹	۱۳,۸۵	۱۲,۰۴	۸,۸۷	۷۹.۱۸	۴.۱۸	۱۱.۱۵
M۴-۱-۲-۱-int	۶,۵۱	۵,۵۰	۴,۴۶	۱۳.۵۹	۸,۴	۱۰,۱۸	۱۳,۴۰	۱۲,۹۳	۸,۴۲	۸۳.۳۸	۴.۸۶	۱۴.۹۳
M۴-۱-۲-۱	۶,۳۶	۵,۵۲	۴,۸۳	۷.۰۸	۹,۶	۱۰,۸۸	۱۳,۴۲	۱۱,۹۳	۸,۵۱	۷۸.۱۳	۴.۰۳	۱۲.۱۲
M۴-۱-۲-int	۶,۸۳	۵,۸۳	۴,۱۹	۴.۷۱	۵,۲	۱۱,۲۱	۱۳,۶۵	۱۲,۲۲	۹,۵۰	۷۳.۳۵	۳.۳۹	۱۰.۱۴
M۴-۱-۲	۶,۴۴	۵,۵۸	۴,۷۲	۵.۲۹	۸,۸۶	۱۰,۹۳	۱۳,۴۶	۱۱,۹۸	۸,۶۸	۷۵.۹۴	۳.۷۲	۱۱.۱۹
M۴-۱-int	۵,۵۷	۵,۶۹	۳,۸۹	۸.۷۰	۴,۸۵	۱۰,۷۳	۱۳,۳۸	۱۴,۴۱	۱۰,۸۰	۷۸.۰۱	۴.۰۱	۱۲.۰۲
M۴-۱	۶,۳۵	۵,۶۳	۴,۶۱	۴.۰۳	۸,۱۱	۱۰,۷۴	۱۳,۳۰	۱۲,۳۴	۹,۰۴	۷۴.۱۶	۳.۴۹	۱۰.۵۱
M۴-۲-۱	۵,۸۴	۵,۹۹	۴,۰۹	۴.۰۵	۳,۹۴	۱۱,۴۳	۱۳,۸۲	۱۳,۶۶	۱۰,۵۵	۷۳.۳۸	۳.۳۹	۱۰.۴۱
M۴-۲-int	۶,۴۵	۶,۰۴	۳,۸۱	۲.۰۳	۴,۰۹	۱۰,۶۰	۱۳,۴۳	۱۵,۳۹	۱۲,۱۴	۷۳.۹۷	۳.۴۷	۹.۶۲
M۴-۲	۶,۰۴	۶,۰۱	۴	۲.۸۲	۳,۹۹	۱۱,۱۵	۱۳,۶۹	۱۴,۲۳	۱۱,۰۸	۷۳.۰۱	۳.۳۵	۹.۹۳
M۴-int	۵,۹۴	۵,۶۰	۳,۸	۳.۶۴	۵,۳۴	۱۰,۴۱	۱۳,۱۲	۱۳,۹۲	۹,۹۷	۷۱.۷۴	۳.۲۰	۹.۳۷
M۴	۶,۲۶	۵,۶۹	۴,۴۵	۳.۲۹	۷,۲	۱۰,۷۸	۱۳,۳۵	۱۲,۷۸	۹,۴۶	۷۳.۲۶	۳.۳۸	۱۰.۱۳
M-int	۵,۵۱	۵,۷۹	۳,۶۷	۵.۲۵	۳,۲۱	۱۱,۸۰	۱۳,۸۹	۱۴,۱۶	۱۰,۶۱	۷۳.۸۸	۳.۴۵	۱۰.۳۰
کل محدوده)	۶,۲۵	۵,۶۸	۴,۳۱	۳.۲۸	۷,۰۶	۱۰,۶۸	۱۳,۱۹	۱۲,۶۴	۹,۳۶	۷۲.۴۷	۳.۲۸	۹.۹۰

۲-٤- انتخاب روش مناسب

در رابطه با تعیین مناسبترین روش بر آورد فرسایش و رسوب منطقه می‌بایستی تحلیل‌های آماری بر اساس نتایج و روش‌های متداول انجام پذیرد. بدین ترتیب که ابتدا نتایج برآورد فرسایش در ایستگاه‌ها و مدل‌ها انجام شود معمولاً با روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب دو خطا اتفاق می‌افتد که موجب انحراف داده‌ها از میانگین شده و در نتیجه از دقت روش‌های محاسباتی کاسته می‌شود. خطاهای ایجاد شده در برآورد فرسایش و رسوب ممکن است سیستماتیک و یا غیرسیستماتیک باشند. به هر حال این خطاها با افزایش و تکرار آزمون ممکن است مقادیر آنها کاهش یافته ولی هرگز صفر نمی‌شوند. از طرف دیگر مدل‌های فرسایش و رسوب دارای محدودیت‌هایی می‌باشند که برای هر منطقه‌ای لازم است ابتدا واسنجی گردند که با توجه به اینکه این مهم در هر منطقه‌ای انجام پذیرد نیاز به زمان زیادی می‌باشد لذا در برآورد فرسایش و رسوب از چند روش استفاده می‌شود تا مناسب‌ترین آنها انتخاب شود. برای آزمون نتایج روش‌های آماری مختلفی وجود داشته که متداول‌ترین آنها روش آزمون t استیودنت و روش آزمون حداقل مربعات میانگین و همچنین روش آماری رگرسیون می‌باشد که در این بررسی از روش‌های دوم استفاده شده است. بدیهی است برای انتخاب مناسبترین مدل برآورد می‌توان از سایر روش‌های آزمون آماری نیز استفاده نمود. در جدول شماره (۴) ابتدا نتایج هر یک از روش‌ها برای مقایسه ارائه می‌گردد.

