نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۱، زمستان ۱۴۰۲

برآورد شدت فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبریز بابلرود با استفاده از مدلهای پتانسیل فرسایش و فورنیه

دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۲۴ **پذیرش نهایی:** ۹۹/۵/۱۴

صفحات: ۳۱۸-۳۰۳

احسان شهیری طبرستانی: دانشجوی دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران[۱]
Email: ehsan_shahiri@yahoo.com
حسین افضلی‌مهر: استاد، گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
Email: hafzali@iust.ac.ir

چکیده

یکی از مشکلات مدیریت و کنترل فرسایش و رسوب حوزه‌های آبریز، 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. این تحقیق از نوع علمی- پژوهشی بوده و بر مبنای مدل‌های تجربی تکمیل گشته و در انتها بر اساس مطالعات میدانی صورت‌گرفته توسط سایر محققین صحت‌سنجی شده است. هدف از پژوهش حاضر، برآورد شدت فرسایش و میزان تولید رسوب حوزه آبریز بابلرود واقع در استان مازندران با استفاده از مدل‌های تجربی پتانسیل فرسایش و فورنیه و تعیین میزان دقت این مدل‌ها می‌باشد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوزه آبریز بابلرود از نظر فرسایش و حمل رسوب در وضعیت متوسط قرار داشته و مقدار ضریب شدت فرسایش آن $Z = 0.54$ است. همچنین میزان رسوب‌دهی این حوزه طبق روش پتانسیل فرسایش، ۵۶۳۲۳۰/۷۱ $\frac{m^3}{year}$ می‌باشد. بیشترین مقدار فرسایش در ناحیه شمالی حوزه آبریز قرار دارد که علت آن وجود کاربری غیرقابل کشت و سازندهای خاکی فرسایش‌پذیر از جمله خاک‌های آبرفتی و مردابی می‌باشد. به‌منظور ارزیابی دقت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های تجربی، از اطلاعات مشاهده‌ای دو ایستگاه رسوب‌سنجی استفاده شد و نتایج بیانگر اختلاف نسبی متوسط ٪۲۳/۲۴ در روش پتانسیل فرسایش است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از روش تجربی فورنیه حاکی از عدم کارایی این روش در برآورد حوزه آبریز بابلرود به دلیل عدم در نظر گرفتن پتانسیل فرسایش‌پذیری حوزه می‌باشد.

کلیدواژگان: حوزه آبریز بابلرود، شدت فرسایش، مدل تجربی پتانسیل فرسایش، مدل تجربی فورنیه، مقادیر مشاهده‌ای

