

برآورد فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل MPSIAC

احسان شهیری طبرستانی و حسین افزلی مهر

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۱۹۲ - ۲۰۵

Vol. 6(3), Autumn 2020, 192 – 205

DOI: 10.22034/jewe.2020.230807.1358

Estimation of Annual Erosion and Sedimentation
in Babolroud Catchment using MPSIAC Model

Shahiri Tabarestani E. and Afzalimehr H.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

شهیری طبرستانی ا. و افزلی مهر ح. (۱۳۹۹). برآورد فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل MPSIAC. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۱۹۲-۲۰۵.

Citing this paper: Shahiri Tabarestani E. and Afzalimehr H. (2020). Estimation of annual erosion and sedimentation in Babolroud Cthment using MPSIAC model. Environ. Water Eng., 6(3), 192–205. DOI: 10.22034/jewe.2020.230807.1358.

برآورد فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل MPSIAC

احسان شهیری طبرستانی^{۱*} و حسین افضل‌مهر^۲

^۱ دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
^۲ استاد، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: ehsan_shahiri@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۲/۲۲]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۴/۱۸]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۴/۲۲]

چکیده

یکی از مشکلات مدیریت و کنترل فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز، فقدان داده‌های آماری جهت برآورد دقیق میزان رسوب و فرسایش است. به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی، ارزیابی و برآورد حجم کل میزان تولید رسوب سالانه امری ضروری است. هدف از پژوهش حاضر، برآورد شدت فرسایش و میزان رسوب حوزه آبخیز بابلرود واقع در استان مازندران با مساحت حدود 962 km^2 همراه با نوع توپوگرافی، سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی با استفاده از مدل تجربی MPSIAC و تعیین میزان دقت این مدل با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc-GIS بود. در این روش تأثیر و نقش ۹ عامل مؤثر در فرسایش خاک ارزیابی و بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده شده است. با در نظر گرفتن مجموع اعداد به‌دست‌آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بر اساس مدل MPSIAC، حوزه آبخیز بابلرود با میزان رسوب‌دهی $166/469 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{y}$ در طبقه کم از نظر رسوب‌دهی قرار دارد. از علل اصلی آن، وجود مراتع متراکم و سازندهای آهکی و سنگ‌های دارای سختی متوسط تا زیاد در اغلب زیر حوضه‌ها می‌باشد. همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده از مدل، بیشترین مقدار فرسایش در ناحیه شمالی حوزه آبخیز قرار دارد که علت آن وجود کاربری غیرقابل کشت می‌باشد. به‌منظور ارزیابی دقت نتایج به‌دست‌آمده از مدل تجربی، از اطلاعات مشاهده‌ای دو ایستگاه رسوب‌سنجی استفاده شده است و نتایج بیانگر اختلاف نسبی متوسط ۲۱٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز بابلرود؛ عوامل رسوب‌گذاری؛ مدل تجربی؛ مقادیر مشاهده‌ای.

۱- مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشور است. فرسایش خاک در سال‌های اخیر افزایش پیدا کرده است و به یک دغدغه جهانی برای محیط‌زیست و اقتصاد کشورها تبدیل شده است (Angima et al. 2003). فعالیت‌های انسانی و استفاده نامناسب از زمین‌های شهری باعث تسریع فرسایش خاک در بسیاری مناطق سطح زمین شده است (Ahmadi 1995; Zhang et al. 2015). محافظت از فرسایش خاک به دلیل اثرات مستقیم آن بر حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی، کیفیت آب و وقوع سیلاب اهمیت بسیار دارد. با فرسایش خاک میلیون‌ها تن رسوبات وارد مخازن و دریاچه‌ها می‌شود که باعث آسیب به سدها، کاهش عمر مفید آن‌ها، تغییر کیفیت آب و خسارات زیادی از نظر اقتصادی می‌شود (Refahi 2015; Wang et al. 2003). در نتیجه پیشگیری و مهار فرسایش خاک در گستره حوزه‌های آبخیز و در چهارچوب طرح‌های بهره‌برداری آب‌و‌خاک و آبخیزداری یک نیاز اساسی است. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوب‌دهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش‌پذیری در یک حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد و عوامل مؤثر در فرسایش حوضه شناسایی گردند. بطوریکه شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری نماید (Alizadeh 1990).

روش‌های مختلفی برای تخمین فرسایش رسوب یک حوضه وجود دارد. روش‌های تجربی در ابتدا برای تحلیل اثرات فعالیت‌های کشاورزی توسعه‌یافته است. اولین مدل، روش^۱ USLE بوده است (Wischmeier and Smith 1978). این مدل نرخ فرسایش سالانه میانگین را بر اساس الگوی بارش، مشخصات خاک منطقه، توپوگرافی و پوشش خاک به‌دست‌آمده می‌آورد (Goodrich et al. 2015; Jain and Das 2010). پس از آن اصلاحاتی در این مدل به وجود آمد و مدل‌های^۲ RUSLE (Renard et al. 1991) و^۳ MUSLE (Williams 1975) استفاده شد. برخی دیگر از مدل‌های تجربی معروف شامل FAO،

PSIAC^۴، MPSIAC و EPM می‌باشد. مطالعاتی با استفاده از این روش‌ها انجام گرفته است که بسیاری از آن‌ها نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند (Rajbansh et al. 2020; Kidane et al. 2019; Singh and Kumar 2017; Noori et al. 2016; Bagherzade and Daneshvar 2011).

(Noori and et al. 2017) به بررسی فرسایش خاک به روش MPSIAC برای حوزه آبخیز دز و مقایسه آن با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری پرداختند. آن‌ها این حوضه را به سه طبقه متوسط، زیاد و خیلی زیاد از نظر فرسایش طبقه‌بندی کردند. همچنین نشان دادند که مقادیر رسوب به‌دست‌آمده با روش MPSIAC به مقدار ۳۸ درصد از مقادیر مشاهده‌ای کمتر شده است. (Pourkarimi et al. 2017) به مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC برای ارزیابی تولید رسوب در حوزه آبخیز استان خراسان پرداختند. آن‌ها نشان دادند که مقادیر برآورد شده از روش MPSIAC به شدت کمتر از روش EPM به‌دست‌آمده است. (Abdullah et al. 2017) به‌کارگیری سه روش برای تخمین میزان فرسایش در کشور کویت نشان دادند که روش MPSIAC برآورد دقیق‌تری از میزان تولید رسوب منطقه ارائه داده است. (Mirakhorlo and Rahimzadegan 2018) کارایی دو مدل MPSIAC و EPM را در برآورد رسوب تولیدشده در حوزه آبخیز تالار را با مقایسه با منحنی سنج رسوب منطقه بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که مقدار برآورد شده از هر دو مدل تجربی کمتر از روش منحنی سنج رسوب به‌دست‌آمده است. (Zarei et al. 2019) مقدار تولید رسوب در حوزه آبخیز بیشه‌زار را برآورد کردند و با آنالیز حساسیت پی بردند که عوامل توپوگرافی و رواناب از بین عوامل ۹گانه مؤثر در روش MPSIAC بیشترین تأثیر را بر روی فرسایش منطقه داشته‌اند.

کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) در تخمین و ارزیابی فرسایش اثبات شده است و در مقایسه با روش‌های سنتی هزینه کمتر و دقت بالاتری دارد (Lin et al. 2002; Tangestani 2001). کاربرد مدل‌های پیش‌بینی فرسایش با GIS یک ابزار قدرتمند

⁴ Modified Pacific Southwest Inter – Agency Committee

¹ Universal Soil Loss Equation

² Revised Universal Soil Loss Equation

³ Modified Universal Soil Loss Equation

فرسایش یافته و شدت تخریب منابع خاک حوضه، برنامه-ریزان منطقه را به سمت تخصیص بهینه هزینه و زمان جهت خواهد داد.

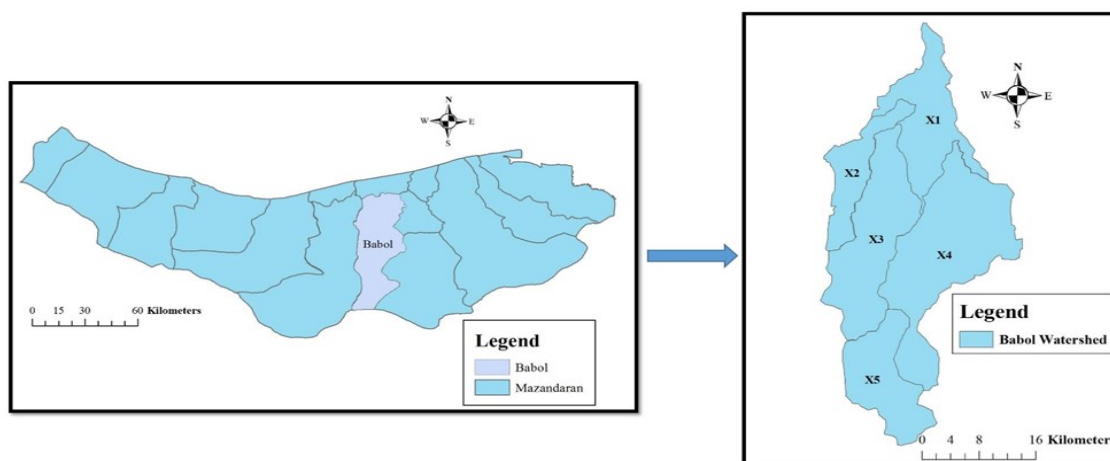
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان مازندران و شهرستان بابل در عرض‌های جغرافیایی "۵۲°۲۸'۴۰" الی "۵۲°۴۷'۲۵" و در طول‌های جغرافیایی "۳۶°۳۶'۳۵" الی "۳۶°۰۰'۰۲" قرار گرفته است (شکل ۱). رودخانه بابلرود از جبهه شمالی سلسله جبال البرز کوه‌های نارگلی امامزاده حسن و ورگلی سرچشمه می‌گیرد. همچنین از سمت شرق به حوزه آبخیز رودخانه تالار و سیاهرود و از سمت غرب به حوزه آبخیز رودخانه هراز محدود می‌شود. این حوضه از ۵ زیر حوضه اصلی به مساحت ۹۶۲ km² تشکیل شده است. متوسط بارندگی سالانه ۷۸۲ mm و میانگین دمای متوسط سالانه ۱۴/۱۴ °C در سطح حوضه گزارش شده است (Mazandaran Regional Water Organization) (2013). حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب معادل ۳۶۷۷/۶ m و ۱۴/۸ m- است. اقلیم حوضه از نوع نیمه مرطوب سرد می‌باشد. بخش وسیعی از ناحیه میانی و جنوب حوضه دارای پوشش متراکم جنگلی راش، بلوط و پهن‌برگ (خزری) و کوهستانی است. در ناحیه شمالی حوضه نیز عمده کاربری از نوع اراضی کشاورزی دیم می‌باشد.

برای ارزیابی فرسایش خاک در یک منطقه است (Aksoy and Kavvas 2005).

کارایی مدل تجربی MPSIAC در حوزه‌های آبریز با توجه به مشخصات اقلیم حوضه، شرایط آب و هوایی، زمین-شناسی، خاک‌شناسی، سابقه فرسایش، نوع فرسایش و دیگر ویژگی‌های مختص هر حوضه، مشخص می‌شود. ارزیابی دقت و کارایی این روش در حوزه آبریز بابلرود می‌تواند زمینه‌ای را به منظور بررسی میزان رسوب و فرسایش مناطق با مشخصات مشترک و نزدیک به این حوضه با استفاده از روش تجربی MPSIAC فراهم آورد. این مسئله زمانی ارزش پیدا می‌کند که در این مناطق دسترسی به اطلاعات ایستگاه‌های رسوب‌سنجی به هر دلیلی میسر نباشد. در تمامی تحقیقات صورت گرفته در داخل کشور، نقشه‌های ماهواره‌ای بکار رفته دارای دقت ۳۰*۳۰ برای هر پیکسل می‌باشد؛ اما در این پژوهش با استفاده از باند Panchromatic موجود در فایل Metadata دقت هر پیکسل به ابعاد ۱۵*۱۵ افزایش یافت که نتیجه این اقدام، افزایش دقت در تخمین میزان آورد رسوب و فرسایش برای هر نقطه مکانی موجود در نقشه حوضه می‌باشد. به منظور بررسی کارایی مدل تجربی MPSIAC در حوزه آبخیز بابلرود از داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی درون کلا و کریکچال جهت تعیین میزان دقت این مدل استفاده شده است. این روش بر مبنای امتیازدهی به عوامل مختلف در نرم‌افزار GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. شناسایی دقیق عرصه‌های



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز بابلرود در کشور ایران، استان مازندران و شهرستان بابل
Fig. 1 Location of Babolroud watershed in Iran, Mazandaran Province

۲-۲- مدل MPSIAC

مختلف، میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد می‌شود. از مهم‌ترین مزایای این روش، ارزیابی وضعیت فعلی فرسایش خاک در سطح حوزه آبخیز و فرسایش رودخانه‌ای علاوه بر ارزیابی عوامل مؤثر در فرسایش خاک (هفت عامل اول مندرج در جدول ۱) می‌باشد. از معایب این روش، لزوم ارزیابی صحیح هر یک از عوامل و اولویت‌بندی کردن آن‌ها از نظر مؤثر بودن در تولید رسوب می‌باشد که این مسئله با به‌کارگیری تجربه علمی و عملی فراوان در زمینه شناخت عوامل مختلف مؤثر در فرسایش خاک، قابل برطرف کردن می‌باشد. طی تحقیقی، Jhonson and Gembhart (1982) عوامل ۹ گانه این روش را به‌صورت معادلات عددی در آوردند که از این معادلات در پژوهش حاضر استفاده شد. در این روش به هر یک از عوامل، با توجه به چگونگی تأثیر آن‌ها در فرسایش خاک و نهایتاً تولید رسوب در حوزه آبخیز مورد مطالعه نمراتی اختصاص یافته است (جدول ۱).

