نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۳۰، پاییز ۹۲

تعیین مدل مناسب برای برآورد رسوبدهی با استفاده از روش های آماری مطالعه موردی؛ حوزه آبخیز بابلرود

دریافت مقاله:۹۱/۱۱/۱۴ پذیرش نهایی: ۹۱/۱۲/۹
صفحات: ۱۳۰-۱۱۱

عطااله کاویان: استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
Email: a.kavian@sanru.ac.ir
عطا صفری: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری[1]
Email: attasafari@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، ۱۰ مدل PSIAC، MPSIAC، EPM، Fournier، Douglas، Musgrave، Stehlik، Kirkby، Geomorphology و Hydrophysical با هدف تعیین مناسب‌ترین مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز بابلرود مازندران مورد بررسی قرار گرفتند. به منظور ارزیابی مدل‌های مورد استفاده و تعیین مدل مناسب، از داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده رسوب (آمار ۴۳ ساله ایستگاه قران تالار) استفاده گردید. روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی نتایج، شامل آزمون t جفتی، ضریب همبستگی (R)، اختلاف نسبی، BIAS، RE و RMSE می‌باشد. نتایج نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵٪، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده-ای و نتایج مدل MPSIAC وجود نداشته و همچنین مدل مذکور با مقادیر اختلاف نسبی، BIAS، RE و RMSE به ترتیب ۷/۹۳، ۰/۰۱۳، ۷/۳۵ و ۸/۶۳، با ضریب همبستگی ۰/۸۶ مناسب‌ترین مدل برای برآورد رسوبدهی در حوزه آبخیز بابلرود شناخته شد. پس از مدل MPSIAC، مدل Geomorphology با مقادیر اختلاف نسبی، ضریب همبستگی، BIAS، RE و RMSE به ترتیب ۱۰/۹۸، ۰/۷۸، ۰/۰۲، ۱۲/۳۴ و ۱۱/۹۵ و نیز عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪، مدلی مناسب تشخیص داده شد.

کلید واژگان: حوزه آبخیز بابلرود، رسوبدهی، داده‌های مشاهده‌ای، روش‌های آماری

---

[1]. **نویسنده مسئول**: ساری- کیلومتر ۹ جاده دریا- دانشکده منابع طبیعی ساری- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مقدمه

امروزه با فرسایش و سیر قهقرایی خاک و رخداد وقوع سیل‌های ویرانگر رو به رو هستیم که هر ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به همراه دارند. در میان فرآیندهای مختلف تخریب اراضی، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع خاک و آب کشورمان می-باشد. فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوائل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است (Lu et al., 2001). عامل اصلی فرسایش خاک افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد از زمین است (احمدی، ۱۳۸۶). هر ساله نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک حاصلخیز کشاورزی و میلیاردها تن خاک از دیگر اراضی فرسایش می‌یابد (Lafen et al., 1988). این پدیده با کاهش حاصلخیزی خاک، باعث تخریب اکوسیستم‌های طبیعی می‌گردد. همچنین، سالانه نزدیک به ۲۲ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت از دست می‌رود و تنها ۱/۵ میلیارد هکتار از اراضی جهان کشت می‌گردند (محمودآبادی، ۱۳۸۲). در ایران نیز، میزان فرسایش خاک طی دهه‌های اخیر افزایش چشمگیری یافته است به طوری که میزان آن در سال ۱۳۳۰ حدود ۵۰۰ میلیون تن، در سال ۱۳۴۰ حدود ۷۵۰ میلیون تن، در سال ۱۳۵۰ حدود یک میلیارد تن، در سال ۱۳۷۲ بین ۲ تا ۲/۲ میلیارد تن و در سال ۱۳۸۲ بیش از ۴ میلیارد تن گزارش شده است (حسینی و قربانی، ۱۳۸۴). ایران از نظر حجم فرسایش خاک، در میان کشورهای منطقه، رتبه نخست و در جهان، رتبه دوم را دارد، اگر رقم سالانه تلفات خاک کشور ۲ تا ۲/۵ میلیارد تن فرض شود، معادل ۲۰ درصد فرسایش طبیعی خاک‌ها و ۸ درصد مقدار شستشوی خاک در مقیاس جهانی در ایران رخ می‌دهد (مهدیان، ۱۳۸۴). این میزان با توجه به سهم ۱/۱ درصدی ایران از مساحت خشکی‌های جهان بسیار قابل تأمل است. شرایط چنان نگران کننده است که در پیش‌نویس قانون حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، بیش از نیمی از مساحت ایران را (۸۸ میلیون هکتار) از نظر میزان فرسایش در هکتار، دارای حالت بحرانی اعلام کرده‌اند (نجفی، ۱۳۸۴). به‌طور کلی، فرسایش خاک در ایران در حال حاضر نزدیک به ۲۰ تن در هکتار تخمین زده شده است که نسبت به ۱۰ سال گذشته، ۱۰ تن در هکتار افزایش یافته است (UNEP, 1999). 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 حوزه شناسایی گردند. بطوریکه شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری نماید (علیزاده، ۱۳۶۸). فرسایش خاک، به دلیل داشتن اثرات چند جانبه آشکار و پنهان زیست محیطی و اجتماعی، به سرطان زمین شهرت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

یافته و یکی از فرآیندهای پیچیده و خطرساز محیطی است (Ownegh, 2003). فرسایش خاک تهدیدی جدی برای محیط زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها بوده و پس از رشد جمعیت دومین چالش مهم زیست محیطی در جهان است (Pimental et al., 1995). انواع و اشکال مختلف فرسایش، همراه با فرآیندها و حرکات مواد دامنه‌ای از مهمترین عوامل مسئول در تغییر شکل ناهمواری‌ها به شمار می‌روند. فرسایش پدیده‌ای است که طی آن مواد خاکی توسط عواملی از قبیل آب، باد و نیروی ثقل انتقال می‌یابد (رفاهی، ۱۳۸۷). اکثر حوزه‌های کشور فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بوده و به این منظور دست‌یابی به مدل‌های ترکیبی مبتنی بر شرایط ویژه حوزه‌های کشور ضروری است (عرب‌خدری و زرگر، ۱۳۷۴). این روش‌ها از مدل‌های ساده که شامل یک رابطه آماری تا معادلات ترکیبی که مرتبط با فیزیک اجزا و یا مکانیزم روند فرسایش بوده، متغیر می‌باشند (Rompaey and Govers, 2002). در بیشتر کشورها نبود آمار دقیق از میزان فرسایش و رسوب، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب را گریز ناپذیر می‌داند (Thommas and Voinvoch, 1995).

Devent and Poesen, (2005)، با مطالعه به منظور پیش‌بینی تولید رسوب در مقیاس حوزه آبخیز به این نتیجه رسیدند که برای برآورد نزدیک به واقعیت تولید رسوب در هر حوزه آبخیزی، علاوه بر استفاده از مدل‌های شبه کمی باید در استفاده از این مدل‌ها، از داده‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت اجرایی‌تر شدن نتایج استفاده شود (Devent and Poesen, 2005). Tangestani (2006)، دو مدل PSIAC و EPM را برای بررسی فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز افزر بکار برد و نشان داد که نتایج مدل PSIAC نسبت به مدل EPM معتبرتر بوده و با توجه به تحقیقات میدانی صورت گرفته، نتایج مدل PSIAC از قطعیت و اطمینان بیشتری برخوردار می‌باشد (Tangestani (2006). Safamanesh et al., (2006)، روش‌های تجربی را برای ارزیابی خطر فرسایش در حوزه آبخیز زرگه استفاده کردند که در روش MPSIAC مقدار r^2 معادل ۶۱٪ به‌دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که فاکتور مؤثر در تعیین فرسایش، اقلیم می‌باشد (Safamanesh et al., 2006).