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران، ۰۹۱۱۴۴۳۸۱۶۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی در هر کشور است. فرسایش خاک در سال‌های اخیر افزایش‌یافته و تبدیل به یک چالش جهانی برای محیط‌زیست و اقتصاد کشورها شده است. محافظت از فرسایش خاک به دلیل اثرات مستقیم آن بر حاصل‌خیزی زمین‌های کشاورزی، کیفیت آب و وقوع سیلاب موضوع بسیار مهمی است. با فرسایش خاک میلیون‌ها تن رسوبات وارد مخازن و دریاچه‌ها می‌شود که پیامد آن آسیب به سدها، تغییر کیفیت آب و خسارت قابل‌توجه اقتصادی است (رفاهی، ۶:۱۳۷۵). بر این اساس پیشگیری و مهار فرسایش خاک در گستره حوزه‌های آبخیز و در چهارچوب طرح‌های بهره‌برداری آب‌وخاک و آبخیزداری یک نیاز اساسی است. فعالیت‌های انسانی و استفاده نامناسب از زمین‌های شهری باعث تسریع فرسایش خاک در بسیاری مناطق سطح زمین شده است (احمدی، ۱۳۷۴:۱). به‌منظور 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. به‌طوری‌که شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب جهت کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری نماید (علیزاده، ۱۳۷۴:۷). روش‌های مختلفی برای تخمین فرسایش رسوب یک حوزه وجود دارد. یکی از روش‌ها روش تجربی است که شامل مدل‌های گوناگون می‌باشد و برای تحلیل اثر فعالیت‌های کشاورزی در فرآیند فرسایش- رسوب توسعه‌یافته است. برخی از مدل‌های تجربی معروف شامل معادله جهانی اتلاف خاک[۲]، فورنیه[۳]، پسیاک[۴]، پسیاک اصلاح‌شده[۵] و روش پتانسیل فرسایش[۶] می‌باشند. برخی مطالعات انجام‌شده با این روش‌ها منجر به نتایج قابل قبولی شده است (سینگ و کومار، ۲۰۱۷[۷]:۲۰، رامش و گنسری، ۲۰۱۶[۸]:۱۳، کیدن و همکاران، ۲۰۱۹[۹]:۱۵، پیجل و همکاران، ۲۰۲۰[۱۰]:۱۸، نوری و همکاران، ۲۰۱۶[۱۱]:۱۷، باتیستا و همکاران، ۲۰۱۷[۱۲]:۱۱، باقرزاده و دانشور، ۲۰۱۱[۱۳]:۱۰). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS) در تخمین و ارزیابی فرسایش به نتایج مناسبی منجر شده است و در مقایسه با روش‌های سنتی هزینه کمتر و دقت بالاتری را نشان داده است (شیرمالی و همکاران، ۲۰۰۱[۱۴]:۲۱، لین و همکاران، ۲۰۰۲[۱۵]:۱۶). (بیات، ۱۳۸۷:۲) در پژوهش خود در موردبررسی و ارزیابی مدل پتانسیل فرسایش در برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه‌های مهران‌رود و آب‌شور استان آذربایجان شرقی که دارای آمار رسوب هستند با انجام مطالعات زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، هواشناسی، رسوب‌شناسی، هیدرولوژی، کاربری اراضی، توپوگرافی و فیزیوگرافی

2 USLE
3 Fournier
4 PSIAC
5 MPSIAC
6 EPM
7 Singh and Kumar, 2017
8 Ramesh and Ganasri, 2016
9 Kidane et al. 2019
10 Pijl et al. 2020
11 Noorie et al. 2016
12 Batista et al. 2017
13 Bagherzade and Daneshvar, 2011
14 Shirmali et al. 2001
15 Lin et al. 2002

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

در دو حوزه مذکور نقشه‌های لازم را تهیه نمود. وی ضرایب موردنیاز در مدل را تعیین و مقدار فرسایش حوزه‌های فوق را محاسبه کرد. بیات در تحقیق خود از آمار دبی و رسوب ایستگاه‌های حوزه‌های مذکور اقدام به برآورد بار معلق کرده و سپس با اضافه نمودن بار بستر به آن مقدار رسوب کل را ارائه نمود. (کریمی‌آذر، ۸:۱۳۸۳) با مقایسه مقادیر محاسباتی با مقادیر مشاهده‌ای، مقدار رسوب محاسباتی در حوزه آب‌شور توسط مدل پتانسیل فرسایش را ۲/۲ برابر و در حوزه مهران‌رود ۱/۶ برابر رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری گزارش کرده است. (جعفرزاده و رضایی، ۴:۱۳۹۶) به برآورد فرسایش خاک در حوزه سفیدرود با تأکید بر نقش لندفرم‌ها پرداختند و دریافتند که مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیشتری دارند. (پروین، ۳:۱۳۹۸) در پژوهش خود به اولویت‌بندی پتانسیل فرسایش خاک در زیرحوزه‌های حوزه کامیاران پرداخت و نتیجه گرفت که به‌طورکلی میزان پتانسیل فرسایش خاک در این زیرحوزه‌ها متأثر از شرایط لیتولوژیکی و ژئومورفولوژیکی زیرحوزه‌ها بوده و پارامترهای مرتبط با نفوذ بیشترین تأثیر را در میزان پتانسیل فرسایش خاک دارند.

