

مقایسه‌ی دو مدل MPSIAC و MMF در تهیه‌ی نقشه‌ی توزیع فرسایش خاک حوزه آبخیز آق‌گونی اردبیل

حسین شهاب آرخازلو*: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
سمیرا زاهد: دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
شکرا اله اصغری: دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۶

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱)

چکیده

فرسایش خاک، مهم‌ترین عامل تخریب اراضی است و به هدر رفت آب و خاک منجر می‌شود. استفاده از مدل‌ها، مهم‌ترین ابزار تخمین فرسایش و تهیه‌ی نقشه‌ی آن در سطح حوزه‌های آبخیز است. در این پژوهش، از دو مدل MPSIAC و MMF برای برآورد فرسایش و تعیین توزیع آن در سطح حوزه آبخیز آق‌گونی اردبیل استفاده شد. برای این منظور، ۱۰۰ نقطه از سطح حوزه به صورت شبکه منظم و فواصل حدود ۳۰۰ متر مشخص شد. سپس با استفاده از نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری‌های صحرایی، داده‌های مورد نیاز دو مدل مورد نظر جمع‌آوری و تخمین فرسایش خاک انجام شد. در ادامه با روش وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW)، درونیابی بین نقاط صورت گرفت و نقشه‌ی فرسایش خاک تهیه شد. میانگین فرسایش خاک حوزه‌ی مورد مطالعه با مدل MPSIAC و MMF، به ترتیب ۵/۰۶ و ۳/۷۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. همچنین نقشه‌ی فرسایش به دست آمده از برآورد مدل MPSIAC نشان داد که مقادیر بیشتر فرسایش، در مناطق با شیب زیاد و تراکم بیشتر فرسایش خندقی رخ می‌دهد. نقشه‌ی فرسایش به دست آمده از برآورد مدل MMF نیز نشان داد که بین جریان رواناب سطحی و برآورد فرسایش سالانه با این مدل، انطباق بیشتری وجود دارد. مقدار بیشتر برآورد فرسایش با مدل MPSIAC و انطباق نقشه‌ی فرسایش این مدل با نقشه‌ی توزیع فرسایش خندقی در سطح حوزه، نشان داد مدل MPSIAC فرسایش خاک را در مقاطع زمانی طولانی - که فرسایش خندقی نیز اتفاق می‌افتد - تخمین می‌زند؛ در حالی که مدل MMF، از جریان سطحی و انرژی جنبشی باران برای برآورد فرسایش استفاده می‌کند و بیشتر با فرسایش سطحی و شیاری ارتباط دارد. بنابراین، مدل MMF برای تخمین فرسایش ورقه‌ای و شیاری سالانه بهتر عمل می‌کند.

واژگان کلیدی: آق‌گونی، برآورد فرسایش، نقشه‌ی فرسایش، مدل فیزیکی.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی که مشکلات قابل توجهی ایجاد می‌کند، فرسایش خاک است. از دست دادن خاک حاصلخیز، از بین رفتن اراضی کشاورزی، رسوب‌گذاری در منابع آبی و مخازن سدها، تشدید بیشینه‌ی سیل و تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها از جمله اثرات فرسایش خاک است (Valentin et al, 2005 & Liu et al, 2019).

اندازه‌گیری مستقیم فرسایش و رسوب، پرهزینه و وقت‌گیر است و تعمیم نتایج حاصل از آن به مناطق بزرگ‌تری مانند سطح حوزه آبخیز، مشکل می‌باشد (Salavati et al, 2010). بنابراین، برای رسیدن به میزان فرسایش و رسوب در سطح حوزه‌های آبخیز و تعیین توزیع شدت فرسایش در سطح حوزه، از مدل‌های فرسایش و رسوب استفاده می‌شود (همان). اگر چه برای پیش‌بینی فرسایش خاک از مدل‌های تجربی مانند مدل جهانی فرسایش خاک (USLE^۱) و مدل پسیاک (PSIAC^۲) به صورت گسترده استفاده می‌شود، این گونه مدل‌ها بر مبنای داده‌های تجربی به دست می‌آید و دقت آنها تابع ضرایب مورد استفاده و شرایط منطقه است (Yuan and Yu, 2017). امروزه سعی می‌شود با استفاده از مدل‌های فیزیکی، بر مبنای فرآیند فرسایش خاک به پیش‌بینی دقیق‌تری از آن پرداخته شود؛ بنابراین، مدل‌هایی مانند مورگان مورگان فینی (MMF^۳) در حال توسعه و تکمیل هستند (همان).

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌است که دو مدل MMF و PSIAC، در برآورد فرسایش خاک کاربرد زیادی دارد (Jalalian, Noori et al, 2016 & Yuan and Yu, 2017) (۱۹۹۲) در ارزیابی مقدار رسوب‌دهی با مدل PSIAC در حوزه آبخیز شمال کارون به این نتیجه رسید که این مدل با مقدار رسوب حاصل از ایستگاه رسوب‌سنجی، همبستگی خوبی دارد. Bagherzadeh (۱۹۹۳) در پژوهشی در زیرحوزه‌ی اوزون‌دره از حوزه آبخیز قزل‌اوزن به این نتیجه رسید که مدل PSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی دارد. Shahkarami (۱۹۹۴) نشان داده‌است که ارقام برآورد رسوب به روش PSIAC در حوزه نوژیان لرستان، با ارقام اندازه‌گیری شده‌ی خروجی حوزه مشابهت زیادی دارد. Hassanlou (۲۰۰۳) نیز به بررسی نقش عوامل ژئومورفولوژیکی در فرسایش آبی بخشی از حوزه آبخیز زنجانرود پرداخت. او با استفاده از GIS نشان داد که با استفاده از مدل PSIAC و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان میزان فرسایش و رسوب را برآورد کرد. Ande و همکاران^۴ (۲۰۰۹) با کاربرد مدل MMF در حوزه آبخیز تپه ماهوری ایکیتی در جنوب غربی نیجریه، به پیش‌بینی تلفات خاک پرداختند. آنها دریافتند از مدل MMF می‌توان به طور مؤثر در پیش‌بینی خطر فرسایش استفاده کرد. نتایج آنها نشان داد که بیشترین تلفات خاک به میزان ۱/۲۷۵ کیلوگرم بر متر مربع در سال، از تپه‌های صخره‌ای با شیب بالاتر از ۱۵ درصد و کمترین میزان ۰/۹۴۲ کیلوگرم بر متر مربع در سال، مربوط به اراضی پست پوشیده از جنگل‌های کنار رودخانه‌ای است. Yampo و همکاران (۲۰۰۰)، به مطالعات نقشه‌بندی فرسایش خاک به سه روش پیمایشی، USLE و MMF در استان چاچونکسای تایلند پرداختند و نقشه‌ی تولید شده به صورت پیمایشی را با نقشه‌های تولید شده‌ی مدل‌های نامبرده مقایسه کردند. آنها صحت روش MMF را نسبت به روش USLE، ۶۷/۵ درصد در مقابل ۵۶/۴ درصد نسبت به واقعیت ذکر کرده‌اند. دقت نقشه‌بندی و ایجاد نقشه‌های جدید، کارایی بهتر مدل MMF را نسبت به مدل USLE اثبات کرده‌است. Devente و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای بر یک منطقه به این نتیجه رسیدند که به علت کمبود ایستگاه رسوب‌سنجی در حوزه‌های بزرگ، آمار و اطلاعات رسوب با استفاده از مدل PSIAC قابل برآورد می‌باشد و این مدل در مقایسه با روش‌های اندازه‌گیری شده از طریق آزمون آماری، با همبستگی حدود ۰/۸ بهترین روش شناخته شده می‌-