De-Baets and Poesen, (2010)، به منظور پیش‌بینی فرسایش و بررسی اثرات گیاهان در کاهش فرسایش از مدل‌های تجربی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های تجربی دارای بیش‌تخمینی نسبت به داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند (De-Baets and Poesen, 2010). Bagarello et al., (2011)، با استفاده از مدل‌های تجربی به برآورد هدررفت خاک در شیب‌های متوسط پرداختند و به این نتیجه رسیدند که رواناب به عنوان یک فاکتور اولیه مستقل در مدل‌سازی فرسایش رگبار نقش داشته، به نحوی که غلظت رسوب با توان رواناب افزایش می-

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

یابد (Bagarello et al., 2011). راستگو و همکاران (۱۳۸۵)، مقدار فرسایش و رسوب حوزه آبخیز تنگ‌کنشت را با استفاده از مدل‌های MPSIAC و EPM برآورد کردند و نتیجه گرفتند که مدل MPSIAC نتایج بهتری را نسبت به مدل EPM برای حوزه مورد نظر ارائه داده است (راستگو و همکاران، ۱۳۸۵). تاجگران و همکاران (۱۳۸۷)، با استفاده از مدل MPSIAC در محیط GIS، مقدار فرسایش و رسوب را برای حوزه آبخیز زیارت در استان گلستان برآورد کردند و مقدار رسوب را ۲۲۰۴۳/۷۹ تن در سال برآورد کردند که بخش اعظم حوزه در کلاس فرسایشی متوسط قرار گرفت (تاجگران و همکاران، ۱۳۸۷). برزو و همکاران (۱۳۸۷)، سه مدل PSIAC، MPSIAC و EPM را در حوزه آبخیز چهل‌چشمه مورد مقایسه قرار دادند که بر اساس نتایج حاصل، مدل MPSIAC به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید (برزو و همکاران، ۱۳۸۷). بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷)، میزان فرسایش را در حوزه آبخیز رودخانه کردشیخ به روش‌های تجربی EPM، MPSIAC و Fournier برآورد کردند که برای این روش‌ها به ترتیب مقدار فرسایش ۲۴۴/۹۴، ۵۳۳/۶۷ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال و ۲۰۷/۹۱ تن در کیلومتر مربع در سال به‌دست آمد و مدل MPSIAC را به دلیل استفاده از پارامترهای بیشتر (۹ عامل) به عنوان مدلی مناسب معرفی کردند (بهرامی و رحیمی، ۱۳۸۷). خدابخش و همکاران (۱۳۸۸)، میزان فرسایش در زیرحوزه سزار را با استفاده از مدل‌های EPM، MPSIAC و به کمک دانش فازی برآورد نمودند، نتایج حاصل نشان داد که هر چند هر سه روش تمایل به بیش‌تخمینی دارند اما روش MPSIAC نتایج بهتری را ارائه نموده است (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۸). رنجبر و راز (۱۳۸۸)، حجم رسوبدهی حوزه آبخیز رودخانه سبزکوه را به کمک MPSIAC برآورد کردند که منطقه مورد مطالعه از نظر شدت رسوبدهی در کلاس زیاد قرار گرفت (رنجبر و راز، ۱۳۸۸). احمدی و محمدی (۱۳۸۹)، به بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM پرداختند که هردو مدل دارای نتایجی تا حدودی نزدیک به هم بوده اما مدل PSIAC با توجه به جامع و کامل بودن آن، برای تخمین رسوبدهی توصیه گردید (احمدی و محمدی، ۱۳۸۹). محسنی و همکاران (۱۳۹۰)، ارزیابی دقت و کارائی ۴ مدل EPM، MPSIAC، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی را برای برآورد فرسایش و رسوب انجام دادند که مدل ژئومرفولوژی را با اختلاف نسبی ۳/۳۶ درصد (۷۱۱/۲۵ تن در سال) به عنوان مناسب-ترین مدل معرفی نمودند (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰). حسینی و همکاران (۱۳۹۱)، به کمک یکی از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش در مقیاس جاده، فرسایش و تولید رسوب در جاده‌های جنگلی منطقه دارابکلا ۷۷/۵۱۴ تن در سال برآورد نمودند و به تأثیر و نقش بسزای جاده‌های خاکی در تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز اشاره نمودند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱).

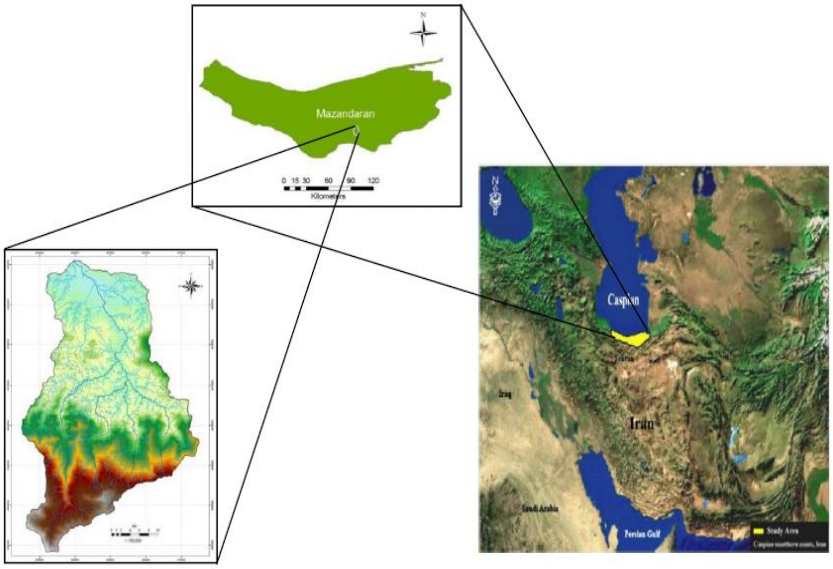
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در تحقیق حاضر، کارایی و دقت ۱۰ مدل تجربی PSIAC، MPSIAC، EPM، Fournier، Douglas، Musgrave، Stehlik، Kirkby، Geomorphology و Hydrophysical در حوزه آبخیز بابلرود بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب سنجی قران تالار و با استفاده از روش‌های آماری مختلف، جهت تعیین مدل مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب، مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