کارایی دو مدل تجربی پتانسیل فرسایش و فورنیه در حوزه‌های آبریز با توجه به مشخصات اقلیم حوضه، شرایط آب و هوایی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و دیگر ویژگی‌های مختص هر حوضه، مشخص می‌گردد. ارزیابی دقت و کارایی این دو روش در حوزه آبریز بابلرود می‌تواند زمینه‌ای را به‌منظور بررسی میزان رسوب و فرسایش مناطق با مشخصات مشترک و نزدیک به این حوضه با استفاده ازاین‌روش‌های تجربی 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 به‌کار 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. به‌منظور بررسی کارایی مدل‌های تجربی پتانسیل فرسایش و فورنیه در حوزه آبخیز بابلرود از داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی درون‌کلا و کریکچال جهت تعیین میزان دقت این مدل‌ها استفاده شده است. شناسایی دقیق عرصه‌های فرسایش‌یافته و شدت تخریب منابع خاک حوضه، برنامه‌ریزان منطقه را به سمت تخصیص بهینه هزینه و زمان جهت خواهد داد.

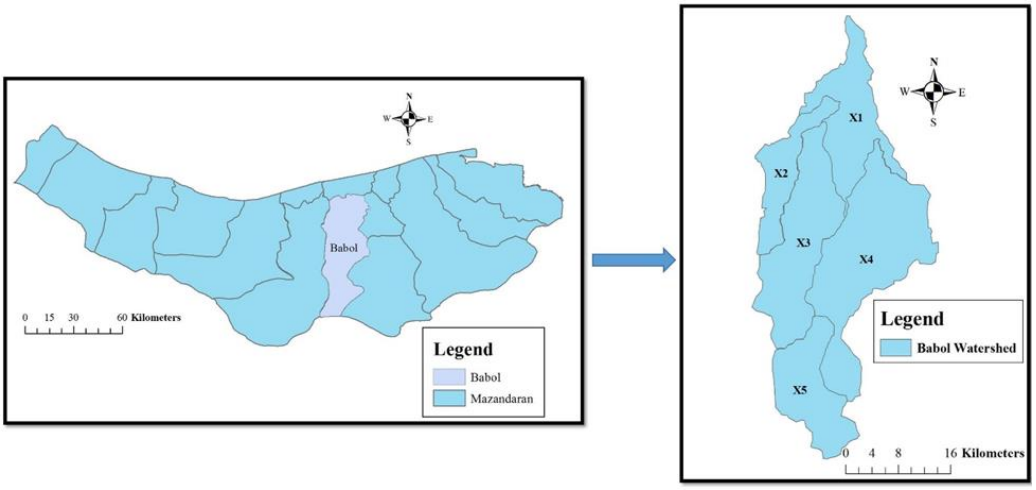
در پژوهش حاضر کارایی دو مدل تجربی پتانسیل فرسایش و فورنیه در حوزه آبریز بابلرود بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های رسوب‌سنجی درون‌کلا و کریکچال جهت تعیین میزان دقت این مدل‌ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این روش‌ها بر مبنای امتیازدهی به عوامل مؤثر بر تخمین شدت فرسایش و رسوب سالانه در نرم‌افزار GIS مورداستفاده قرار می‌گیرند. شناسایی دقیق مناطق فرسایش یافته و شدت تخریب منابع خاک حوزه، برنامه‌ریزان منطقه را به سمت تخصیص بهینه هزینه و زمان هدایت خواهد داد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