این روش در سال ۱۹۶۸ میلادی به‌وسیله کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایالت متحد آمریکا ارائه شد و برای اولین بار در یک حوزه آبخیز تحقیقاتی به نام Walnut Gulch واقع در جنوب شرقی ایالت آریزونا آمریکا آزمایش شد. این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود بیش‌ترین عامل مؤثر در فرسایش خاک برای محاسبه فرسایش ویژه و تولید رسوب را در نظر گرفته است. همین مسئله می‌تواند باعث کاهش خطا در برآورد میزان رسوب حمل شده نسبت به سایر روش‌ها باشد (Refahi 2015). در روش MPSIAC نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز ارزیابی می‌شود. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به‌دست‌آمده برای عوامل

جدول ۱- عوامل مؤثر در مدل MPSIAC و نحوه امتیازدهی به آن‌ها (Refahi 2015)

Table 1 Effective factors in MPSIAC model and scoring them (Refahi 2015)

Row	Effective factors	Scoring in MPSIAC model	Factor description	Ranges of factors
1	Geology	$X_1 = Y_1$	Y_1 : geologic erosion index	0-10
2	Soil	$X_2 = 16.67 k$	k : soil erodibility factor in Universal Soil Loss Equation	0-10
3	Climate	$X_3 = 0.2 P_2$	P_2 : 6h precipitation amount with 2-year return period	0-10
4	Run off	$X_4 = 0.006R + 10Q_P$	R : total average runoff Q_P : peak special discharge	0-10
5	Topography	$X_5 = 0.33S$	S : average slope of watershed (percent)	0-20
6	Ground cover	$X_6 = 0.2 Pb$	Pb : percentage of bare ground	-10 - 10
7	Land use	$X_7 = 20 Pc$	Pc : plant canopy	-10 - 10
8	Upland Erosion	$X_8 = 0.25 SS.F.$	$SS.F.$: sum of scores in BLM method	0 - 25
9	Channel erosion and sediment transport	$X_9 = 1.67 SSF.g$	SSF : G: gully erosion in BLM method	0 - 25

که در آن Q_s میزان رسوب‌دهی سالانه برحسب m^3/km^2 ، R درجه رسوب‌دهی معادل مجموع امتیازات عوامل ۹ گانه در نظر گرفته‌شده در مدل MPSIAC و e عدد نپیر تقریباً معادل $2/738$ می‌باشد. در این روش فرسایش خاک و رسوب‌زایی هر واحد تحت عنوان بار رسوب نامیده می‌شود که مجموع بار معلق^۲ و بار کف^۳ می‌باشد. اغلب رسوبات معلق و بار کف حوضه از نوع کوارتز با وزن مخصوص

پس از تعیین امتیاز هر یک از عوامل و به‌دست آوردن مجموع نمرات آن‌ها به‌منظور تعیین میزان رسوب‌زایی هر یک از اجزای واحد هیدرولوژیکی، از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$Q_s = 38.77e^{0.0353R} \quad (1)$$

³ Bed load

¹ Sediment yield

² Suspended load

جدول ۲- تعیین کلاس فرسایش خاک در روش MPSIAC
Table 2 Classification of soil erosion in MPSIAC model

Erosion Classification	Erosion Intensity	Sediment Production (m ³ /km ² .y)	Scores of Sediment Production
V	Very high	>1429	>100
IV	High	476-1429	75-100
III	Moderate	238-476	50-75
II	Low	95-238	25-50
I	Very low	<95	0-25

۲/۶۵ ton/m³ می‌باشد. این نوع از رسوبات دارای مقاومت و سختی بسیار بالایی است. در انتها با استفاده از جدول (۲)، طبقه رسوب‌دهی هر یک از زیرحوضه‌ها با استفاده از مقدار رسوب تولیدشده به دست می‌آید. در ادامه به معرفی و شرح هر یک از این عوامل پرداخته می‌شود. شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی سطحی حوزه آبخیز برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌زایی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. در این روش بسته به اینکه مقاومت سنگ در مقابل فرسایش به چه اندازه باشد، از درجاتی بین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌شود که در جدول (۳) درجه اختصاص یافته به هر نوع از سنگ-های زیر حوزه بابلرود مشخص شده است.

جدول ۳- امتیاز عامل زمین‌شناسی در تولید رسوب (X₁)

Table 3 Surface geology factor scoring

Geo-Unit	Description	X ₁
Qm	Swamp and marsh	2
Pel	Medium to thick - bedded limestone	6
Mm,s,l	Marl, calcareous sandstone, sandy limestone and minor conglomerate	5
TRJs	Dark grey shale and sandstone	9
K2l2	Thick - bedded to massive limestone	5
Plc	Polymictic conglomerate and sandstone	5
TRe	bedded dolomite and dolomitic limestone	3
Ktzt	Thick bedded to massive, white to pinkish orbitolina bearing limestone	6
Jl	Light grey, thin - bedded to massive limestone	5
Kbvt	Basaltic volcanic tuff	5
Qft2	Low level piedmont fan and valley terrace deposits	5

جدول ۴- امتیاز عامل خاک‌شناسی در تولید رسوب (X₂)

Table 4 Soil factor scoring

Type of Soil	X ₂	k
Mollisols	6	0.36
Rock Outcrops/Entisols	3	0.18
Alfisols	7.1	0.43
Inceptisols	8	0.48
Mollisols	6	0.36
Inceptisols	8	0.48
Alfisols	7.1	0.43

مشخصه‌های درصد سیلت به اضافه شن خیلی ریز، درصد شن، درصد مواد آلی، ساختمان خاک و قابلیت نفوذ قابل محاسبه می‌باشد.