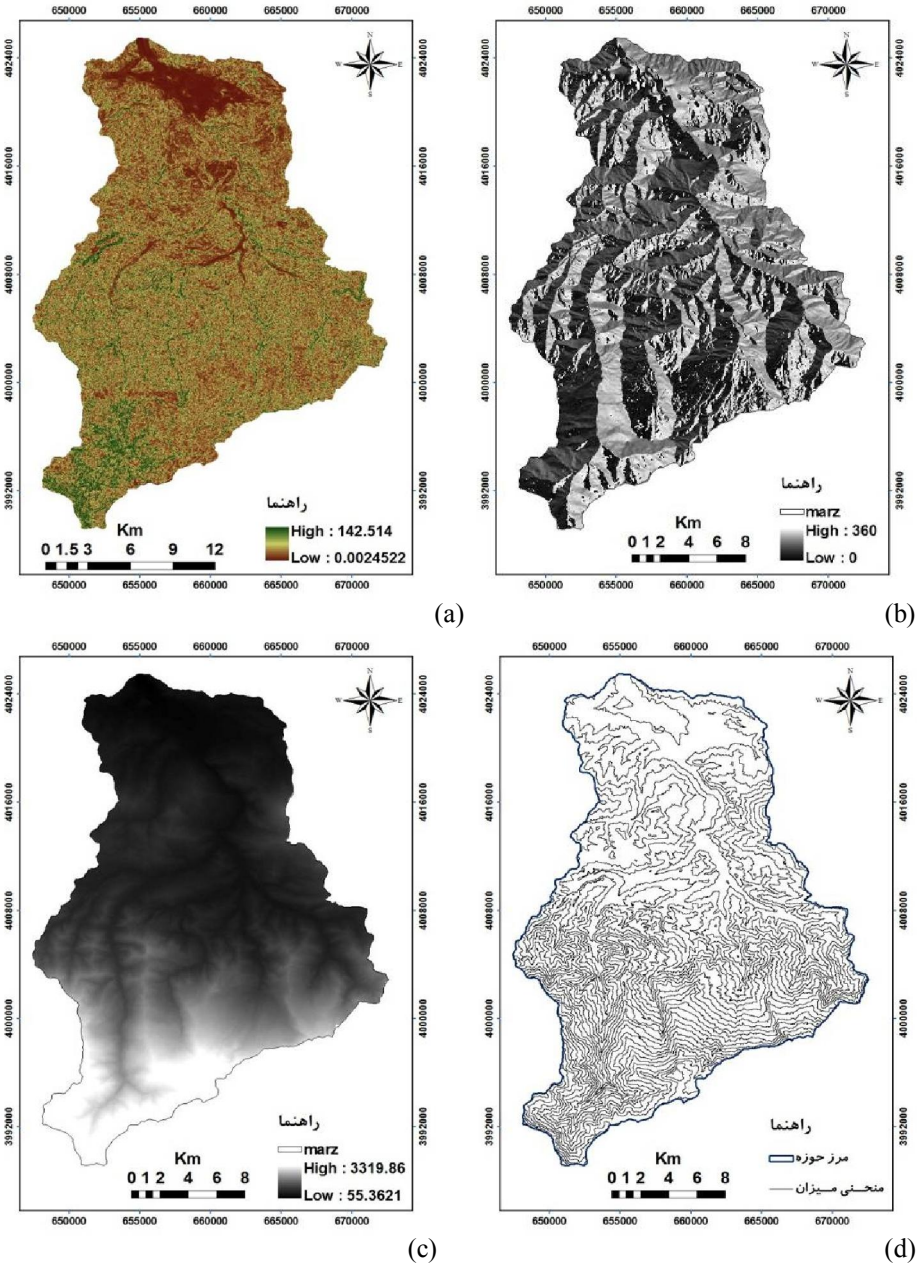
- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بابلرود در جنوب شهرستان بابل واقع در استان مازندران، با مساحتی بالغ بر ۵۱۷۲۵ هکتار، بین ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این حوزه دارای ۵ زیر حوزه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیم، کارسنگ، آذر رود و اراضی پست می‌باشد. حداقل ارتفاع حوزه ۵۵ متر و حداکثر آن ۳۳۱۷ متر است. متوسط بارندگی سالانه ۸۲۱/۸ میلی متر است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان در شکل ۱ و برخی نقشه‌های ارائه شده برای منطقه مورد مطالعه شامل نقشه‌های شیب، جهت، DEM و توپوگرافی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح ایران و استان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل (۲) اشکال مختلف منطقه مورد مطالعه: a: نقشه شیب، b: نقشه جهت، c: نقشه DEM و d: نقشه توپوگرافی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

- مدل‌های تجربی مورد استفاده

در این تحقیق از ۱۰ مدل تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب استفاده شد. لازم به ذکر است که برخی از این مدل‌ها برای زمین‌های کشاورزی و مقیاس‌های کوچک ارائه و پیشنهاد شده‌اند و برای حوزه آبخیز مناسب نبوده، اما در اینجا از آنها نیز جهت جامع بودن ارزیابی و همچنین صحه گذاشتن بر یافته‌ها و مطالعات گذشته، حتی با توجه به توضیحات فوق، استفاده گردید. در ذیل هر کدام از مدل‌ها و پارامترهای مورد استفاده در آن شرح داده شده است:

مدل PSIAC

این مدل برای اولین بار در یک حوزه آبخیز تحقیقاتی به نام والنات گالچ مورد آزمایش قرار گرفت (کمیته مدیریت آب امریکا، ۱۹۸۶). در این روش، تأثیر و نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز ارزیابی می‌گردد. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود که این عوامل و نمرات آنها در جداولی پیش فرض، تعیین گردیده است. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد بدست آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوبدهی حوزه و به تبع آن میزان فرسایش برآورد می‌شود.

مدل MPSIAC

مدل PSIAC توسط جانسون و گبهارت (۱۹۸۲) مورد تجدید نظر قرار گرفت و به مدل MPSIAC تبدیل گردید. این مدل ۹ عامل را در تولید رسوب در نظر می گیرد (لوگان و همکاران، ۱۹۸۲). این عوامل به صورت معادلات عددی با هم جمع شده و درجه رسوبدهی بدست می آید. سپس با قرار دادن درجه رسوبدهی در رابطه ۱ میزان تولید رسوب سالانه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع بدست می‌آید (رفاهی، ۱۳۸۷).

$$Q_s = 38.77\ e^{0.035R} \qquad (۱)$$

Q_s: تولید رسوب سالانه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع، e: عدد نپرین، R: درجه رسوبدهی.

مدل EPM

بر اساس این مدل فرآیند فرسایش، نتیجه روابط متقابل سنگ مادر، خاک، توپوگرافی و نوع بهره‌برداری از اراضی می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۶). برای تعیین فرسایش‌پذیری منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری اراضی (X_a)، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y)، ضریب

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فرسایش منطقه (ψ) و شیب متوسط حوزه (I)، در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شده و به منظور تعیین ضریب شدت فرسایش از رابطه ۲ استفاده شده است.

$$Z = Y.X_a(\psi I^{0.5}) \quad (۲)$$

Z: فاکتور شدت فرسایش حوزه، Y: ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a: ضریب استفاده از زمین، ψ: ضریب فرسایش اولیه حوزه، I: متوسط شیب حوزه.

مدل Fournier

فورنیه برای برآورد رسوب یک حوزه آبخیز و به دنبال آن برای برآورد میزان فرسایش، دو روش مختلف ارائه داده است که به شرح زیر می باشد (رفاهی، ۱۳۸۷).