روش تحقیق

معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده موردمطالعه در کشور ایران، استان مازندران و شهرستان بابل در طول‌های جغرافیایی $52^{\circ}\ 28'40''$ الی $52^{\circ}\ 47'25''$ و در عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}\ 36'35''$ الی $36^{\circ}\ 0'\ 2''$ قرارگرفته 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 آبریز رودخانه تالار و سیاهرود و از سمت غرب به حوزه آبریز رودخانه هراز محدود می‌شود. این حوزه از ۵ زیر حوزه اصلی به مساحت ۹۶۲ km^2 تشکیل شده است. متوسط بارندگی سالانه ۷۸۲ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط سالانه ۱۴/۱۴ درجه سانتی‌گراد در سطح حوزه گزارش شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه به ترتیب معادل ۳۶۷۷/۶ و ۱۴/۸- متر است. اقلیم حوزه بر اساس روش آمبرژه از نوع نیمه مرطوب سرد می‌باشد. بخش وسیعی از ناحیه میانی و جنوب حوزه دارای پوشش متراکم جنگلی راش، بلوط و پهن‌برگ (خزری) و کوهستانی است. در ناحیه شمالی حوزه نیز عمده کاربری از نوع اراضی کشاورزی دیم می‌باشد.



شکل (۱). موقعیت حوزه آبریز بابلرود واقع در استان مازندران و شهرستان بابل

مدل پتانسیل فرسایش

این روش با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از قطعه زمین‌های فرسایشی در کشور یوگسلاوی سابق به‌دست‌آمده و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸:۱۴[16]) ارائه گردید. از مزایای این روش سهولت و سرعت مناسب در ارزیابی میزان رسوب و فرسایش سطح حوزه آبریز است. در این روش چهار معیار شامل ضریب فرسایش حوزه آبریز ($\emptyset$)، ضریب کاربری اراضی (X_a)، ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه (I) در واحدهای مختلف هیدرولوژیکی موردبررسی قرار می‌گیرد. ازاین‌رو با به‌کارگیری اطلاعات این معیارها میزان شدت فرسایش حوزه به دست

[16] Gavrilovic, 1988

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

می‌آید. یکی دیگر از مزایای این روش، قدمت استفاده از آن و حصول نتایج نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری‌شده می‌باشد (سینگ و کومار، ۲۰:۲۰۱۷). از جمله معایب روش پتانسیل فرسایش این است که به‌جز دو عامل حساسیت خاک نسبت به فرسایش و ضریب کاربری اراضی، از عوامل مؤثر دیگر در فرسایش نظیر شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و فرسایش در حریم آبراهه‌ها استفاده‌ای به عمل نیامده است.

به‌منظور تعیین شدت فرسایش حوزه موردمطالعه از روابطی به شرح روابط (۱ تا ۵) استفاده می‌شود:

$$Z = X_a \times Y \times (\phi + I^{0.5})$$ رابطه (۱)

که در رابطه (۱)، Z ضریب شدت فرسایش، $\emptyset$ ضریب فرسایش حوزه آبریز، X_a ضریب کاربری اراضی، Y ضریب حساسیت خاک به فرسایش و I شیب متوسط حوزه برحسب درصد می‌باشد. طبقه‌بندی زیر حوزه‌ها برحسب شدت فرسایش در جدول (۱) نشان داده شده است.

در این روش برای ایجاد ارتباط بین ضریب فرسایش با مقدار کمی فرسایش معادله‌ای به شرح رابطه (۲) ارائه شده است.

$$W_{sp} = T * H * \pi * Z^{1.5}$$

رابطه (۲)

که در آن W_{sp} میانگین سالانه فرسایش ویژه برحسب $\frac{m^3}{km^2 * year}$، H ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوزه آبریز برحسب mm، Z ضریب شدت فرسایش و π برابر ۳/۱۴ است.