^۱ Universal Soil Loss Equation

^۲ Pasific Southwest Inter Agency Committee

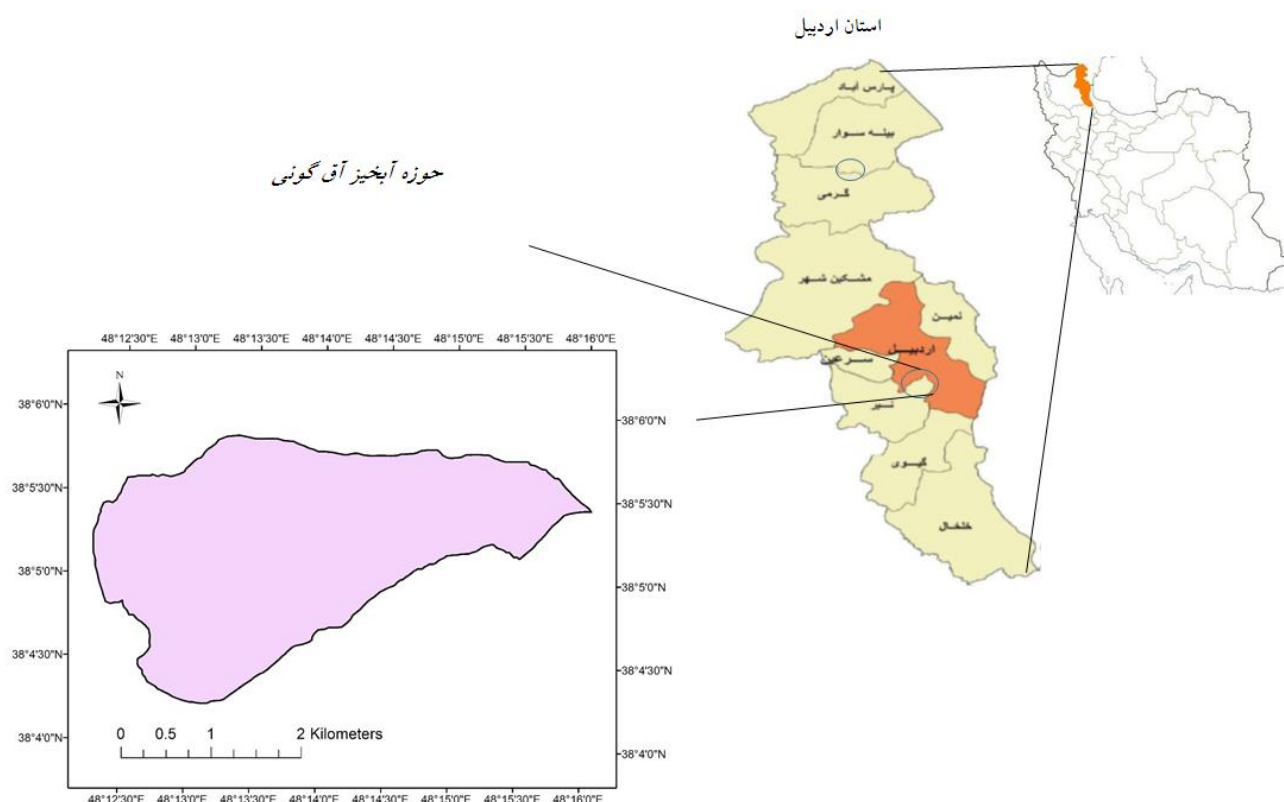
^۳ Morgan Morgan Finney

باشد. Tajgarda و همکاران (۲۰۰۷) برای برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز زیارت، از مدل PSIAC، داده‌های ماهواره‌ای و GIS استفاده کردند. نزدیکی نتایج حاصل از مدل مورد بررسی با نتایج ضبط شده در ایستگاه هیدرومتری نشان داد که با استفاده از برخی مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان مقدار رسوب را در حوزه‌ی مورد مطالعه با دقت بالایی برآورد کرد.

در مجموع، بررسی منابع نشان می‌دهد که مدل PSIAC در برآورد فرسایش خاک در مناطق مختلف دنیا و ایران کاربرد گسترده‌ای داشته‌است. همچنین در مطالعات زیادی به کارایی مدل MMF در برآورد دقیق‌تر فرسایش خاک اشاره شده‌است. با این وجود مطالعات چندانی در مورد مقایسه‌ی کارایی مدل پر کاربرد PSIAC نسبت به مدل‌های دیگر و به خصوص مدل فیزیکی MMF انجام نشده‌است؛ بنابراین، باید در این زمینه مطالعات بیشتری صورت گیرد. در این راستا، این مطالعه با هدف مقایسه‌ی کارایی دو مدل MMF و PSIAC اصلاح شده (MPSIAC) در برآورد فرسایش خاک و تعیین نقشه‌ی فرسایش یکی از حوضه‌های آبخیز منطقه‌ی اردبیل انجام شد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

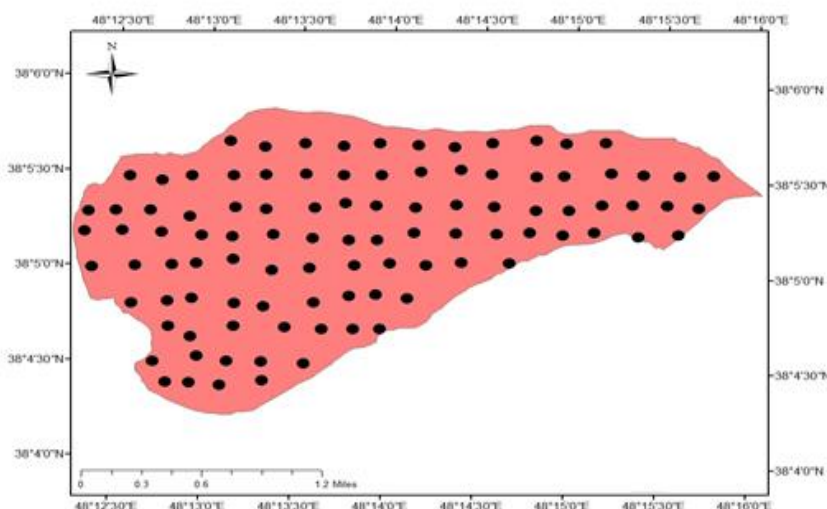
منطقه‌ی مورد مطالعه، حوضه آبخیزی به مساحت ۱۸۰۰ هکتار است که در حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شهر اردبیل و در محدوده‌ی روستای آق‌گونی واقع شده‌است. حوزه‌ی مورد نظر، در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۱۴ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۴ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۴ دقیقه و ۵۷ ثانیه شمالی واقع شده‌است. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده‌است. میانگین دمای سالانه منطقه، ۹ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه، ۳۰۳/۹ میلی‌متر است و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن توسعه یافته، منطقه‌ی نیمه‌خشک می‌باشد. طبق نقشه‌ی زمین‌شناسی، این منطقه از نظر سنگ‌شناسی از توف‌های مارنی، سیلتی و شنی، کنگلومرایی، رسوبات آبرفتی، لایم استون، توف‌ها و لاواهای اندزیتی تشکیل شده‌است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مورد مطالعه

۳- مواد و روش

شناسایی اولیه منطقه و تعیین وضع موجود فرسایش در سطح حوزه با بازدید صحرایی، تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰ و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ انجام شد. در ادامه، نمونه‌برداری از خاک سطحی منطقه به صورت شبکه‌بندی منظم و در ۱۰۰ نقطه صورت گرفت. الگوی نمونه‌برداری شبکه‌بندی منظم نیز با فواصل حدود ۳۰۰ متر بود. همچنین در هر نقطه درصد پوشش سطحی (گیاهی، سنگ و لاشبرگ) با استفاده از کرت یک متر مربعی مشبک تعیین شد. در شکل شماره‌ی ۲، الگوی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های صحرایی نشان داده شده‌است.