روش اول فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوزه آبخیز به صورت رابطه ۳ است:

$$\text{Log } Q_s = 2.65 \log (P^2_w/P_a) + 0.46 \log (\tan S) - 1.56 \quad (۳)$$

روش دوم فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوزه آبخیز به صورت رابطه ۴ است:

$$\text{Log } Q_s = 2.65 \log (P_w/P_a) + 0.46 \log (H^2/S) - 1.56 \quad (۴)$$

Q_s: رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، P_w: میانگین بارندگی پر باران‌ترین ماه هر سال در دوره آماری مورد نظر بر حسب میلی‌متر، P_a: میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر در دوره آماری مورد نظر، H: ارتفاع متوسط حوزه بر حسب متر، S: در رابطه ۳ شیب متوسط حوزه بر حسب درجه و در رابطه ۴ سطح حوزه بر حسب کیلومتر مربع.

مدل Douglas

این رابطه برای برآورد رسوب به تن در کیلومتر مربع در سال از ضریب انشعاب‌پذیری و تراکم آبراهه‌ای حوزه استفاده نموده و همچنین از بارندگی مرطوب‌ترین ماه سال و بارندگی سالانه استفاده می‌کند که به صورت رابطه ۵ می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۶).

$$\text{Log } e = -8.41 + 2.704 \log(Q^2/P) + 5.60\, Rb_n + 2.967 \log D_n \quad (۵)$$

e: مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Q: بارندگی مرطوبترین ماه سال بر حسب میلی‌متر، Rb_n: ضریب انشعاب‌پذیری هر زیر حوزه، D_n: تراکم آبراهه‌ای هر زیرحوزه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع، P: بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

همچنین با استفاده از رابطه ۶ که توسط داگلاس ارائه گردیده است، مقدار رسوب سالانه برآورد گردید:

$$\text{Log ss} = 8.73 + 3.81 \log Q_{WA} - 1.54\,(R/L) + 4.82 \log DD \qquad (۶)$$

ss: مقدار رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، Q_{WA}: میانگین رواناب سالانه بر حسب میلی‌متر، R/L: نسبت ارتفاع به طول حوزه بر حسب فوت بر مایل، DD: دانسیته شبکه زهکشی بر حسب فوت بر مایل مربع.

مدل Musgrave

مسگریو در سال ۱۹۴۷ برای برآورد شدت فرسایش سطحی، نتیجه مطالعات و اندازه‌گیری-های فرسایش خاک حاصل از حدود ۴۰۰۰۰ رگبار را در ایالات متحده امریکا به شرح زیر بیان نموده است.

$$E = IRS^{1.35}L^{0.35}P_{30}^{1.73} \qquad (۷)$$

E: فرسایش خاک بر حسب ایکراینچ، I: قابلیت فرسایش‌پذیری خاک بر حسب اینچ، R: عامل پوشش خاک، S: شیب بر حسب درصد، L: طول دامنه شیب‌دار بر حسب فوت، P_{30}: ماکزیمم بارندگی ۳۰ دقیقه در مدت ۲ سال بر حسب اینچ.

مدل Stehlik

این مدل در کشور چک‌واسلواکی مورد بررسی قرار گرفته و برای پیش‌بینی میزان سالانه فرسایش خاک به کار برده می‌شود و رابطه آن به صورت رابطه ۸ می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۶).

$$X = D.G.P.S.L.O \qquad (۸)$$

X: متوسط سالانه فرسایش، D: ضریب وضعیت اقلیمی و بر حسب ریزش‌هایی است که شدت آنها (میلی‌متر در دقیقه) مساوی یا بزرگتر از ۵t (t مدت بارندگی بر حسب دقیقه) توصیف می-شود، G: ضریب مربوط به بافت خاک و نفوذپذیری آن، P: ضریب قابلیت فرسایش خاک، S: ضریب شیب، L: ضریب طول شیب، O: ضریب پوشش گیاهی.

مدل Kirkby

این روش ساده و تجربی از پارامترهای رواناب سالیانه (Q_W) بر حسب میلی‌متر و زاویه شیب (θ) به صورت رابطه ۹ استفاده کرده است (صادقی، ۱۳۷۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

$$Q_S = 0.17\,(Q_W)^2 \tan\theta \qquad (۹)$$

Q_S: مقدار رسوب بر حسب کیلوگرم در هکتار.

مدل Hydrophysical

این مدل برای تشخیص مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیک و یا زیرحوزه‌های مختلف یک حوزه آبخیز به کار برده می‌شود. در این مدل ابتدا ضریب پتانسیل رسوبدهی (CSY)[1] برای کلیه واحدهای هیدرولوژیک و یا زیرحوزه‌ها محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از نتایج آن درصد پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوزه تعیین می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۷).

$$GSY = A^s.R.E.V.P \qquad (۱۰)$$

GSY: میزان رسوبدهی بر حسب تن در سال، A^s: عامل مساحت حوزه، R: عامل توپوگرافی، E: عامل قابلیت فرسایش، V: عامل پوشش گیاهی، P: عامل هیدرولوژی.

مدل Geomorphology

این مدل یک روش کیفی به منظور برآورد شدت فرسایش آبی در مقیاس حوزه آبخیز است. در این روش اساس کار مبتنی بر تعیین واحدهای کاری همگن با در نظر گرفتن سه عامل شامل نوع سنگ، توپوگرافی و رخسارهای ژئومرفولوژی است (احمدی، ۱۳۸۶). پس از مشخص شدن واحدهای کاری در کل حوزه عوامل جهت دامنه، پوشش گیاهی، استفاده از زمین، اقلیم و خاک در هر واحد کاری بررسی می‌شود و سپس بر اساس وضعیت و خصوصیات مربوط به هر یک از عوامل ذکر شده اقدام به تعیین امتیاز یا نمره مربوط به هر یک از عوامل می‌گردد (ملکی، ۱۳۸۶). تحقیقات انجام شده در زمینه اجرای مدل های کمی برآورد فرسایش و رسوب مانند مدل‌های EPM و MPSIAC بر اساس واحدهای کاری تعریف شده در مدل ژئومرفولوژی نشانگر برآورد دقیق‌تر مقادیر فرسایش و رسوب است و از این طریق نیز می‌توان به مقادیر کمی دست یافت (ملکی، ۱۳۸۲؛ گشایشی، ۱۳۸۵). از این‌رو در تحقیق حاضر، برای برآورد فرسایش و رسوب ابتدا اقدام به مشخص کردن واحدهای کاری همگن گردیده و سپس در هر واحد همگن کاری و با استفاده از خصوصیات مشخص مربوط به عوامل ۹ گانه مدل MPSIAC، مدل مذکور اجرا شده است.

1- Comparative Sediment Yield

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

قابل توضیح است که به‌طور کلی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول مدل‌هایی که رسوب را برآورد می‌کنند و دسته دوم مدل‌هایی که فرسایش را برآورد می‌کنند. که در این تحقیق، جهت تعیین مقادیر رسوب و فرسایش و تبدیل آنها به یکدیگر از نسبت تحویل رسوب (SDR) استفاده گردید که رابطه آن به صورت زیر ارائه شده است (رنفرو، ۱۹۷۵؛ افسری و قدوسی، ۱۳۹۰):

$$\text{Log (SDR)} = 1.7935 - 0.4191 \text{ Log(A)} \qquad (۱۱)$$

A: مساحت حوزه آبخیز بر حسب مایل مربع.