پارامتر T ضریب درجه حرارت می‌باشد که از رابطه $T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5}$ به دست می‌آید و در آن t میانگین درجه حرارت سالانه در حوزه آبریز به درجه سانتی‌گراد است. مقدار W_{sp} بیان‌کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال‌یافته است؛ اما همه این مواد به نقطه خروجی نخواهند رسید. مدل پتانسیل فرسایش میزان رسوب محاسبه‌شده تا این مرحله را فرسایش ویژه تلقی می‌کند و به‌منظور برآورد رسوب ویژه از رابطه (۳) استفاده می‌کند.

$$G_{sp} = W_{sp} * R_u$$

رابطه (۳)

که در رابطه (۳)، G_{sp} رسوب ویژه حوزه برحسب $\frac{m^3}{km^2 * year}$، W_{sp} میانگین سالانه فرسایش ویژه برحسب $\frac{m^3}{km^2 * year}$ و R_u ضریب نگهداشت مواد فرسایش‌یافته است. این ضریب بیانگر میزان مواد رسوبی خارج‌شده از نقطه خروجی می‌باشد که از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$R_u = \frac{4(P * D)^{0.5}}{L + 10}$$ رابطه (۴)

که در آن P محیط حوزه به km، L طول حوزه به km و D متوسط اختلاف سطح در حوزه به km که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

$$D = D_{aV} - D_0$$

رابطه (۵)

در رابطه (۵) D_{aV} ارتفاع متوسط حوزه آبریز و D_0 ارتفاع نقطه خروجی رودخانه است.

جدول (۱). طبقه‌بندی شدت فرسایش در روش پتانسیل فرسایش

مقادیر متوسط Z	مقادیر حد	شدت فرسایش	طبقه‌بندی فرسایش
1.25	$Z > 1$	خیلی شدید	V
0.85	$0.71 < Z < 1$	شدید	IV
0.55	$0.41 < Z < 0.71$	متوسط	III
0.30	$0.2 < Z < 0.41$	کم	II
0.10	$Z < 0.2$	خیلی کم	I

مدل فورنیه

(فورنیه ۱۹۶۲[17]:۱۲) برای برآورد رسوب یک حوزه آبریز دو روش مختلف ارائه داده است که بدین شرح می‌باشد:

روش اول فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوزه آبریز به‌صورت رابطه (۶) است:

$$\text{Log } Q_S = 2.65 \text{ Log}\frac{P_w^2}{P_a} + 0.46 \text{ Log H } (\tan S) - 1.56$$

رابطه (۶)

که در رابطه (۶) Q_S رسوب ویژه برحسب $\frac{ton}{km^2 * year}$، P_w میانگین بارندگی پرباران‌ترین ماه هرسال در دوره آماری موردنظر برحسب mm، P_a میانگین بارندگی سالانه در دوره آماری موردنظر برحسب mm، H ارتفاع متوسط حوزه برحسب m و S شیب متوسط حوزه برحسب درجه است.

روش دوم فورنیه برای برآورد رسوب در یک حوزه آبریز به‌صورت زیر است:

$$\text{Log } Q_S = 2.65 \text{ Log}\frac{P_w}{P_a} + 0.46 \text{ Log}\frac{H^2}{S} - 1.56$$

رابطه (۷)