شکل ۲: توزیع نقاط نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌های صحرایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه

پس از نمونه‌برداری خاک و آماده‌سازی اولیه‌ی نمونه‌ها، بافت خاک به روش قرائت ۴ زمانه (Gee and Bauder, 1986)، کربن آلی خاک به روش Walkley and Black (۱۹۳۴)، جرم مخصوص ظاهری خاک با استفاده از کلوخه و به روش پارافین و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر اندازه‌گیری شد Blake and Hartge (۱۹۸۶). همچنین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، با استفاده از رابطه‌ی Williams و همکاران (۱۹۸۳) و با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

رابطه‌ی ۱

$$K_{epic} = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 S^{(1-S_i)/100} \right] \right\} \times \left(\frac{S_i}{C + S_i} \right)^{0.3} \times \left[1.0 - \frac{0.25 SOC}{SOC + \exp(3.72 - 2.95 SOC)} \right] \\ \times \left[1.0 - \frac{0.7 SN_1}{SN_1 + \exp(-5.51 + 22.9 SN_1)} \right]$$

$$K = -0.01383 + 0.51575 K_{epic}$$

رابطه‌ی ۲

که در این روابط C ، S_i و S درصد رس، سیلت و شن، SN_1 مجموع سیلت و شن، SOC درصد کربن آلی و K_{epic} مقدار تصحیح نشده‌ی ضریب فرسایش‌پذیری خاک است.

به منظور تعیین نقشه‌ی توزیع فرسایش در سطح حوضه، مقدار فرسایش در هر نقطه‌ی نمونه‌برداری با استفاده از مدل‌های MPSIAC و MMF برآورد شد. در مدل MPSIAC، برای برآورد فرسایش ابتدا ۹ عامل زمین‌شناسی، خاک، اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فرسایش فعلی حوضه و فرسایش خندقی تعیین شد و به هر عامل بر اساس جداول امتیازدهی و روابط موجود، امتیازی تعلق گرفت (Rafahi, 2006 & Noori et al, 2016). در جدول ۱، روابط مورد استفاده در تعیین امتیاز عوامل مدل MPSIAC به همراه اجزای روابط و روش تعیین آنها معرفی شده‌است.

جدول ۱: نحوه‌ی تعیین عوامل مدل MPSIAC

عامل مدل MPSIAC	رابطه مورد استفاده	روش تعیین اجزای عامل
زمین‌شناسی سطحی	$Y_1 = X_1$	X_1 : امتیاز حساسیت سنگ به فرسایش (۰-۱۰). نوع سنگ‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی تعیین شد.
خاک	$Y_2 = 16.67 K$	K : عامل فرسایش‌پذیری خاک
آب و هوا	$Y_3 = 0.2 X_3$	X_3 : بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله که از داده‌های هواشناسی به دست آمد.
رواناب	$Y_4 = 00.6 R + 10 Q_p$	R : ارتفاع روان آب سالانه (mm) و Q_p : دبی ویژه سالانه ($m^3/sec.km^2$)
توپوگرافی	$Y_5 = 0.33 S$	S : درصد شیب که از نقشه‌ی شیب و مدل رقومی ارتفاع (DEM) به دست آمد.
نحوه استفاده از زمین	$Y_6 = 0.2 P_b$	P_b : درصد اراضی لخت که از اندازه‌گیری صحرایی درصد پوشش سطح زمین به دست آمد.
پوشش زمین	$Y_7 = 20 - 0.2 P_c$	P_c : درصد تاج پوشش گیاهی که از اندازه‌گیری صحرایی درصد پوشش سطح زمین به دست آمد.
وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	$Y_8 = 0.25 SSF$	SSF : امتیاز عامل سطحی خاک در مدل BLM که از جداول مربوط به آن مدل محاسبه شد (Rafahi, 2006).
عامل فرسایش خندقی	$Y_9 = 1.67 SS.F.G$	$SS.F.G$: امتیاز فرسایش خندقی در مدل BLM که از جدول مربوط محاسبه شد (Rafahi, 2006).

در عامل رواناب سطحی، ارتفاع رواناب سالانه با استفاده از میانگین بارش سالانه – که از اطلاعات هواشناسی حوزه به دست آمد – و محاسبه‌ی نسبت تولید رواناب به روش عدد منحنی (CN) محاسبه شد (Muche et al, 2019). همچنین با در نظر گرفتن شدیدترین بارش سالانه‌ی حوزه و نسبت تولید رواناب، دبی پیک سالانه (Q_p) محاسبه شد (همان). در نهایت پس از تعیین عوامل نه‌گانه‌ی مدل به روش‌های شرح داده شده در جدول ۱، رسوب حاصل از فرسایش طبق مدل MPSIAC با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۳ برای هر نقطه‌ی نمونه‌برداری برآورد شد (Safamanesh et al, 2006).

$$Q_s = 3877e^{0.0353R}$$

رابطه‌ی ۳

در این رابطه Q_s ، میزان رسوب‌دهی سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و R ، درجه رسوب‌دهی یعنی مجموع امتیازات عوامل نه‌گانه‌ی مدل MPSIAC است. با توجه به وسعت حوزه – که معادل ۱۸ کیلومتر مربع است – و بافت نمونه‌های خاک حوزه‌ی مورد بررسی، میانگین نسبت تحویل رسوب (SDR) در سطح حوزه به میزان ۰/۵ تعیین شد (Rafahi, 2006). سپس از تقسیم میزان رسوب سالانه (Q_s) به SDR، مقدار فرسایش سالانه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال برای هر نقطه‌ی نمونه‌برداری برآورد شد (همان). به منظور تبدیل واحد فرسایش از متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال به تن در هکتار در سال، فرسایش خاک برآورد شده در جرم مخصوص ظاهری هر نقطه ضرب و بر صد تقسیم شد.

همچنین با استفاده از مدل فرآیندی MMF نیز به برآورد فرسایش در سطح حوزه آبخیز برای هر نقطه‌ای نمونه-برداری پرداخته شد. مدل MMF دارای دو بخش آب و رسوب است. در بخش آب با استفاده از رابطه‌ی ۴، انرژی سینتیک باران (E) برحسب $(jm^{-2}hr^{-1})$ محاسبه شد (Vieira et al, 2018).

$$E = R(11.89 + 8.741 \log I_{30}) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در این رابطه، R میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و I_{30} شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای است که از اطلاعات هواشناسی حوزه استخراج شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۵، ظرفیت نگهداری آب در عمق ریشه (H) محاسبه شد.

$$H = 1000 * M_s * B_d * R_d \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

در این رابطه، M_s ظرفیت زراعی خاک، B_d جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و R_d عمق ریشه‌دوانی خاک بر حسب متر است. سپس با در نظر گرفتن نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل حوزه (E_a / E_t) و با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۶، ظرفیت ذخیره‌ی رطوبتی خاک تحت پوشش متراکم (RC) محاسبه شد.

$$R_c = H (E_a / E_p)^{0.5} \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

در نهایت با استفاده از رابطه‌ی شماره‌ی ۷، عامل حجم جریان سطحی (Q) محاسبه شد.

$$Q = R * e^{(R_c / R_o)} \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

در این رابطه، R_o متوسط بارندگی به‌ازای روزهای بارانی سال است که از تقسیم میانگین بارندگی سالانه (R) بر متوسط تعداد روزهای بارانی سال به دست می‌آید. بنابراین، در بخش آب مدل دو عامل انرژی سینتیک باران (E) و حجم جریان سطحی (Q) محاسبه می‌شود.