- روش‌های آماری مورد استفاده

در این تحقیق، به منظور ارزیابی نتایج و تعیین مدل مناسب، از آزمون t جفتی، ضریب همبستگی (R)، اختلاف نسبی، میانگین اختلاف (BIAS)، درصد خطای نسبی (RE) و میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید که در زیر به طور مختصر به آنها اشاره شده است:

آزمون t جفتی:

رابطه کلی این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

$$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} \qquad (۱۲)$$

$\bar{d}$: میانگین تفاضل جفت مشاهده‌ها، $S_{\bar{d}}$: اشتباه معیار تفاوت‌ها.

ضریب همبستگی (R):

$$R = \frac{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} (O_i - O_i^*) * (S_i - O_i^*)}{\sqrt{\left(\frac{N * \sum_{i=1}^{N} O_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} O_i\right)^2}{N * (N-1)}\right)} * \sqrt{\left(\frac{N * \sum_{i=1}^{N} S_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} S_i\right)^2}{N * (N-1)}\right)}} \qquad (۱۳)$$

O_i: مقادیر مشاهده‌ای، S_i: مقادیر برآوردی، N: تعداد نمونه.

اختلاف نسبی:

از تفاضل مقدار مشاهده‌ای با مقدار برآوردی، اختلاف مطلق به‌دست آمده، سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار اختلاف نسبی به‌دست می‌آید:

$$\text{اختلاف نسبی} = \left| \frac{\text{اختلاف مطلق}}{\text{مقدار مشاهده ای}} \right| * ۱۰۰ \qquad (۱۴)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

میانگین اختلاف (BIAS):

$$BIAS = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n}\frac{Eo-Ee}{Eo} \quad (۱۵)$$

Eo: مقادیر مشاهده‌ای، Ee: مقادیر برآوردی، n: تعداد نمونه.

درصد خطای نسبی (RE):

$$RE = \left|\frac{Qo-Qe}{Qe}\right| * 100 \quad (۱۶)$$

Qo: مقادیر مشاهده‌ای، Qe: مقادیر برآوردی.

میانگین مربع خطا (RMSE):

$$RMSE = \left|\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(Qo-Qe)^2}{Qo}\right|^{\frac{1}{2}} \quad (۱۷)$$

Qo: مقادیر مشاهده‌ای، Qe: مقادیر برآوردی، n: تعداد نمونه.

- تعیین مقادیر مشاهده‌ای میزان رسوب با استفاده از ایستگاه رسوب‌سنجی

در این تحقیق از ۴۳ سال (۱۳۸۵-۱۳۴۳) آمار ایستگاه رسوب‌سنجی قران تالار استفاده گردید. یکی از روش‌های متداول محاسبه تولید رسوب معلق رودخانه‌ها استفاده از روش منحنی سنجه رسوب - دبی روزانه جریان است. ابزار لازم برای رسم منحنی سنجه رسوب، دبی جریان و دبی رسوب متناظر با آن است. برای تعیین دبی رسوب از نمونه‌های بار معلق رودخانه استفاده می‌شود، که برای تعیین غلظت بار معلق (عناصری که اندازه آنها کمتر از ۰/۱ میلی‌متر است)، در یک مقطع جریان آب، به طور عمودی از اعماق مختلف نمونه‌هایی برداشت می‌گردد، در مرحله بعد در آزمایشگاه آب، به طریق فیلتراسیون، مقدار مواد معلق اندازه‌گیری و سپس دبی رسوب از رابطه ۱۸ تعیین می‌گردد:

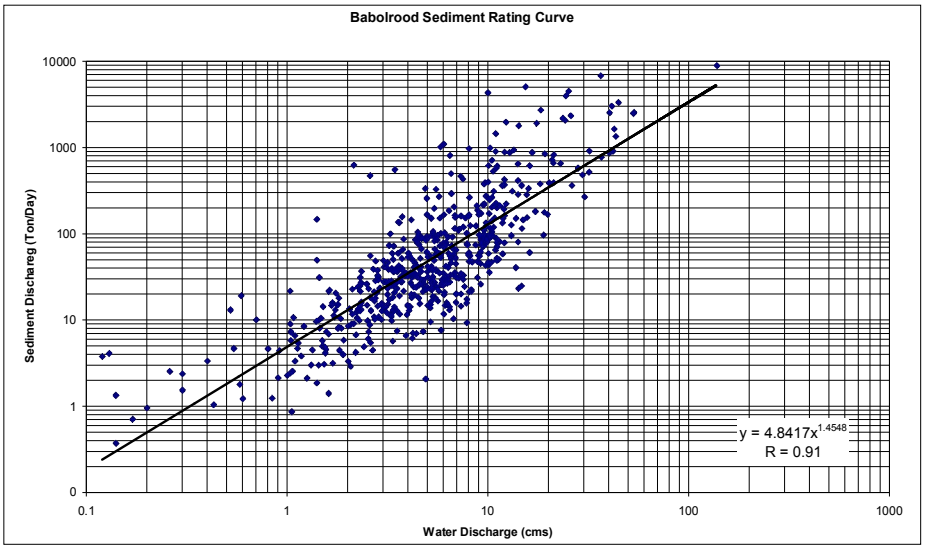
$$Q_s = 0.0864\ C_m.Q_w \quad (۱۸)$$

Q_s: دبی رسوب به تن در روز، C_m: غلظت بار معلق در هر نوبت اندازه‌گیری به میلی‌گرم در لیتر، Q_w: دبی لحظه‌ای آب رودخانه در هنگام برداشت نمونه به مترمکعب در ثانیه.

با داشتن دبی مشاهده‌ای و دبی رسوب مشاهده‌ای، منحنی سنجه رسوب رسم گردید. در نهایت، نمودار دبی آب- دبی رسوب به همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای حوزه آبخیز بابلرود بدست آمد، که نتیجه آن در شکل ۳ آمده است، همچنین مقادیر رسوب اندازه-گیری شده برای کل حوزه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است (AILWMP، ۲۰۰۸).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در شکل ۴ نیز نمودار مقدار رسوب برآورد شده بوسیله هر مدل با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۳) منحنی سنجه رسوب حوزه آبخیز بابلرود (AILWMP، ۲۰۰۸)

جدول (۱) مقادیر رسوب و فرسایش اندازه‌گیری شده در ایستگاه قران تالار حوزه آبخیز بابلرود

واحد هیدرولوژیک	مساحت (کیلومتر مربع)	منحنی سنجه رسوب	
		رسوب (تن در سال)	فرسایش (تن در سال)
کل حوزه	۵۱۷/۲۵	۷۱۰۲۵/۹۱۸	۲۱۰۶۰۶/۹۰۴

نتایج

نتایج حاصل از اجرای مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۲ نشان داده شده است. در جدول مذکور مقادیر رسوب و فرسایش ویژه و سالانه آورده شده است. لازم به ذکر است چون مقادیر فرسایش و رسوب محاسبـه شده در هریک از مدل‌ها دارای واحدهای متفاوتی می‌باشند، بنابراین نتایج فرسایش و رسوب سالانه در تمامی مدل‌ها به واحد تن در سال تبدیل گردیـد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول (۲) نتایج برآورد رسوب و فرسایش در حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل‌های مورد آزمون