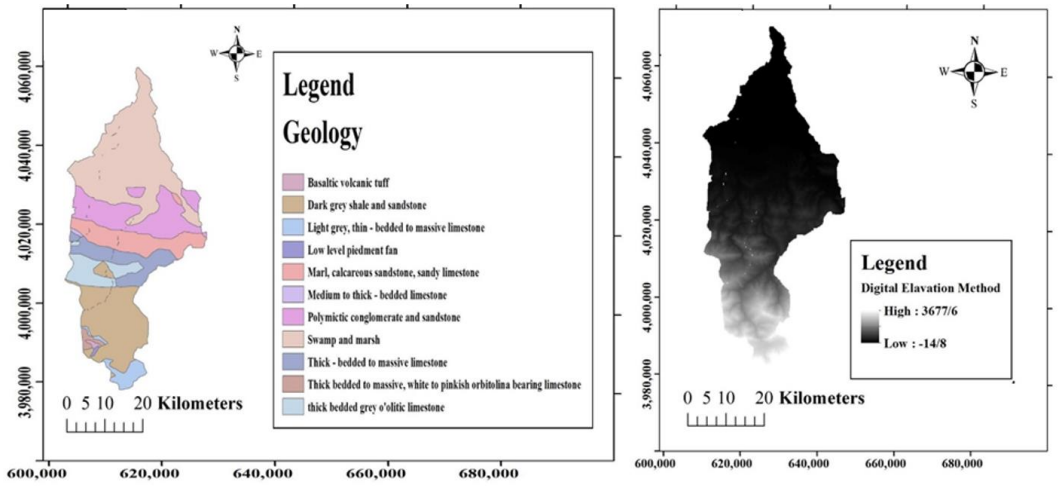
که در آن تمامی پارامترها مشابه رابطه (۶) و S مساحت حوزه برحسب km^2 است. از اصلی‌ترین معایب روش فورنیه، عدم بررسی پتانسیل فرسایش‌پذیری حوزه می‌باشد؛ بنابراین اگر دو منطقه از نظر عوامل مربوط به روابط (۶) و (۷) یکسان بوده ولی از نظر شرایط زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی متفاوت باشد، میزان رسوب آن‌ها یکسان برآورد خواهد شد.

[17] Fournier, 1962

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

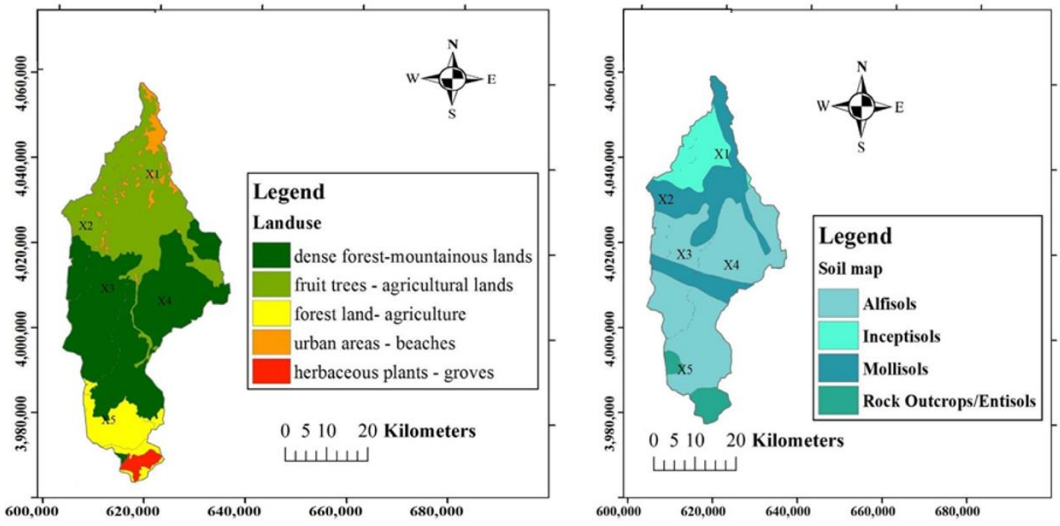
داده‌های تحقیق

به‌منظور برآورد میزان رسوب تولیدشده و شدت فرسایش زیر حوزه‌ها، از اطلاعات مختلفی شامل: نقشه ارتفاعی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی، بارش باران، شیب زمین و درجه حرارت منطقه استفاده شده است. در شکل (۲- الف) نقشه ارتفاع رقومی حوزه آبریز بابلرود نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، بخش جنوبی حوزه آبریز منطقه کوهستانی می‌باشد و بیشترین میزان ارتفاع از سطح آزاد دریا در این نواحی قرار دارد. در بخش شمالی حوزه آبریز نیز مناطق دشتی با ارتفاعات کم قرار دارد. شکل (۲- ب) سازندهای تشکیل‌دهنده سطح حوزه را نشان می‌دهد. در بخش‌های وسیعی از ناحیه شمالی حوزه سازندهای آبرفتی و در بخش‌های جنوبی آن لایه سنگ‌های سخت و شیل قرار دارد. همان‌طور که از شکل (۲- ج) برمی‌آید؛ بخش وسیعی از حوزه را خاک‌هایی از جنس آلفی‌سول تشکیل می‌دهند. 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 حوزه قرار دارند، دارای سطح غنی از مواد آلی و آهک می‌باشند و اغلب در علفزارها مشاهده می‌شوند.