در بخش رسوب مدل، دو عامل میزان جدا شدن ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران (F) و میزان حمل رسوب به وسیله‌ی جریان سطحی (G) توسط روابط شماره‌ی ۸ و ۹ محاسبه و مقدار حداقل این دو عامل به عنوان عامل حمل رسوب در نظر گرفته شد (همان).

$$F = K * [E * e^{(-a * INT)}]^b * 10^{-3} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

$$G = C * Q^d * \sin(s) * 10^{-3} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

در این روابط، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک و C فاکتور پوشش سطحی است که از ترکیب ضرایب عملیات حفاظتی (P) و پوشش گیاهی (C) در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک (USLE) به دست می‌آید. E و Q نیز عامل انرژی جنبشی باران و حجم جریان سطحی است که در بخش آب به دست آمد. در نهایت، نتایج دو معادله‌ی ۸ و ۹ با

هم مقایسه و کمترین مقدار آنها با در نظر گرفتن ضریب ۱۰ برای تبدیل واحد از کیلوگرم بر متر مربع به تن در هکتار، به عنوان فرسایش سالانه در نظر گرفته شد (Vieira et al, 2018).

به این ترتیب برآورد فرسایش خاک با استفاده از دو مدل MPSIAC و MMF برای ۱۰۰ نقطه نمونه برداری، به صورت شبکه منظم در سطح حوزه آبخیز انجام شد. سپس درون یابی برآورد فرسایش بین نقاط با استفاده از روش وزن-دهی معکوس فاصله (^۱IDW) در محیط GIS صورت گرفت و نقشه‌ی توزیع فرسایش در سطح حوزه با دو مدل مورد نظر تهیه و کارایی دو مدل در دقت تهیه‌ی نقشه‌ی فرسایش با همدیگر مقایسه شد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

در جدول شماره‌ی ۲، میانگین عوامل نه‌گانه‌ی مدل MPSIAC برای ۱۰۰ نقطه نمونه برداری در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه ارائه شده‌است.

جدول ۲: میانگین ضرایب (R) در حوزه مورد مطالعه به روش MPSIAC

عامل	زمین-خاک	اقلیم	روان آب	پوشش-گیاهی	کاربری اراضی	شیب	فرسایش فعلی	فرسایش خندقی
امتیاز	۵/۵۸	۷/۹۲	۱۸/۱۸	۲/۱۲	۴/۲	۵/۵۲	۷/۴۱	۱۳/۴۸
								۱۸/۸۷

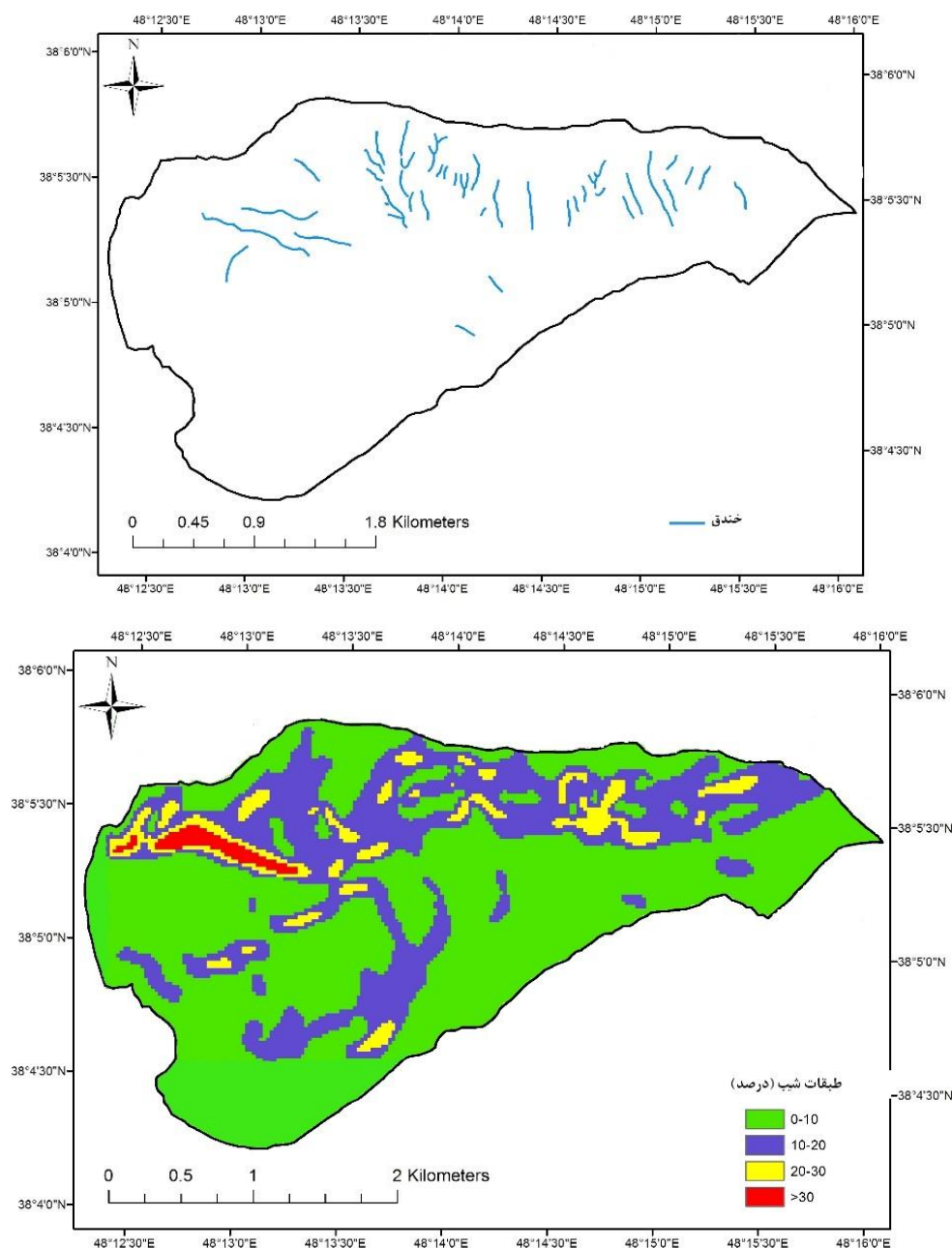
همچنین در جدول شماره‌ی ۳، شاخص‌های آماری برآوردهای به دست آمده از مدل MPSIAC و MMF برای فرسایش حوزه مورد مطالعه در ۱۰۰ نقطه نمونه برداری ارائه شده‌است.