مدل	رسوب ویژه (ton/km²/y)	فرسایش ویژه (ton/km²/y)	رسوب سالانه (ton/y)	فرسایش سالانه (ton/y)
PSIAC	۴۰/۷۸۵	۱۲۰/۴۱۵	۲۱۰۹۵/۸۴۵	۶۲۲۸۴/۷۵۰
MPSIAC	۷۴۳/۱	۲۱۰۵/۴	۷۶۶۵۹/۸۹۶	۲۲۶۳۳۵/۶۷۸
EPM	۳۸۳/۰۲۷۷	۴۲۴/۰۳۴۵	۴۷۱۸۷/۳۷۳	۴۷۷۳۴/۵۲۲
Fournier 1	$۳/۳۴\times۱۰^{۱۰}$	$۹/۸۷\times۱۰^{۱۰}$	$۱/۷۲\times۱۰^{۱۳}$	$۵/۱\times۱۰^{۱۳}$
Fournier 2	۹۹/۴۱	۲۹۳/۴۹	۵۱۴۱۸/۰۸	۱۵۱۸۱۰/۰۸
Douglas 1	$۲/۵۰\times۱۰^{۱۳}$	$۷/۳۹\times۱۰^{۱۳}$	$۴۸/۳۸\times۱۰^{۹}$	$۱۵۲/۱۶\times۱۰^{۹}$
Douglas 2	$۴/۲\times۱۰^{-۱۵}$	$۱/۶۶\times۱۰^{-۱۵}$	$۸/۱۳\times۱۰^{-۱۵}$	$۳/۲۱\times۱۰^{-۱۵}$
Musgrave	۱۹/۷۹۸	۵۸/۴۵۳	۱۰۲۴۰/۵۲۸	۳۰۲۳۴/۸۰۲
Stehlik	۰/۰۰۲۵۱	۰/۰۰۷۴۸	۱/۳۰	۳/۸۶۹
Kirkby	۱/۱۶۰۴۱	۳/۴۲۶	۰/۰۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۰۶۶۲
Hydrophysical	۰/۶۹۰۸۲	۲/۰۳۹۶۲	۳۵۷/۳۲۵۹۳	۱۰۵۴/۹۹
Geomorphology	۶/۰۷۸	۱۷/۹۴۴	۶۳۲۲۶/۷۶۵	۱۸۶۶۷۴/۸۳

نتایج روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق برای تمامی مدل‌های تجربی مورد آزمون در جداول زیر ارائه گردیده است. نتایج حاصل از آزمون t جفتی در جدول ۳ و نتایج حاصل از سایر روش‌های آماری مورد استفاده شامل اختلاف نسبی، ضریب همبستگی (R)، BIAS، RE و RMSE در جدول ۴ نشان داده شده است.

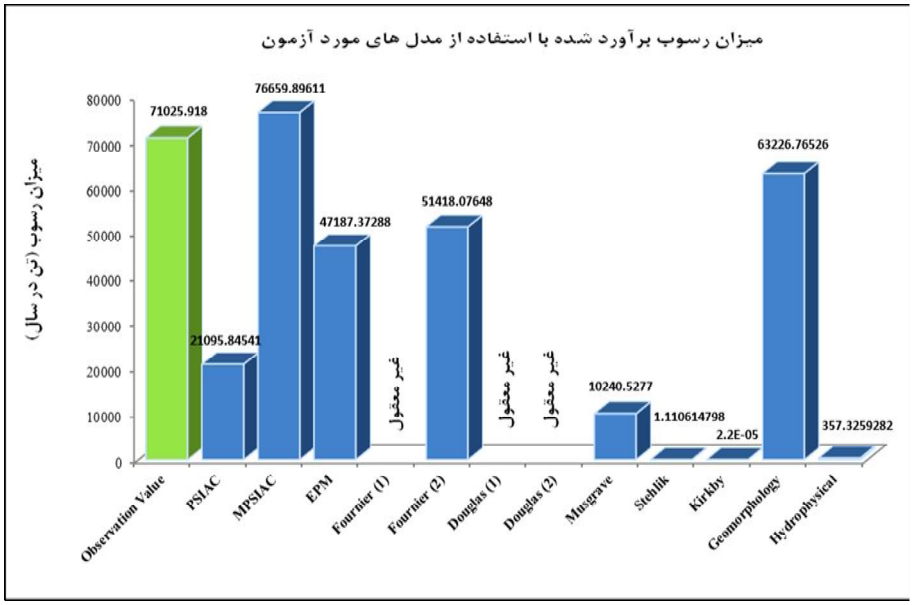
جدول (۳) نتایج آزمون t جفتی مدل‌های مورد استفاده با داده مشاهده‌ای در حوزه آبخیز بابلرود

جفت‌های آزمون	مورد	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار اختلاف میانگین	درجه آزادی	فاصله اطمینان ۹۵٪		آماره t	سطح معنی‌دار
						حد پایین	حد بالا		
PSIAC		۴۲۷۴/۲۲	۲۲۰۱/۵	۹۸۴/۵۴	۴	-۶۹۴۸۵/۲۱	-۶۴۰۱۸/۱۸	-۶۷/۸	۰/۰۰۰
MPSIAC		۷۶۶۵۹/۹	۵۲۶۱۲/۷۸	۲۳۵۲۹/۱۵	۴	-۵۹۶۹۳/۴۲	۷۰۹۶۱/۳۸	۰/۲۳۹	۰/۸۲۳
EPM		۴۷۱۸۷/۳۷	۳۲۷۹۰/۵۳	۱۴۶۶۴/۳۷	۴	-۶۴۵۵۳/۳۶	۱۶۸۷۶/۲۷	-۱/۶۲۶	۰/۱۷۹
Fournier 1		$۴/۷۳\times۱۰^{۱۲}$	$۴/۸\times۱۰^{۱۲}$	$۲/۱۵\times۱۰^{۱۲}$	۴	$-۱/۲۳\times۱۰^{۱۲}$	$۱/۰۷\times۱۰^{۱۳}$	۲/۲۰۳	۰/۰۰۲
Fournier 2		۲۹۲۶۹/۰۷	۲۴۶۶۴/۹	۱۱۰۳۰/۴۸	۴	-۷۲۳۸۲/۳۶	-۱۱۱۳۱/۳۴	-۳/۷۸۶	۰/۰۱۹
Douglas 1		$۴/۳۶\times۱۰^{۱۲}$	$۹/۶۸\times۱۰^{۱۲}$	$۴/۳۳\times۱۰^{۱۲}$	۴	$-۷/۶۵\times۱۰^{۱۲}$	$۱/۶۴\times۱۰^{۱۳}$	۱/۰۰۹	۰/۰۳۰
Douglas 2		۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰۰	۴	-۷۱۰۲۵/۹۲	-۷۱۰۲۵/۹۲	$-۲/۷۴\times۱۰^{۱۰}$	۰/۰۰۰
Musgrave		۱۰۰۸۳/۳۴	۸۳۰۶/۴۷	۳۷۱۴/۷۷	۴	-۷۱۲۵۶/۴۲	-۵۰۶۲۸/۷۴	-۱۶/۴۰۵	۰/۰۰۰
Stehlik		۱/۳۰۰۱	۰/۶۱۲۷۶	۰/۲۷۴۰۳	۴	-۷۱۰۲۵/۳۸	-۷۱۰۲۳/۸۶	-۲۵۹۱۸۲/۴۱	۰/۰۰۰
Kirkby		۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۳	۴	-۷۱۰۲۵/۹۲	-۷۱۰۲۵/۹۲	$-۲/۰۴\times۱۰^{۹}$	۰/۰۰۰
Hydrophysical		۷۱/۴۷	۳۳/۱۴	۱۴/۸۲	۴	-۷۰۹۹۵/۶	-۷۰۹۱۳/۳۱	-۴۷۸۸/۰۸۲	۰/۰۰۰
Geomorphology		۶۳۲۲۶/۷۷	۳۹۹۱۲/۱۹	۱۷۸۴۹/۲۷	۴	-۵۷۳۵۶/۶۸	۴۱۷۵۸/۳۸	-۰/۴۳۷	۰/۶۸۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول (۴) نتایج سایر روش‌های آماری بکار رفته برای مدل‌های مورد استفاده در حوزه آبخیز بابلرود