(ب) (الف)

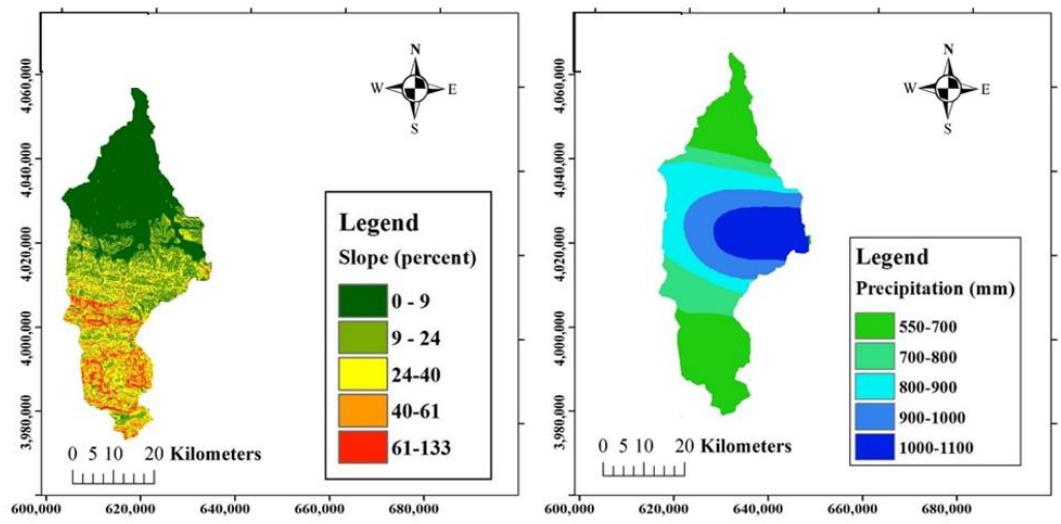
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]



(د) (ج)

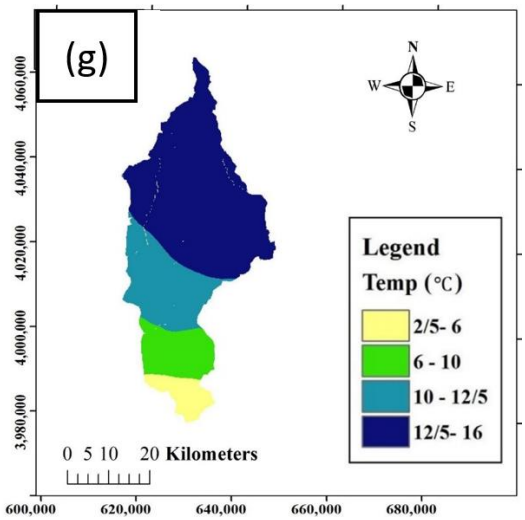
شکل (۲). اطلاعات حوزه آبریز بابلرود الف) نقشه ارتفاعی رقومی، ب) نقشه زمین‌شناسی ج) نقشه خاک‌شناسی، د) نقشه کاربری اراضی

در شکل (۲-د) نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز بابلرود مشخص شده است. بخش‌های مختلف این حوزه به ترتیب 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 حوزه را شامل می‌شوند، منجر به کاهش میزان رسوب‌زایی و حفاظت طبیعی خاک می‌شوند.