جدول ۳: شاخص‌های آماری برآورد فرسایش در نقاط نمونه برداری حوزه با استفاده از دو مدل MPSIAC و MMF

مدل	میانگین (تن در هکتار در سال)	میان	مد	دامنه تغییرات	انحراف معیار
مدل MPSIAC	۵/۰۶	۴/۶۲	۴/۲۵	۲/۴-۹/۶۲	۷/۲
مدل MMF	۳/۷۹	۴/۵۱	۴/۱۱	۰/۹۱-۸/۱۸	۱/۶۷

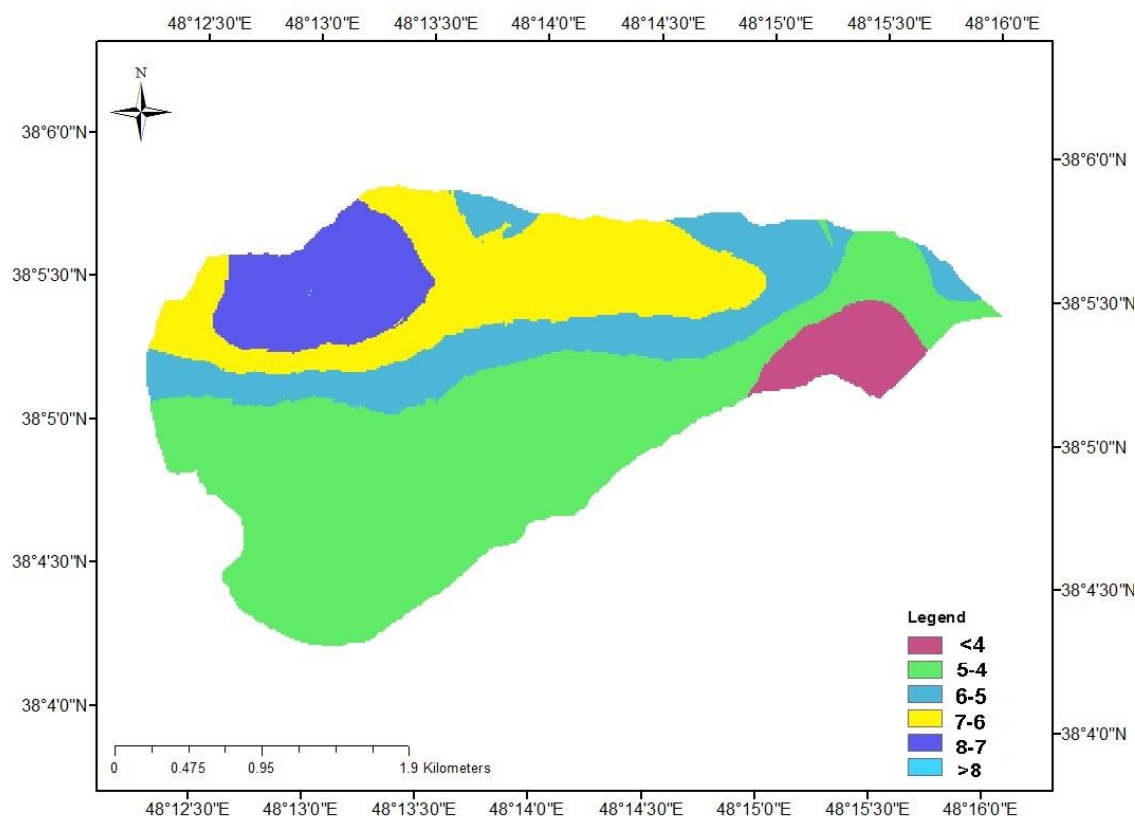
همان طور که مشاهده می‌شود، به طور کلی میانگین فرسایش خاک با مدل MMF کمتر از مدل MPSIAC برآورد شد. در شکل شماره‌ی ۳، نقشه‌ی توزیع فرسایش خندقی به همراه نقشه‌ی طبقات شیب حوزه آبخیز مورد مطالعه ارائه شده‌است.

¹ Invers Distance Weighting



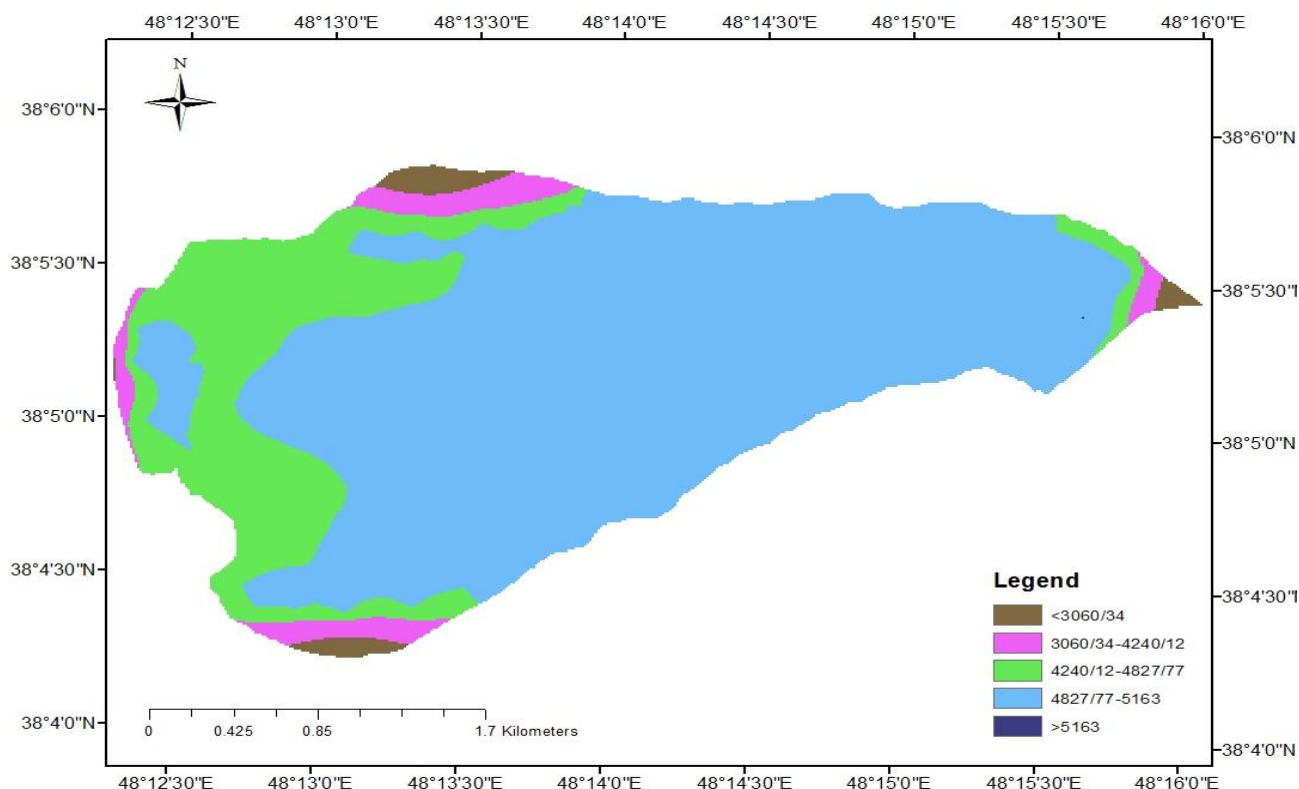
شکل ۳: نقشه‌ی توزیع خندق‌ها و نقشه‌ی طبقات شیب در حوزه آبخیز مورد مطالعه

در شکل شماره‌ی ۴، نقشه‌ی توزیع برآورد فرسایش خاک در سطح حوضه با مدل MPSIAC ارائه شده‌است. با استفاده از مدل MPSIAC مشاهده می‌شود که کمترین میزان فرسایش در قسمت‌های جنوبی حوضه می‌باشد؛ در حالی که بیشترین فرسایش در قسمت‌های شمالی حوضه و در محدوده‌ی حاشیه‌ی آبراهه‌ی اصلی حوضه محاسبه شده‌است (بیش از ۸ تن در هکتار در سال).