مدل‌های مورد آزمون	اختلاف نسبی	R	BIAS	RE	RMSE
PSIAC	۷۰/۲۹	۰/۲۷	۰/۱۲	۲۳۶/۶۸	۷۶/۴۹
MPSIAC	۷/۹۳	۰/۸۶	۰/۰۱۳	۷/۳۵	۸/۶۳
EPM	۳۳/۵۶	۰/۷۱	۰/۰۵۶	۵۰/۵۲	۳۶/۵۲
Fournier 1	$۲/۴۳\times۱۰^{۱۰}$	۰/۰۸	$-۴/۰۶\times۱۰^{۷}$	-۹۹/۹۹	$۲/۶\times۱۰^{۱۰}$
Fournier 2	۲۷/۶۱	-۰/۰۸	۰/۰۵	۳۸/۱۳	۳۰/۰۴
Douglas 1	$۶/۸\times۱۰^{۷}$	-۰/۳۸	$-۱/۱۳\times۱۰^{۵}$	-۹۹/۹۹	$-۷/۴۱\times۱۰^{۷}$
Douglas 2	۱۰۰	۰/۸۲	۰/۱۷	$۸/۷۴\times۱۰^{۱۶}$	۱۰۸/۸۰
Musgrave	۸۵/۵۸	۰/۲۹	۰/۱۴	۵۹۳/۵۸	۹۳/۱۱
Stehlik	۹۹/۹۹	۰/۵۶	۰/۱۶	$۶/۴\times۱۰^{۶}$	۱۰۸/۷۹
Kirkby	۱۰۰	-۰/۷۳	۰/۱۷	$۳/۱۷\times۱۰^{۱۱}$	۱۰۸/۸۰
Hydrophysical	۹۹/۴۹	۰/۱۷	۰/۱۶	۱۹۷۷۷/۰۷	۱۰۸/۲۵
Geomorphology	۱۰/۹۸	۰/۷۸	۰/۰۲	۱۲/۳۴	۱۱/۹۵



شکل (۴) نمودار مقادیر رسوب برآورد شده و مقایسه با مقدار مشاهده‌ای

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ۱۰ مدل تجربی برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز بابلرود مازندران اجرا و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی قران تالار (۴۳ سال آمار موجود)، مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف این مطالعه، تعیین مناسب‌ترین مدل از بین

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مدل‌های مورد آزمون در حوزه آبخیز مورد مطالعه بوده که با استفاده از آزمون t جفتی، ضریب همبستگی (R)، اختلاف نسبی، BIAS، RE و RMSE انجام پذیرفت.

نتایج حاصل از ارزیابی ۱۰ مدل مورد استفاده در این مطالعه، نشان داد که مدل MPSIAC با مقادیر اختلاف نسبی، BIAS، RE و RMSE به ترتیب ۷/۹۳، ۰/۰۱۳، ۷/۳۵ و ۸/۶۳، با ضریب همبستگی ۰/۸۶ مناسب‌ترین مدل (۷۶۶۵۹/۸۹۶ تن در سال) برای برآورد رسوبدهی در حوزه آبخیز بابلرود بوده و از بیشترین دقت و کارایی برخوردار است. همچنین عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪، بین نتایج مدل مذکور و داده‌های مشاهده‌ای صحت یافته‌های فوق را تأیید می‌نماید که با نتایج Safamanesh et al., (2006)، راستگو و همکاران (۱۳۸۵)، تاجگردان و همکاران (۱۳۸۷)، بهرامی و رحیمی (۱۳۸۷)، برزو و همکاران (۱۳۸۷) و خدابخش و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت و هم‌خوانی دارد.

همانطور که قبلاً به آن اشاره شد، مدل Geomorphology در سطح واحدهای کاری همگن اجرا می‌شود لذا از دقت قابل ملاحضه‌ای برخوردار می‌باشد که نتایج حاصل از اجرای این مدل در حوزه مورد مطالعه نیز مبین دقت بالای آن می‌باشد. پس از مدل MPSIAC، در بین سایر مدل‌های مورد آزمون، مدل Geomorphology با مقادیر اختلاف نسبی، ضریب همبستگی، BIAS، RE و RMSE به ترتیب ۱۰/۹۸، ۰/۷۸، ۰/۰۲، ۱۲/۳۴ و ۱۱/۹۵ و نیز عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪، مدلی مناسب تشخیص داده شد که این یافته نیز با نتایج محسنی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

برای سایر مدل‌های استفاده شده در این تحقیق شامل روش اول و دوم مدل Fournier، روش اول و دوم مدل Douglas و مدل‌های PSIAC، EPM، Musgrave، Stehlik، Kirkby و Hydrophysical، بجز مدل EPM و روش دوم مدل Fournier، بقیه مدل‌ها نتایج غیرمعقول و به دور از واقعیتی را ارائه کرده‌اند که این بیانگر عدم توانایی این مدل‌ها در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز بابلرود می‌باشد. در واقع این مدل‌ها در مناطقی توسعه یافته-اند که شرایط فیزیکی و اقلیمی متفاوتی با حوزه آبخیز بابلرود داشته‌اند و یا برای مقیاس‌های کشاورزی یا دامنه توسعه یافته و پیشنهاد شده‌اند.