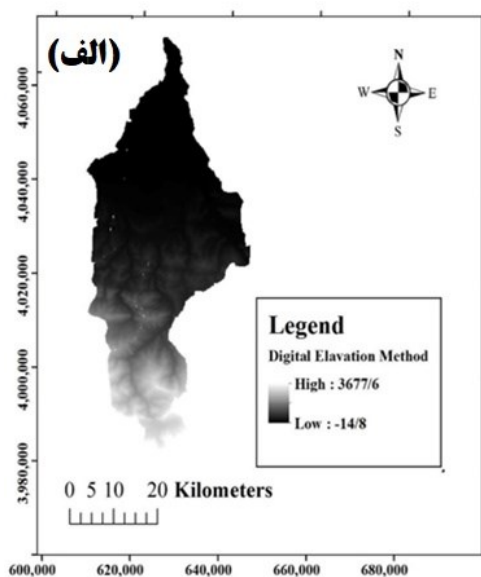
فرسایش هر منطقه تا حد زیادی وابسته به اقلیم و آب‌وهوای منطقه می‌باشد. مقدار و شدت بارندگی در میزان رواناب و در نتیجه در میزان فرسایش مؤثر است. برای

دامنه تغییرات برای امتیاز عامل خاک بر اساس بافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها، میزان آهک، مواد آلی، قابلیت پخش ذرات رس و رطوبت اولیه خاک استوار است. در جدول (۴) امتیازات تخصیص یافته به انواع خاک‌های موجود در حوضه نشان داده شده است. در ستون سوم این جدول k (عامل فرسایش‌پذیری خاک در فرمول جهانی فرسایش) از

مسیر رودخانه و انرژی پتانسیل جریان سیلاب‌ها را نام برد. به دلیل اهمیت بالای این نوع فرسایش در تولید رسوب، امتیاز این عامل نیز بین اعداد ۰ تا ۲۵ متغیر می‌باشد.

۲-۳- داده‌های پژوهش

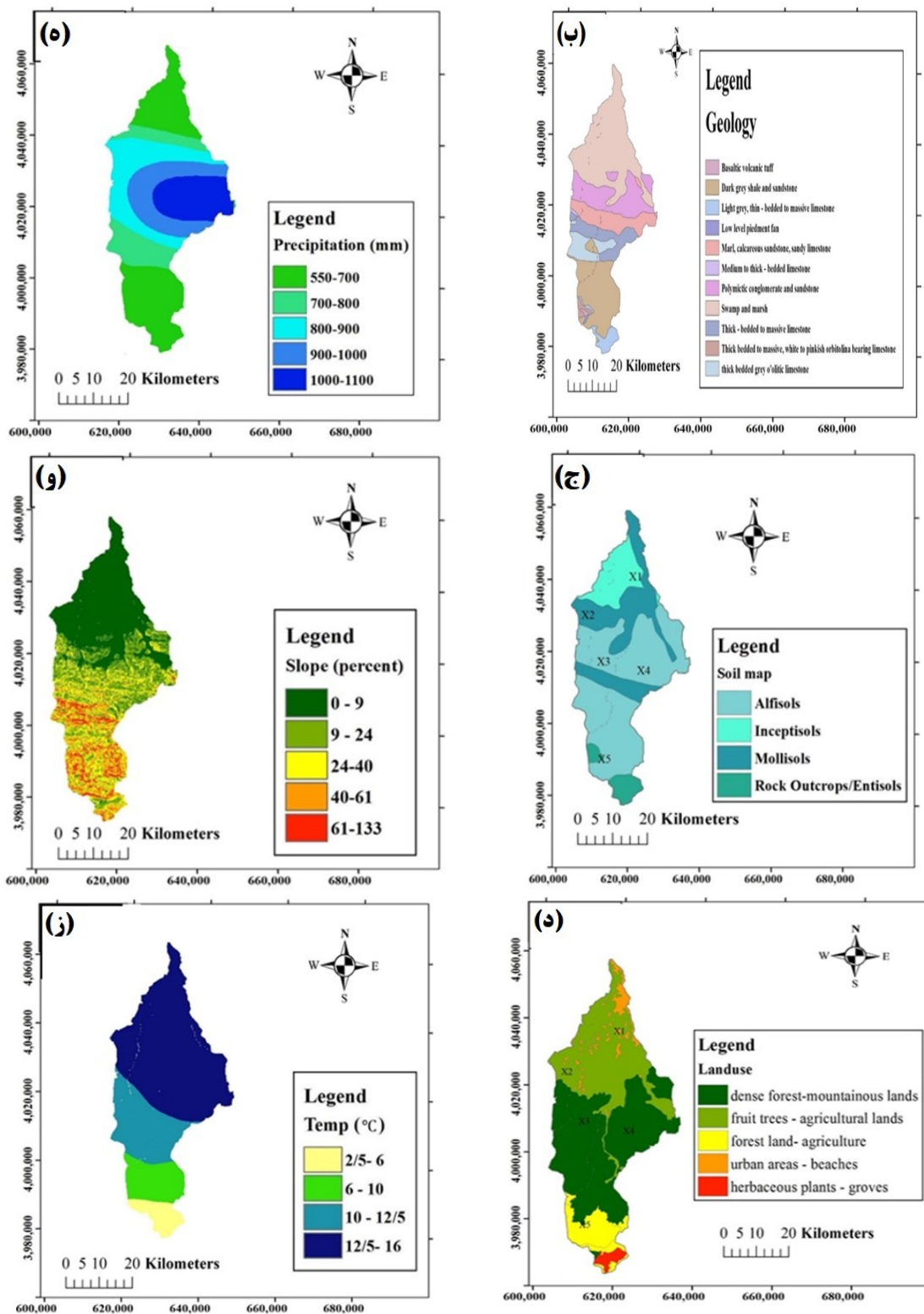
به‌منظور برآورد میزان رسوب تولیدشده و شدت فرسایش زیر حوضه‌ها اطلاعات مختلفی از قبیل نقشه ارتفاعی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی، بارش باران، شیب زمین و درجه حرارت منطقه مورداستفاده قرارگرفته است. در شکل (۲-الف) نقشه ارتفاع رقومی محدوده حوزه آبخیز باپلرود نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بخش جنوبی حوزه آبخیز منطقه کوهستانی می‌باشد و بیشترین میزان ارتفاع از سطح آزاد دریا در این نواحی قرار دارد. در بخش شمالی حوزه آبخیز نیز مناطق دشتی با ارتفاعات کم قرار دارد. در شکل (۲-ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده است. در بخش‌های وسیعی از ناحیه شمالی حوضه سازندهای آبرفتی و در بخش‌های جنوبی آن لایه سنگ‌های سخت و شیل قرار دارد. در شکل (۲-ج) مشاهده می‌شود که بخش وسیعی از حوضه شامل خاک‌هایی از جنس آلفی‌سول است. این نوع خاک اغلب در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب در زیر پوشش‌های جنگلی مشاهده می‌شود. همچنین خاک‌های مولی‌سول که در بخش میانی و نیمه بالایی حوضه قرار دارند، دارای سطح غنی از مواد آلی و آهک می‌باشند و اغلب در علفزارها مشاهده می‌شوند.