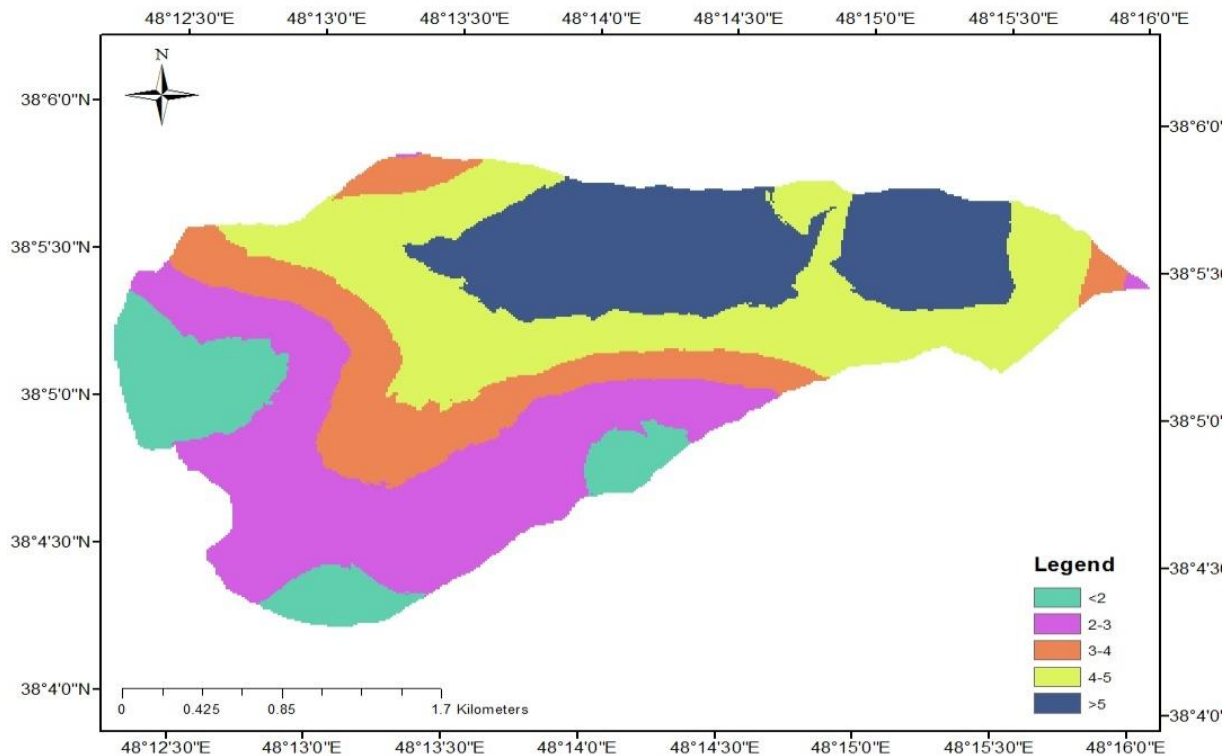
شکل ۴: نقشه‌ی برآورد فرسایش خاک با مدل MPSIAC (برحسب تن در هکتار در سال)

در شکل شماره‌ی ۵ و ۶، نقشه‌ی توزیع انرژی جنبشی باران (E) و حجم جریان سطحی (Q) - که با مدل MMF برآورد شده‌اند - ارائه شده‌است. مشاهده می‌شود عامل E در بیشتر قسمت‌های سطح حوزه یکنواخت بوده و تغییرات زیادی نداشته‌است. با توجه به وسعت حوزه (۱۸۰۰ هکتار)، تغییرات عوامل هواشناسی در سطح حوزه محدود می‌باشد و از آنجایی که برآورد عامل E در مدل MMF با استفاده از میانگین بارش سالانه و شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای انجام می‌شود، تغییرات آن نیز محدود بوده‌است.



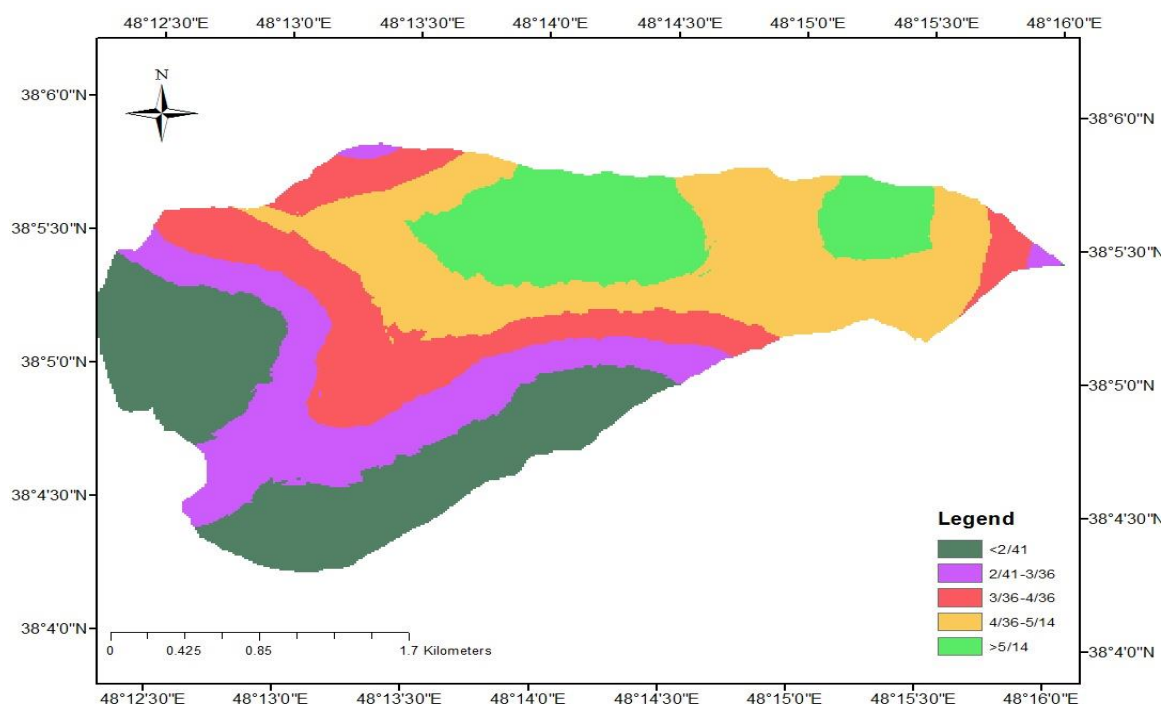
شکل ۵: نقشه‌ی انرژی جنبشی باران (E) بر حسب $(jm^{-2}hr^{-1})$ ، به روش MMF

در مورد عامل حجم جریان سطحی (Q)، به طور کلی در قسمت‌های جنوبی حوزه که شیب و تغییرات ارتفاعی کمتر است، عامل Q نیز کمتر می‌باشد. همچنین از بالادست حوزه در قسمت غربی آن به سمت پایین دست و خروجی حوزه در شرق، به تدریج عامل جریان سطحی افزایش می‌یابد که این امر حاصل افزایش حجم و سرعت جریان از ابتدای حوزه به سمت خروجی آن می‌باشد. بنابراین، انطباق خوبی بین نقشه‌ی عوامل توپوگرافی منطقه (ارتفاع و شیب) با برآورد عامل Q در مدل MMF مشاهده می‌شود.