منابع و ماخذ

۱. احمدی، حسن(۱۳۸۶) **ژئومرفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)**، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۸۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۲. احمدی، حسن، علی‌اصغر، محمدی (۱۳۸۹) **بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل-های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ده-نمک)**، فصل‌نامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۳): ۳۴۰-۳۵۲

۳. افسری، روح‌اله، جمال، قدوسی (۱۳۹۰) **ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان مرکزی)**، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۴(۱۲): ۱۰۷-۱۱۸

۴. برزو، آرش، محمدرضا، ممیزی، عباسعلی، نیک‌اندیش (۱۳۸۷) **مقایسه سه روش EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوزه چهل چشمه استان فارس**، فصل‌نامه دانش کشاورزی ایران، ۵(۱): ۱۹-۲۹

۵. بهرامی، محمدرضا، علیرضا، رحیمی (۱۳۸۷) **برآورد حجم رسوب ناشی از فرسایش در حوزه آبریز رودخانه کرد شیخ به روش‌های تجربی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی**، فصل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۲، ۸۲-۸۹

۶. تاجگردان، تکتم، شمس‌اله، ایوبی، شعبان، شتائی جویباری (۱۳۸۷) **برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت)**، مجله پژوهشی و سازندگی منابع طبیعی، شماره ۷۹

۷. حسینی، سید صفدر، محمد، قربانی (۱۳۸۴) **اقتصاد فرسایش خاک**، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۲۶

۸. حسینی، سید عطااله، ابراهیم، امیدوار، حامد، نقوی، آیدین، پارساخو (۱۳۹۱) **برآورد مقدار رسوب به‌دست آمده از جاده‌های جنگلی به کمک SEDMODL**، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۹(۱): ۲۳-۴۱

۹. خدابخش، سعید، اکبر، محمدی، بهروز، رفیعی، عیسی، بزرگ‌زاده (۱۳۸۸) **مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوزه سزار (حوزه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC با کمک دانش فازی**، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، ۳(۱۲): ۵۱-۶۱

۱۰.راستگو، سعید، بیژن، قهرمان، سید حسین، ثنایی نژاد، کامران، داوری، سعیدرضا، خداشناس (۱۳۸۵) **برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز تنگ‌کنشت با مدل‌های**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

تجربی MPSIAC و EPM به کمک GIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۰، ۹۱-۱۰۴

۱۱.رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۷) **فرسایش آبی و کنترل آن**، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۷۱

۱۲.رنجبر، محسن، صفورا، راز (۱۳۸۸) **برآورد حجم رسوب‌دهی حوزه رودخانه سبزکوه چهارمحال و بختیاری با استفاده از MPSIAC**، فصل‌نامه جغرافیایی چشم‌انداز زاگرس، ۱(۱): ۱۰۱-۱۱۰

۱۳.صادقی، سید حمیدرضا (۱۳۷۲) **مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در حوزه اوزون دره**، مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاست‌ها و روش‌های بهره‌برداری از اراضی، تهران، ۷۴-۱۳۰

۱۴.علیزاده، امین (۱۳۶۸) **فرسایش و حفاظت خاک**، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۸۷۰

۱۵.عرب خدری، محمود، احمد، زرگر (۱۳۷۴) **برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی**، پژوهش و سازندگی، ۲۲-۲۹

۱۶.گشایشی، شعبان(۱۳۸۵) **ارزیابی دقت روش‌های ژئومرفولوژی، FAO، هیدروفیزیکی در برآورد شدت فرسایش و رسوب خاک حوزه آبخیز طالقان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۱۷.محمود آبادی، مجید (۱۳۸۲) **پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز گل آباد اردستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور**، پایان-نامه کارشناسی ارشد، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ص ۱۴۰

۱۸.مهدیان، محمدحسین (۱۳۸۴) **بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران**، مجموعه مقالات ارائه شده در سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تهران، ص ۱۲

۱۹.ملکی، محسن (۱۳۸۲) **بررسی فرسایش آبی و مقایسه ۲ روش ژئومرفولوژی و EPM در حوزه آبخیز طالقان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران

۲۰.ملکی، محسن (۱۳۸۶) **مدل‌سازی کمی فرسایش آبی با استفاده از روش کیفی ژئومرفولوژی در حوزه آبخیز سد لیتان**، رساله دکتری رشته علوم مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

۲۱.محسنی، بهروز، جمال، قدوسی، حسن، احمدی، رمضان، طهماسبی (۱۳۹۰) **ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومرفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب**، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۲، ۱۰۷-۱۲۷

۲۲.نجفی، غلامحسن (۱۳۸۴) **زمین و اراضی کشاورزی در ایران**، ماهنامه دهاتی، جلد ۲۴، ۱۷–۱۴

Alborz Integrated Land and Water Management Project, (2008). Vol: 1, ***Main Report***, financed by The World Bank.

Bagarello, V., C., Di-Stefano, V., Ferro, P.I.A., Kinnell, V., Pampalone, P., Porto, & F., Todisco, (2011). ***Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration***, Journal of Hydrology 400: 267–273.

Devent, J., & J., Poesen, (2005). ***Peredictig Soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and and semi-quanlitation Model***, Earth Science, 20:1-31.

De-Baets, S., & J., Poesen, (2010). ***Empirical models for predicting the erosion-reducing effects of plant roots during concentrated flow erosion***, Geomorphology 118: 425-432.

Johnson, C.W., & K.A., Gebhardt, (1982). ***Predicting Sediment yield from sagebrush rangelands, in proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands***, Tucson, Arizona, USDASEA-ARM western series, 26: 145-156.

Logan, T.J., D.R., Urban, J.R., Adams, & S.M., Yaksinch, (1982). ***Erosion control potential with conservation Tillage in the lack Erie Basin: Estimates Using the Universal Soil Loss Equation and the Land Resource information System (LRIS)***, Reprinted with permission of Journal of Soil and Water Conservation, 37: 50-55.

Lafen, J.M., & E.J., Roose, (1988). ***Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion***. In Law R.: Balum, W. E. and Valentine, c. (Eds.), Soil degrading, CRC press, Bo Ca Raton. 320 p.

Lu, H., J., Geollant, L., Prosser, & G., Moran, (2001). ***Prdiction of sheet and rill erosion over the Australian contrinent: Incorporating***

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

monthly soil loss distribution, National Land & Water Resource. Technical Report No.31, Austoralia.

Ownegh, M., (2003). ***Land Use planning and integrated management of natural hazard in Golestan in: seminar on flood hazard prevention and mitigation***, 15-16 janurary, Gorgan, Abstract.

Pimental, D., C., Harvary, P., Resosudarmo, K., Sinclair, D., kurz, M., MCN air, S., crist, L., Shipritz, L., Fitton, R., saffouri, & R., Blair, (1995). ***Environmental end economic costs if soil erosion and conservation benefit***, Science, 267: 1117-1123.

Pacific Southwest Inter-Agency Committee (PSIAC), (1986). ***Factors affecting sediment yield in the pacific southwest area and selection and evaluation of measures for reduction of erosion and sediment yield***, Report of the Water Management Subcommittee.

Renfro, G.W., (1975). ***User of Erosion Equation and Sediment Delivery Ratio for Predicting Sediment Yield***. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources, Agricultural Resources Services, ARS-S-40, 33-45. US Dept. Agric., Washington, D.C.

Rompaey, A., & G., Govers, (2002). ***Data quality and model complexity for regional scale soil erosion prediction***, Geo, Inform. Sci. 16(7): 663-680.

Safamanesh, R.A., W.N., Sulaiman, & M.F., Ramli, (2006). ***Erosion risk assessment using an empirical model of pacific south west inter Agency committee method for zarge watershed***, Journal of Spatial Hydrology, Vol 6, No 2.

Thommas, M.B., & G.V., Voinvoch, (1995). ***Landslid in Ohio. The division of geological survey geofacts series***, 4PP.

Tangestani, M.H., (2006) ***Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran***. Journal of Asian Earth Sciences 27: 585-597.

UNEP, (1999). ***Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN***. Chapter 8, pp: 109-121.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]