تخصیص امتیاز عامل آب‌وهوا به فراوانی بارش، شدت بارش، دوره ریزش بارش، برف، یخبندان و ذوب شدن توجه می‌گردد. در مطالعه اثر رواناب بر روی فرسایش خاک می‌توان خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه مانند دبی ویژه سیلاب‌ها، دبی ویژه با دوره‌های بازگشت مختلف شدت طغیان، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها را بررسی نمود. بین این عوامل دبی ویژه در واحد زمان و سطح، معیار مناسبی برای ارزیابی میزان رواناب است. عامل پستی‌وبلندی معمولاً با شاخص شیب سنجیده می‌شود. فرسایش معمولاً در شیب‌های تند با طول زیاد افزایش می‌یابد. اهمیت شیب و توپوگرافی اراضی در فرسایش خاک باعث شده که امتیاز این عامل بین ۰ تا ۲۰ در نظر گرفته شود. انواع پوشش زمین عبارت است از پوشش گیاهی، لاشبرگ و پوشش سنگی. وجود هر یک از این سه پوشش می‌تواند تأثیرهای متفاوتی را در سطح زمین در مقابل ضربه قطرات باران که عامل اصلی فرسایش آبی و تولید رسوب است، دارا باشند.

برای تعیین امتیاز عامل کاربری اراضی معمولاً دو معیار عملیات کشاورزی و وضعیت چرای دام مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. چنانچه در سطح حوضه فعالیت‌های کشاورزی معمول نبوده و یا درصد کمی تحت زراعت اصولی و صحیح از نظر حفاظت آب‌و خاک باشد و کمتر مورد تعلیف دام قرار گیرد، نقش عامل فوق در میزان فرسایش خاک و تولید رسوب منفی است و برعکس.

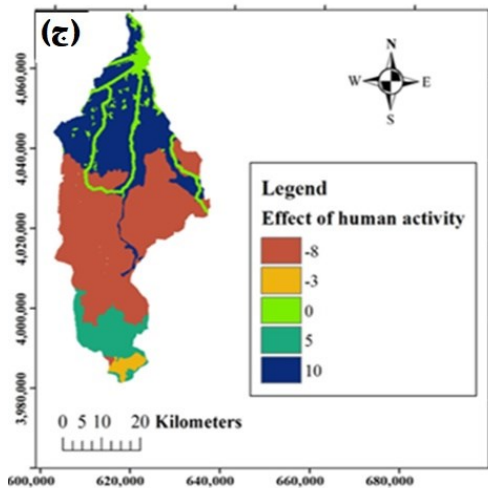
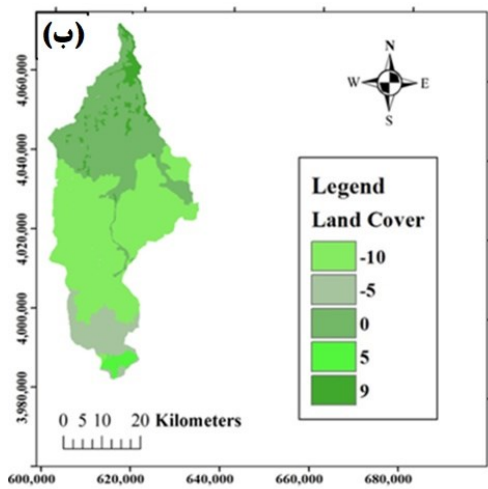
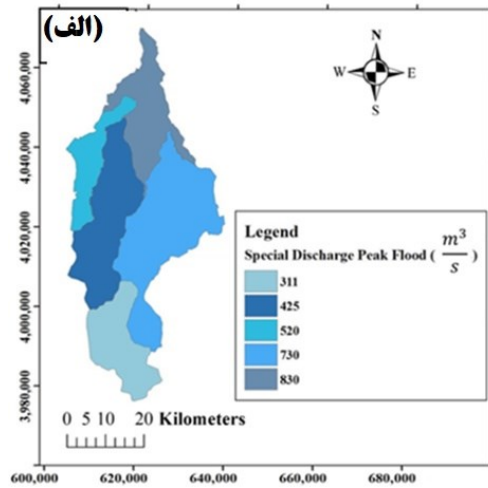
برای بررسی عامل فرسایش در سطح حوزه آبخیز، فرسایش سطحی موجود مانند فرسایش بارانی، ورقه‌ای، شیاری و خندقی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به دلیل اهمیت این عامل در تولید رسوب امتیاز آن بین ۰ تا ۲۵ متغیر می‌باشد. در این روش برای تعیین عامل سطحی خاک (S.S.F.) از هفت عامل استفاده می‌شود که عبارت‌اند از: حرکت توده خاک، پوشش لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم‌یافته، شیاریهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و توسعه فرسایش خندقی. در عامل فرسایش رودخانه‌ای (آبراهه‌ای) دو پدیده فرسایش کناره‌ای و حمل رسوب توسط سیلاب مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله عوامل مؤثر در فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌توان شیب متوسط بستر رودخانه‌ها، نوع سنگ‌ها در



شکل ۲- اطلاعات حوزه آبخیز بابلرود: الف) نقشه ارتفاعی رقومی، ب) نقشه زمین‌شناسی، ج) نقشه خاک‌شناسی، د) نقشه کاربری اراضی، ه) نقشه بارش باران، و) نقشه شیب زمین و ز) نقشه درجه حرارت

Fig. 2 Characteristics of Babolroud catchment: a) Digital elevation b) geology c) soil map d) land use e) Annual Precipitation (mm) f) Slope and g) Temperature

در شکل (۲-ت) نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز بابلرود مشخص شده است. بخش‌های مختلف این حوزه به‌ترتیب وسعت شامل مناطق جنگلی متراکم و مناطق کوهستانی،



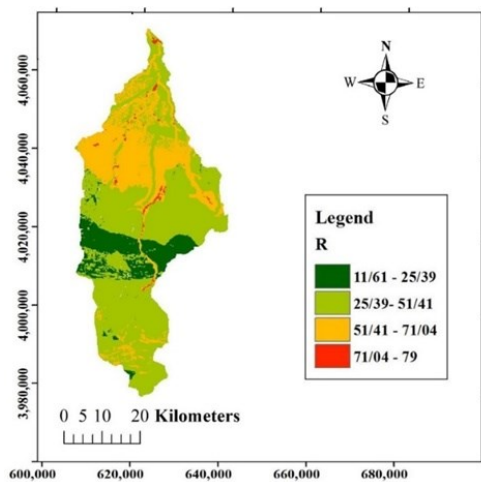
درخت‌زارها، مناطق جنگلی-کشاورزی و بیشه‌زارها می‌باشد. مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم و انبوه که بخش وسیعی از حوضه را شامل می‌شوند، منجر به کاهش میزان رسوب‌زایی و حفاظت طبیعی خاک می‌شوند. در شکل (۲-د) مشاهده می‌شود که میانگین سالانه بارش باران در طول سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۹ در بازه ۵۰۰ تا ۱۱۰۰mm قرار دارد. این اطلاعات از آمار ۱۰ ساله ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی در سطح حوضه به‌دست‌آمده است. میزان بارش در قسمت شرقی مرکز حوزه آبخیز بیشترین مقدار است و به‌تدریج به سمت ناحیه شمالی و جنوبی حوضه روند کاهشی مشاهده می‌شود. همان‌طور که از شکل (۲-ر) برمی‌آید، بیش‌ترین میزان شیب در ناحیه جنوبی حوضه به دلیل ماهیت کوهستانی آن و کم‌ترین آن در ناحیه شمالی حوضه به دلیل ماهیت دشتی منطقه می‌باشد. میزان درجه حرارت حوضه نیز مشابه اطلاعات بارش در طول ۱۰ سال و از ۱۱ ایستگاه برداشت‌شده است. در ناحیه شمالی حوضه به دلیل ارتفاعات پایین‌تر درجه حرارت‌های بالاتر و در ناحیه جنوبی حوضه به دلیل ارتفاعات بالاتر درجه حرارت‌های کم‌تر مشاهده می‌شود.