شکل ۶: نقشه‌ی حجم جریان سطحی (Q) برحسب میلی‌متر به روش MMF

در شکل شماره‌ی ۷، برآورد فرسایش خاک با مدل MMF ارائه شده‌است. مشاهده می‌شود کمترین میزان برآورد فرسایش مربوط به بالادست حوزه در جنوب و غرب حوزه است که در این مناطق جریان رواناب حداقل بوده و با توجه به نقشه‌ی شیب، توپوگرافی نسبتاً مسطحی دارد. بنابراین در این قسمت حوزه، انرژی جنبشی قطرات باران (E) عامل مهم فرسایش است. به تدریج شدت برآورد فرسایش نیز به سمت خروجی حوزه - که حجم رواناب در آن بیشتر می‌شود - افزایش می‌یابد. همچنین در قسمت‌های شمالی حوزه که شیب منطقه زیاد است، سرعت رواناب حداکثر بوده و بیشترین فرسایش مشاهده می‌شود. بنابراین، بین برآورد فرسایش سالانه و عامل حجم جریان سطحی (Q) انطباق زیادی وجود دارد و می‌توان گفت مدل MMF، جریان سطحی را عامل اصلی فرسایش سطحی در منطقه می‌داند.



شکل ۷: نقشه‌ی برآورد فرسایش خاک با مدل MMF (ton/ha/year)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

سایر مطالعات نیز نشان داده‌اند که برآورد فرسایش با مدل MMF معمولاً کمتر از MPSIAC است (Samadzaheh and Pourmohammad, 2015). این مسأله می‌تواند به این دلیل باشد که در مدل MMF، فقط فرسایش سطحی حاصل از کنده شدن ذرات توسط رواناب و قطرات باران مدل‌سازی می‌شود؛ در حالی که در MPSIAC علاوه بر فرسایش سطحی، فرسایش خندقی نیز در نظر گرفته شده‌است و به عنوان یکی از عوامل ۹ گانه‌ی مدل امتیازدهی می‌باشد. بنابراین، برآورد حاصل بیشتر می‌شود (Noori et al, 2016). با توجه به اینکه فرسایش خندقی فرآیندی سالانه نیست و در سیلاب‌های با دوره بازگشت طولانی‌تر به وقوع می‌پیوندد، در نظر گرفتن آن به عنوان یک عامل فرسایش در محاسبه‌ی میانگین فرسایش سالانه در مدل MPSIAC به بیش برآورد منجر می‌شود. این در حالی است که در مدل MMF، تنها فرآیندهایی از فرسایش برای برآورد میانگین فرسایش سالانه استفاده می‌شود که در هر واقعه‌ی بارش مهم تکرارپذیرند؛ یعنی فرسایش حاصل از رواناب و برخورد قطرات باران. بنابراین، برآورد حاصل از این مدل به مقدار واقعی نزدیک‌تر است.

با توجه به نقشه‌ی شیب و توزیع فرسایش خندقی در سطح حوضه (شکل ۳)، مشاهده می‌شود که نیمه‌ی شمالی حوضه شیب بیشتری دارد و توزیع فرسایش خندقی در قسمت‌های شمالی حوضه بیشتر است. به نظر می‌رسد ورود عامل فرسایش خندقی به عنوان یکی از عوامل مدل MPSIAC، به افزایش برآورد فرسایش منجر شده‌است؛ بنابراین، در مناطقی که شدت فرسایش خندقی بیشتر می‌باشد، برآورد فرسایش نیز افزایش یافته‌است و بین دو نقشه‌ی توزیع فرسایش خندقی و برآورد فرسایش با مدل MPSIAC انطباق به وجود آمده‌است. Mansouri Daneshvar and Bagherzadeh (۲۰۱۲) نیز به تأثیر زمین‌شناسی و شدت فرسایش خندقی بر میزان برآورد فرسایش به دست آمده

با مدل MPSIAC پرداختند. آنها معتقدند زمین‌شناسی سطحی و نوع خاک، بیشترین همبستگی را با میزان رسوب ویژه Q_s برآورد شده دارد.

JettenShrestha and (۲۰۱۸) نیز نشان دادند برآورد فرسایش با مدل MMF تابع شدت بارش و جریان است و زمانی که الگوی بارش نرمال است، برآورد فرسایش به مقادیر متوسط فرسایش مناطق نیمه خشک نزدیک است. بنابراین، توزیع عوامل مدل (انرژی جنبشی بارش و جریان سطحی) می‌تواند دقت برآورد فرسایش را تعیین کند (Shrestha and Jetten, 2018). این نتایج با مشاهدات تحقیق حاضر در زمینه‌ی توزیع انرژی جنبشی و عامل رواناب سطحی در سطح حوزه، منطبق است (شکل ۵ و ۶). مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که در مدل MMF، برآورد فرسایش برای یک بارش مشخص بیشتر تابع انرژی جنبشی بارش است؛ در حالی که برای برآورد فرسایش سالانه، عامل جریان سطحی اهمیت بیشتری دارد (Shrestha and Jetten, 2018).

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت برآورد فرسایش خاک با مدل MPSIAC بیش از مدل MMF است و به علت استفاده از فرسایش خندقی به عنوان یکی از عوامل فرسایش، توزیع فرسایش با این مدل انطباق زیادی با توزیع فرسایش خندقی دارد. بنابراین، هر چند می‌توان از مدل MPSIAC برای برآورد فرسایش بلند مدت منطقه استفاده کرد، ولی به منظور برآورد فرسایش سالانه – که معمولاً موجب فرسایش ورقه‌ای و شیار می‌شود – و به دست آوردن نقشه‌ی توزیع این فرسایش، استفاده از مدل MMF که بر مبنای برآورد انرژی باران و رواناب سطحی می‌باشد، دقیق‌تر است.

منابع

1. Ande, O. T.; Alaga, Y.; & G. A. Oluwatosin, 2009. Soil erosion prediction using MMF model on highly dissected hilly terrain of Ekiti environs in southwestern Nigeria, *International Journal of Physical Sciences*, 4 (2), 053-057.
2. Bagherzadeh, M., 1993. Evaluation of the efficiency of erosion and sediment estimation models and remote sensing and GIS techniques in soil erosion studies. MSc thesis, Faculty of natural resources, Tarbiat Modares University, 98p. (in Persian)
3. Blake, G. R., & K. H. Hartge., (1986). Bulk density In Klute A Ed Methods of Soil Analysis Physical and Mineralogical Methods. *Soil Science Society*. 17 (21), 319-464.
4. Devente, J.; & J. Poesen., (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale scale issues and semi-quantitative models. *Earth Science Reviews*. 71,95-125.
5. Gee, G. W., & J. W. Bauder., (1986). Particle-size analysis.1. Soil Science Society of American Society of Agronomy.
6. Hassanlou, M., 2003. Comparison and calibration of PSIAC Method with Sediment Statistical data in Taham watershed of Zanjan (iran), MSc thesis. Faculty of natural resources, Tarbiat Modares University, 94p. (in Persian)
7. Jalalian, A., 1992. Qualitative and quantitative studies of soil erosion in the Karun north basin (iran), 3th Iranian soil science congress, Soil and water research institute, Tehran, Iran. 84-100.
8. Liu, G.; Zheng, F.; Jia, L.; Jia, Y.; Chang, X.; Zhang.; Hu, F.; & Zhang, Jiaqiong, 2019. Interactive effects of raindrop impact and groundwater seepage on soil erosion, *Journal of Hydrology*, 578 (in press).