- جمع‌بندی نتایج آزمون:

۱- همان طور که از نتایج حاصل مشخص می‌باشد روش MPSIAC برای حوزه آبخیز با توجه به آزمون مجموع حداقل مربعات میانگین R.S.S مناسب تشخیص داده شد. از طرف دیگر با توجه به انحراف معیار کمتر کاربرد نتایج روشهایRUSLE وMPSIAC برای حوزه آبخیز مناسب بوده و مشکلی در این رابطه وجود ندارد. به هر حال روش MPSIAC در مجموع برای حوزه مورد مطالعه پیشنهاد شده و ارقام این روش برای تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- نرم افزار Arc Hydro در به دست آوردن میزان L در روش RUSLE مفید می باشد.

۳- مدل RUSLE با توجه به اینکه تمامی مراحل آن توسط نرم افزار GIS انجام می شود از دقت بالایی برخوردار می باشد.

جدول ۴) مقایسه رسوب ویژه حوزه ماهنشان

زیر حوضه	MPESIAC		RUSLE	
	Qs(T/ha.Y)	(Pi-Oi)2	Qs(T/ha.Y)	(Pi-Oi)2
M1-1-1	3.9	0.08	3.9	0.07
M1-1-int	3.6	0.00	2.1	2.21
M1-2	3.5	0.01	3.0	0.41
M1-3-1	3.7	0.01	4.1	0.30
M1-3-int	3.0	0.42	2.6	0.96
M1-int	4.0	0.14	1.6	3.90
M2	3.3	0.08	3.5	0.00
M3-1-1-1-int	4.2	0.40	2.7	0.83
M3-1-1-2	3.9	0.11	4.1	0.24
M3-1-1-3	4.3	0.44	4.6	0.92
M3-1-1-int	4.7	1.21	3.0	0.39
M3-1-2	4.3	0.53	4.5	0.85
M3-1-3-1	4.2	0.36	3.9	0.10
M3-1-3-2	3.8	0.05	4.0	0.18
M3-1-3-int	3.8	0.06	3.0	0.32
M3-1-int	4.8	1.44	3.2	0.15
M3-int	4.4	0.69	3.7	0.01
M4-1-1	3.7	0.02	4.4	0.57
M4-1-2-1-1	5.4	3.25	4.8	1.33
M4-1-2-1-2	5.4	3.36	3.5	0.01
M4-1-2-1-3	4.7	1.25	5.8	4.66
M4-1-2-1-4	4.2	0.34	4.6	0.98
M4-1-2-1-int	4.9	1.60	4.2	0.31
M4-1-2-int	3.4	0.04	3.2	0.16
M4-1-int	4.0	0.17	2.0	2.58
M4-2-1	3.4	0.04	2.4	1.34
M4-2-int	3.5	0.02	2.2	2.08
M4-int	3.2	0.16	2.2	1.97
M-int	3.5	0.02	1.1	6.05
M (مطالعاتی کل محدوده)	3.3	0.10	3.3	0.07
STD	0.6		1.1	
MAX	5.4		5.8	
MIN	3.0		1.1	
R.S.S		16.40		33.97

مراجع

احمدی، حسن، (۱۳۷۸)، "ژئومورفولوژی کاربردی، جلد۱ (فرسایش آبی)"، چاپ سوم، تهران. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸ صفحه.

احمدی، حسن و فیض‌نیا، سادات،(۱۳۷۸)، "سازندهای دوره کواترنر(مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۷ صفحه.

رفاهی، حسینقلی،(۱۳۷۸)، "فرسایش آبی و کنترل آن"، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.

زمردیان، محمد جعفر،(۱۳۸۳)، "ژئومورفولوژی ایران"، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد، جلد ۱ و ۲.

فیض‌نیا، سادات،(۱۳۷۴)، "مقاومت سنگها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران"، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صفحه ۱۱۶- ۹۵.

قدوسی، جمال،(۱۳۸۲)، "مدل‌سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن(مطالعه موردی در آبخیز زنجانرود)"، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۳۶۸ صفحه.

تاج بخش و همکاران(۱۳۸۲) "براورد پتانسیل تولید رسوب فری آباد با مدل MPESIAC در محیط GIS "

Hudson, N.W.,(1971), "Soil Conservation Cornell University Press". Ithaca, New York.320 pp.

Hudson, N.W.,(1985), "Soil Conservation Batsford". London.

Morgan, R.P.C.,(199۵), "Soil erosion and conservation". Second edition. Silsoe College, Cranfield University. 198 pp.

Satterlund, D.R.,(1972), "Wildland Watershed Management". The Ronald Press Company. New York. 370 pp.

Bancy M Matia, Royston Pc Morgan,..., Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS. ITC journal, Volume2, issue 2,2000