۳- یافته‌ها و بحث

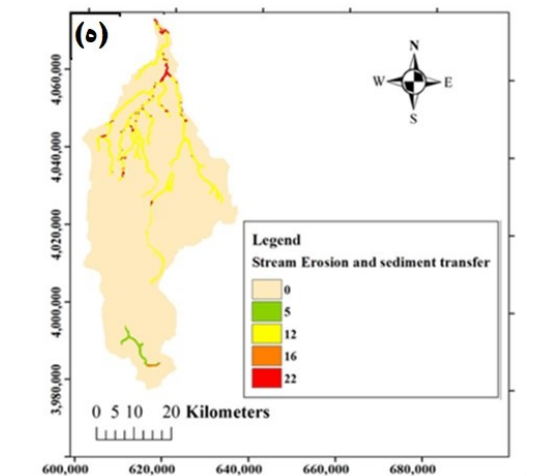
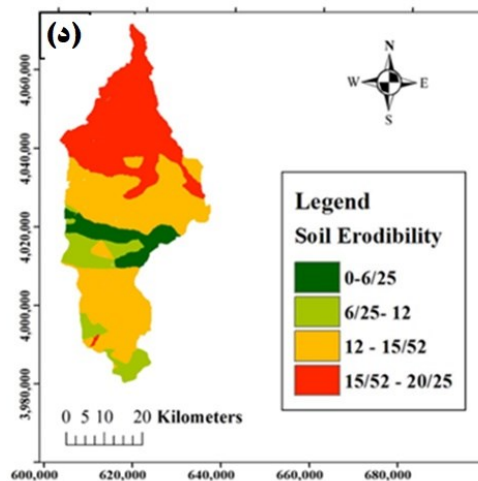
۳-۱- محاسبه تولید رسوب و تعیین کلاس رسوب-

دهی و فرسایش

در این بخش به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی عوامل ۹ گانه در تعیین کلاس رسوب‌دهی زیر حوضه‌ها و محاسبه تولید رسوب پرداخته می‌شود. تصاویر مربوط به امتیازهای اختصاص‌یافته به معیارهای اثرگذار در فرسایش و تولید رسوب در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۴- پارامتر R در حوزه آبخیز بابلرود
Fig. 4 R parameter in Babolroud watershed



شکل ۳- امتیاز اختصاص یافته به عوامل مؤثر تولید رسوب و فرسایش در روش MPSIAC در حوزه آبخیز بابلرود: الف) دبی ویژه پیک سیلاب، ب) پوشش زمین، ج) کاربری اراضی، د) وضعیت فرسایش در سطح حوضه و ه) فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب

Fig. 3 Scoring of factors in determining the sedimentation a) special discharge peak flow b) land cover c) effect of human activity d) soil erodibility and e) stream erosion and sediment transfer

جدول ۵- مقادیر میزان تولید رسوب و درجه رسوبدهی زیرحوضه‌های بابلرود

Table 5 The amount of sediment production and the degree of sedimentation in the sub-basins of Babolroud

Region	R	Q_s ($m^3/km^2 * y$)	Area (km^2)	Q_s (m^3/y)	Class
X_1	51.9	238.44	166	39582.19	III
X_2	45.167	188.38	94	17708.26	II
X_3	36.327	138.25	226	31245.38	II
X_4	35.562	134.60	147	19786.38	II
X_5	40.053	157.51	329	51821.45	II
basin	41.27	166.469	962	16014.3.17	II

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقدار رسوب تولیدشده برحسب m^3/y برای زیرحوضه‌های بابلرود به‌دست آمده است. طبق اطلاعات جدول (۲) زیرحوضه X_1 واقع در ناحیه شمالی حوضه، در طبقه متوسط و مابقی زیرحوضه‌ها در طبقه کم از نظر رسوبدهی قرار دارند. دلیل اصلی این مسئله وجود اراضی غیرقابل کشت در محدوده شمالی حوضه می‌باشد. همچنین کل حوضه نیز از نظر میزان رسوبدهی در طبقه کم جای دارد که دلیل آن وجود مراتع متراکم و سازندهای آهکی و سنگ‌های دارای سختی متوسط تا زیاد در اغلب مناطق زیر حوضه‌ها می‌باشد. همان‌طور که مشاهده

با تعیین امتیاز ۹ عامل مؤثر در میزان فرسایش و تولید رسوب در مدل MPSIAC و با استفاده از رابطه (۱)، پارامتر R (درجه رسوبدهی) به‌دست آمده است که در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است پارامتر R در ناحیه زیرحوضه شمالی مقادیر حداکثری دارند و در ناحیه میانی و جنوبی زیرحوضه کاهش می‌یابد. میانگین مقادیر R و میزان تولید رسوب برای هر زیرحوضه در جدول (۵) آمده است.

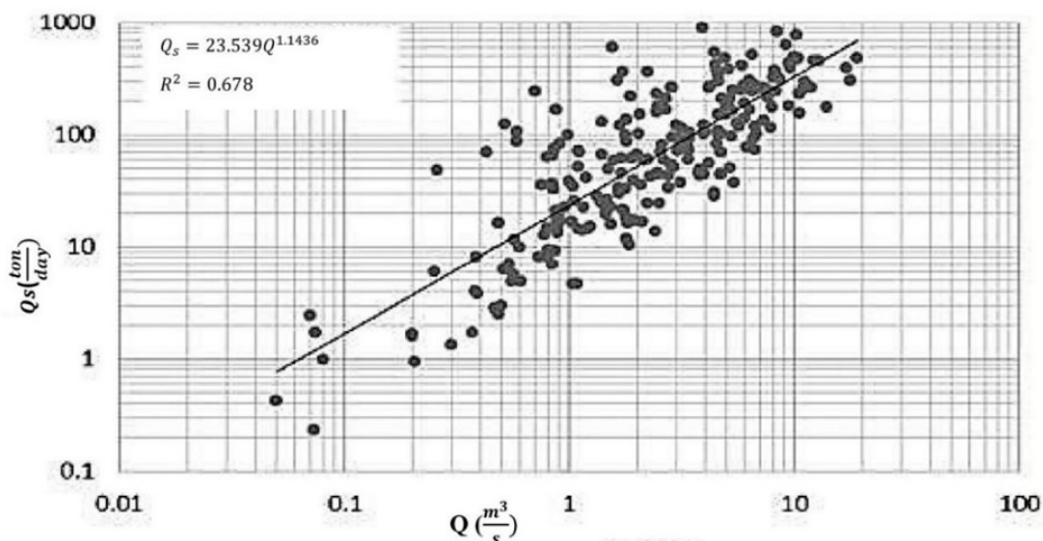
تبخیر آب از نمونه‌ها و وزن نمونه‌های خشک غلظت مواد معلق به دست می‌آید. با داشتن این داده‌ها و همچنین دبی جریان منحنی سنج رسوب قابل رسم است. به دلیل دشوار بودن اندازه‌گیری بار معلق، برای پیش‌بینی مقدار آن از این منحنی‌ها استفاده می‌گردد. در این پژوهش نیز مقادیر دبی بار معلق در دو ایستگاه درونکلا و کریکچال با استفاده از منحنی سنج رسوب به دست آمده است.