9. Mansouri Daneshvar, M. R., & A. Bagherzadeh., (2012). Evaluation of sediment yield in PSIAC and MPSIAC models by using GIS at Toroq Watershed (Northeast of Iran), *Frontiers of Earth Science*, 6(1), 83-94.
10. Muche, M. E.; Hutchinson, S. L.; ShawnHutchinson, J. M.; & J. M. Johnston, 2019. Phenology-adjusted dynamic curve number for improved hydrologic modeling, *Journal of Environmental Management*, 235(1), 403-413.
11. Noori, H.; Siadatmousavi, S. M.; & B. Mojaradi, 2016. Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed (Iran), *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), 199-206.
12. Rafahi, H. Gh., 2006. Water erosion and conservation, University of Tehran press, 671p. (in Persian)
13. Safamanesh, R.; Azmin Sulaiman, W. N.; & M. F. Ramli, 2006. Erosion risk assessment using an empirical model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargheh Watershed Iran, *Journal of Spatial Hydrology Soil Sci*, 64, 1749-1758.
14. Salavati1, B.; Sadeghi, S. H. R.; & A. R. Telvar, 2010. Runoff Generation Modeling for Kurdistan Province Watersheds by using Physiographic and Climatic Variables, *Journal of Water and Soil*, 24 (1), 84-96. (in Persian)
15. Samadzaheh, R., & S. Pourmohammad., (2015). Modeling of soil erosion and sediment yield using the Morgan-Morgan Finney (MMF) method in Gizaz Chai watershed of KhalKhal (iran). *Quantitative Geomorphology Researchs*. 4 (2), 75-89. (in Persian)
16. Shahkarami, A., 1994. Estimation of sedimentation of the Nojian (iran) watershed by modified PSIAC model and comparison with sedimentological station statistical data, MSc thesis, Faculty of natural resources, Tarbiat Modares University, 101p. (in Persian)
17. Shrestha, D. P., & V. G. Jetten., (2018). Modelling erosion on a daily basis, an adaptation of the MMF approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 64, 117-131.
18. Tajgarda, T.; Ayoubi, S.; & Sh. Shataee, 2007. Soil erosion and sediment yield assessment using MPSIAC model, remote sensing and geographic information systems (Case study: Ziarrat watershed), *Pajouhesh & Sazandegi*, 79, 37-45. (in Persian)
19. Valentin, C. J.; Poesen, J.; & Yong, Li, 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control, *Catena*, 63, 132-153.
20. Vieira, D. C. S.; Serpa, D.; Nunes, J. P. C.; Prats, S. A.; Neves, R.; & J. J. Keizer, 2018. Predicting the effectiveness of different mulching techniques in reducing post-fire runoff and erosion at plot scale with the RUSLE, MMF and PESERA models, *Environmental Research*, 165, 365-378.
21. Walkley, A. J., & I. A. Black., (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.
22. Williams, J. R.; Renard K. G.; & P. T. Dyke, 1983. Epic- a new method for assessing erosion's effect on soil productivity, *Journal of Soil Water Conerv*, 38, 381-383.
23. Yuan, Guo., & Yu. Xion., (2017). Comparison of the implementation of three common types of coupled CFD-DEM model for simulating soil surface erosion. *International Journal of Multiphase Flow*. 91, 89-100.

Comparison of two MPSIAC and MMF models in soil erosion mapping of Ardebil Agh Gouni watershed

Hossein Shahab arkhazloo¹: Assistant Professor. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil

Samira Zahed: Graduated of MSc. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil

Asghari Sh: Associated Professor. Department of soil science and engineering, faculty of agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil

Article History (Received: 2019/11/12

Accepted: 2019/12/7)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion is the most important cause of land degradation and the cause of water loss, soil loss, sedimentation in water resources, and maximum flood intensification (Liu et al., 2019). Models are the most important tools for estimating and mapping of erosion at the watershed level. As the experimental models are dependent on used coefficients and region conditions, physical models based on the soil erosion process more accurately predicting soil erosion development (Yuan and Yu, 2017). The MPSIAC model is one of the most important experimental models that is widely used to estimate soil erosion in Iran's watersheds, also reported in literature the Morgan Morgan Finney (MMF) is one of the most efficient physical models in soil erosion estimation. In this study, MPSIAC experimental model and MMF physical model were used to estimate the erosion and determine its distribution at Ardebil Agh Gouni area and compared the efficiency of two models in estimating soil erosion.

2- Methodology

Agh Gouni watershed with an area of 1800 hectares located at 10 km south of Ardebil city was selected as the study area. At 100 points of the watershed with 300m intervals, soil sampling and field measurements of vegetation, soil and rock cover percentage were done and field data required for MPSIAC and MMF models were obtained. Soil erodibility index was determined by Williams et al (1983) by measuring the percentage of sand, silt and clay particles as well as the percentage of organic carbon, bulk density and particle density of soil samples. Precipitation and hydrology data were also obtained using meteorological data and estimated runoff using curve number (CN) method. Geological and topographic information was also obtained from the maps. Field visit, interpretation of aerial photos, and satellite imagery were performed to identify the watershed and determine the status of erosion. With soil, runoff, topography, geology and meteorological data, required inputs for the two models were obtained and soil erosion estimation was performed for 100 selected points at the watershed. Then, soil erosion interpolated between the points by inverse distance weighting (IDW) method and prepared soil erosion map of watershed.

3- Results

The results showed that the means of soil erosion in the studied area was estimated by MPSIAC and MMF model of 5.06 and 3.79 ton/ha/year, respectively. Also, the erosion map obtained from the estimation of MPSIAC model showed that higher erosion rates occur in areas with high slope and greater gully erosion density. The erosion map obtained from the estimation of MMF model also showed that there is more agreement between surface runoff

¹ Corresponding Author: h.shahab@uma.ac.ir

flow and annual erosion estimation with this model. In the MMF model, only surface erosion caused by runoff and raindrops is modeled, while in MPSIAC, in addition to surface erosion, gully erosion is also considered as one of the 9 factors in the scoring model. Therefore, the estimated result by this model is higher. In the erosion map of the MMF model the least estimation of erosion is related to the upstream of the watershed in the south and west of the watershed, which has minimal runoff flow in these areas and has relatively flat topography with respect to the slope map, so in this area the kinetic energy of the raindrops is the domain reason of soil erosion. As the outflow portion of the watershed gradually increases the effect of runoff to soil erosion. It was also observed that the kinetic energy factor (E) of the MMF model was uniform in most parts of the watershed and did not vary significantly, while the surface runoff volume factor (Q) from the upstream to the downstream and outlet of watershed gradually increased, which is the result of an increase in volume and velocity of runoff to outlet side.

4- Discussion & Conclusions

It was generally observed that the estimation of soil erosion with MPSIAC model is more than MMF model and due to the use of gully erosion as one of the factors of erosion, the erosion distribution with this model is very consistent with the gully erosion distribution. Therefore, although the MPSIAC model can be used to estimate long-term erosion in the region, estimating the annual erosion that usually results of sheet and rill erosion the MMF model is more accurate. As well as observed to obtain annual erosion distribution map, using the MMF model that is the basis of estimating rainfall and runoff energy is more accurate.

Key Words: Agh Gouni, Erosion Estimation, Erosion Map, Physical Model.