از سویی دیگر طی مطالعه (Pourhosein et al. 2015) نسبت مقادیر بار بستر به بار معلق ایستگاه‌های مختلف از جمله درونکلا و کریکچال اندازه‌گیری شد. آن‌ها با اندازه‌گیری میدانی بار بستر رسوب توسط دستگاه هلی-اسمیت در دبی‌های خاصی از جریان و همچنین تعیین مقادیر بار رسوب معلق در همان دبی‌های جریان آب از منحنی سنج رسوب قادر به اندازه‌گیری نسبت بار بستر به بار معلق شدند که به طور متوسط این نسبت ۲/۷٪ برای رودخانه بابلرود تعیین گردید. در جدول (۶) مقایسه نتایج مدل MPSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده شده است.

می‌شود در کمربند میانی حوضه که خاک از نوع مولی‌سول است، به صورت کاملاً منطبق بر آن، مقادیر R در پایین‌ترین دسته جای می‌گیرند که این مسئله بیانگر اهمیت نوع خاک در تولید رسوب و فرسایش حوضه می‌باشد. در نواحی میانی زیرحوضه‌ها (X3 و X4) به دلیل وجود سازندهای مقاوم و شیب نه‌چندان زیاد، پایین‌ترین مقادیر R مشاهده می‌شوند.

۲-۳- صحت‌سنجی نتایج

به منظور صحت‌سنجی نتایج به دست آمده از مدل MPSIAC در این پژوهش، از اطلاعات دو ایستگاه رسوب‌سنجی درونکلا و کریکچال استفاده می‌شود. داده‌های رسوب مربوط به چهار ایستگاه هیدرومتری در رودخانه بابلرود از اداره آب منطقه‌ای استان مازندران جمع‌آوری شد. این مجموعه داده‌ها شامل غلظت مواد معلق، دبی آب و نرخ متوسط بار معلق می‌باشد. نمونه‌های بار معلق این رودخانه در یک بطری جمع‌آوری شده و برای تحلیل به آزمایشگاه برده شد. پس از عملیات فیلتراسیون،



شکل ۵- منحنی سنج رسوب حوزه آبخیز بابلرود (Pourhosein et al. 2015)

Fig. 5 Sediment rating curve of Babolroud River (Pourhosein et al. 2015)

جدول ۶- مقایسه نتایج مدل MPSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده

Table 6 Comparison of the result predicted by MPSIAC model and the measured values

Station	Q, m ³ /s	Q _s suspended load, ton/d	Q _s Bed load, ton/d	Q _s Total, ton/d	Q _s IMPSIAC, ton/d
Darounkola	11	365.36	9.86	375.22	287.38
Kerikchal	13.2	450.06	12.15	462.21	376.24

میزان فرسایش و تولید رسوب از مدل تجربی MPSIAC استفاده شد. در این روش نقش ۹ عامل مؤثر در فرسایش خاک ارزیابی و میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد شد. به‌عنوان نتیجه‌گیری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- وضعیت فرسایش حوضه در کلاس II (طبقه کم از نظر فرسایش‌پذیری) قرار دارد که دلیل اصلی آن وجود مراتع متراکم و سازندهای آهکی و سنگ‌های دارای سختی متوسط تا زیاد در اغلب مناطق زیر حوضه‌ها می‌باشد.

۲- بیش‌ترین میزان فرسایش در زیرحوضه X_1 قرار دارد که دلیل اصلی آن وجود اراضی غیرقابل کشت در ناحیه شمالی حوضه است. همچنین نواحی میانی زیرحوضه‌ها (X_3 و X_4) و نواحی جنوبی حوضه به دلیل لایه سنگ‌های سخت و شیل و پوشش‌های جنگلی و کوهستانی کمتر در معرض فرسایش‌پذیری قرار گرفته‌اند.

۳- مقایسه نتایج مدل تجربی با مقادیر اندازه‌گیری شده دو ایستگاه رسوب‌سنجی حوزه آبخیز بابلرود و اختلاف ۲۱ درصدی این مقادیر، بیانگر دقت مطلوب روش MPSIAC در برآورد شدت فرسایش و رسوب تولیدشده است.

با توجه به اینکه حوزه آبخیز بابلرود از زیرحوضه‌هایی با طبقات مختلف شدت فرسایش تشکیل شده است و در کل در طبقه کم از نظر میزان فرسایش‌پذیری جای دارد، انجام اقدامات حفاظت مکانیکی و غیرمکانیکی توصیه می‌شود. به‌منظور حفاظت غیر مکانیکی از سطح حوضه اقداماتی از قبیل استفاده صحیح از زمین، حفاظت خاک از طریق مدیریت زراعی، انجام شخم مناسب، استقرار پوشش گیاهی مناسب و گذاشتن بقایای گیاهی در زمین را می‌توان پیشنهاد نمود.

کارایی و سطح اعتماد هر مدل در نتیجه مقایسه میزان برآورد روش موردنظر با مقادیر ثبت‌شده به‌وسیله دستگاه‌های اندازه‌گیری مشخص می‌شود. همان‌طور که از جدول (۶) مشخص است، مدل MPSIAC نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده مقادیر کمتری را تخمین می‌زند که با نتایج (Noori et al., 2017)، Pourkarimi et al. (2017)، Mirakhorlo and Rahimzadegan (2018)، Rastgoo et al. (2006) و Bahrami and Rahimi (2008) همخوانی دارد. علت کمتر بودن مقدار محاسبه شده از مقدار اندازه‌گیری را می‌توان عدم در نظر گرفتن همه عوامل مؤثر در فرسایش سطح حوضه دانست زیرا در روش MPSIAC، ۹ عامل در تخمین میزان فرسایش و رسوب خاک اثر دارند. چنانچه عامل مؤثر دیگری به این مدل اضافه گردد ممکن است به‌عنوان یک پارامتر افزایشی میزان اختلاف آورد مشاهداتی و تخمین‌زده را کاهش دهد. در مجموع خطای تخمین مدل MPSIAC برای این دو ایستگاه رسوب‌سنجی ۲۱٪ است که این میزان خطا بیانگر کارایی این مدل تجربی برای برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبریز بابلرود و حوضه‌هایی با مشخصات مشابه می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری مقدار فرسایش و رسوب به دلایل فنی، حفاظتی و اقتصادی در تمامی نقاط امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این رو مناسب‌ترین راهکار، برآورد مقدار فرسایش و تولید رسوب است که لازمه آن آگاهی از مکانیسم‌های فرسایش و عوامل مؤثر بر آن است. در مطالعه حاضر جهت برآورد

References

- Abdullah, M., Feagin, R., and Musawi, L. (2017). The use of spatial empirical models to estimate soil erosion in arid ecosystems. *Environ. Monit. Assess.*, 189(2), 78.
- Ahmadi H. (1995). Applied geo-morphology-water erosion, 1. Tehran University Press [In Persian].
- Aksoy H. and Kavvas M. L. (2005). A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64, 247-271.
- Alizadeh A. (1990). Soil Erosion and Conservation. Astan Qods Razavi Publication, 870 [In Persian].
- Angima S., Stott D., O'Neill M., Ong C. and Weesies G. (2003). Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agri. Ecosys. Environ.*, 97(1-3), 295-308.

- Bagherzadeh A. and Daneshvar M. R. M. (2011). Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region. *Front. Earth Sci.*, 5(2), 207–216.
- Bahrami M. and Rahimi A. (2008). Estimation of sedimentation at Kordsheikh basin using GIS. *Appl. Geol.*, 2, 82-89 [In Persian].
- Jain M. K. and Das D. (2009). Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resour. Manage.*, 24(10), 2091–2112.
- Jhonson C. W. and Gembhart A. C. (1982). Predicting sediment yield from sagerbrush range lands. *USDA-SEA ARM Western series*. No. 26.
- Kidane M., Bezie A., Kesete N. and Tolessa T. (2019). The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. *Heliyon*, 5(12), e02981
- Lin C. Y., Lin W. T. and Chou W. C. (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil Tillage Res.*, 68, 143–152.
- Mirakhorlo M. S. and Rahimzadegan M. (2018). Application of sediment rating curves to evaluate efficiency of EPM and MPSIAC using RS and GIS. *Environ. Earth Sci.*, 77(20), 723
- Noori H., Karami H., Farzin S., Siadatmousavi S. M., Mojaradi B. and Kisi O. (2017). Investigation of RS and GIS techniques on MPSIAC model to estimate soil erosion. *Nat. Hazard.*, 91(1), 221–238.
- Noori H., Siadatmousavi S. M. and Mojaradi B. (2016). Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 4(3), 199–206.
- Pourhosein M., Afzalimehr H., Singh V. P. and Dehghani A. (2015). Evaluation of bed load in a gravel-bed river. *Int. J. Hydraul. Eng.*, 4(3), 70-79.
- Pourkarimi M., Mahmoudi S., Masihabadi M., Pazira E. and Moeini A. (2017). Use of MPSIAC and EPM to estimate sediment yield and erosion-a case study of a watershed of the second urban phase, Mashhad, Khorasan Province. *Agri. Forest.*, 63(4), 201-213
- Rajbanshi J. and Bhattacharya S. (2020). Assessment of soil erosion, sediment yield and basin specific controlling factors using RUSLE-SDR and PLSR approach in Konar river basin, India. *J. Hydrol.*, 587, 124935.
- Rastgoo S., Ghahraman B., Sanainezhad H., Davari K. and Khodashenas R. (2006). Estimation of sediment yield at Tangkenesht basin using MPSIAC and EPM methods. *Agri. Sci. Technol. Nat. Resour.*, (10), 91-104 [In Persian].
- Refahi H. G. (2015). Water erosion and conservation. Tehran: University of Tehran Publication [In Persian].
- Renard K. G., Foster G. R., Weesies G. A. and Porter J. P. (1991). RUSLE, revised universal soil loss equation. *J Soil Water Conserv.*, 46(1), 30–33.
- Singh G. and Panda R. K. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 5(3), 202–211.
- Tangestani M. H. (2001). Integrating geographic information systems in erosion and sediment yield applications using the erosion potential method (EPM) Proceedings of the GIS Research UK, Ninth Annual Conference, 18–20 April, University of Glamorgan, Wales, UK 2001 pp. 621–623.
- Wang G., Gertner G., Fang S. and Anderson A. B. (2003). Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 69(8), 889–898.
- Williams J. R. (1975) Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Resour. Bull.*, 11, 965–974.

- Wischmeier W. H. and Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. USDA Agricultural Research Services Handbook, 537. Washington, DC: USDA.
- Zarei A. R., Mokarram M. and Shabani A. (2019). Evaluation of sediment yield (Qs) in Bishezard watershed located southwest of Iran, using PSIAC and MPSIAC models. *Int. J. Global Environ. Issues*, 18(1), 1-23.
- Zhang W., Zhou J., Feng G., Weindorf D. C., Hu G. and Sheng J. (2015). Characteristics of water erosion and conservation practice in arid regions of Central Asia: Xinjiang Province, China as an example. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 3(2), 97-111.

Estimation of Annual Erosion and Sedimentation in Babolroud Catchment using MPSIAC Model

Ehsan Shahiri Tabarestani^{1*} and Hossein Afzalimehr²

¹PhD Scholar, Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

²Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

*Corresponding author: ehsan_shahiri@yahoo.com

Original Paper

Received: May 11, 2020

Revised: July 08, 2020

Accepted: July 12, 2020

Abstract

One of the problems of controlling erosion in catchment areas is the lack of statistical data to accurately estimate the amount of sedimentation and erosion. In order to implement soil protection programs and determine methods to reduce sedimentation, it is necessary to estimate the total volume of annual sediment production. The purpose of this study was to estimate the erosion intensity and sedimentation rate of Babolroud catchment located in Mazandaran province with an area of 962 km² and the variety of topography, lithology and vegetation using MPSIAC empirical model and to determine the accuracy of this model using Arc-GIS. In this method, the role of 9 factors affecting soil erosion were evaluated and depending on the severity and weakness of each factor, a score is attributed to it. Finally, considering the sum of the scores obtained for different factors, the sedimentation rate of the catchment was estimated. The results showed that, Babolroud catchment area with sedimentation rate of 166.469 m³/km².y is located on the low zone of sedimentation. One of the causes is the presence of dense pastures and calcareous formations and rocks with medium to high hardness in most areas. Moreover, according to the results, the highest amount of erosion is in the northern part of the catchment. In order to evaluate the accuracy of the results obtained from the experimental model, the observed information of the two sedimentation stations was used and the results indicate a relative average difference of 21% in the MPSIAC model.

Keywords: Catchment; Empirical Model; Observed Values; Sedimentation Factors.