(ج) (ث)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]



(چ)

ادامه شکل (۲). اطلاعات حوزه آبریز بابلرود ث) نقشه بارش باران، ج) نقشه شیب زمین، چ) نقشه دمای حرارت

در شکل (۲-ث) مشاهده می‌شود که میانگین سالانه بارش باران در طول سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۹ در بازه ۵۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌متر قرار دارد. این اطلاعات از آمار ۱۰ ساله ۱۱ ایستگاه هیدرومتری در سطح حوزه (رامسر، سیاه‌بیشه، نوشهر، کجور، بلده، آمل، بابلسر، آلاشت، بندر امیرآباد، گلوگاه و کیاسر) به‌دست‌آمده است. میزان بارش در قسمت شرقی مرکز حوزه آبریز بیشترین مقدار است و به‌تدریج به سمت ناحیه شمالی و جنوبی حوزه روند کاهشی مشاهده می‌شود. همان‌طور که از شکل (۲-ج) بر می‌آید، بیشترین میزان شیب در ناحیه جنوبی حوزه به دلیل ماهیت کوهستانی آن و کمترین آن در ناحیه شمالی حوزه به دلیل ماهیت دشتی منطقه می‌باشد. میزان درجه حرارت حوزه نیز مشابه اطلاعات بارش در طول ۱۰ سال و از ۱۱ ایستگاه برداشت‌شده است. در ناحیه شمالی حوزه به دلیل ارتفاعات پایین‌تر درجه حرارت‌های بالاتر و در ناحیه جنوبی حوزه به دلیل ارتفاعات بالاتر درجه حرارت‌های کمتر مشاهده می‌شود.

نتایج

محاسبه ضریب شدت فرسایش و رسوب ویژه حوزه به روش پتانسیل فرسایش

به‌منظور برآورد پارامتر Z از اطلاعاتی شامل میزان فرسایش خندقی و شیاری منطقه، نوع کاربری اراضی، نوع سازند و خاک در حوزه و شیب حوزه به درصد استفاده می‌شود. بدین منظور از مقادیر جداول (۲ تا ۴) برای حوزه آبریز بابلرود استفاده شد. همچنین در جدول (۵) طبقه زیرحوزه‌های بابلرود بر اساس شدت فرسایش و میزان رسوب تولیدشده برحسب $\frac{m^3}{year}$ نشان داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

جدول (۲). تعیین پارامتر X_a در حوزه آبریز بابلرود (رفاهی، ۱۳۷۵)

گیاهان علفی- بیشه‌زار	مناطق شهری- ساحلی	مراتع اراضی جنگلی- کشاورزی	درختان میوه- اراضی کشاورزی	اراضی جنگلی متراکم- کوهستانی
۰.۴	۱	۰.۳	۰.۷	۰.۲

جدول (۳). تعیین پارامتر Y در حوزه آبریز بابلرود (رفاهی، ۱۳۷۵)

Y	نوع سازند	شناسه زمین‌شناسی
۲	آبرفتی	Qm
۱	سنگ‌آهک متوسط تا ضخیم	Pel
۱	مارل، ماسه‌سنگ‌آهکی، سنگ‌آهک ماسه‌ای و کنگلومرا جزئی	Mm,s,l
۱	شیل خاکستری تیره و ماسه‌سنگ	TRJs
۱	سنگ‌آهک ضخیم	K2l2
۱.۲	کنگلومرا و ماسه‌سنگ پلی متیک	Plc
۱	دولومیت آهکی	TRe
۱	سنگ‌آهک‌های ضخیم تا اوربیتولینای عظیم، سفید تا صورتی مایل به قرمز	Ktzl
۱	سنگ‌آهک به رنگ خاکستری روشن	Jl
۱	بازالت آتش‌فشانی	Kbvt
۲	سنگ دگرگون‌شده آبرفتی	Qft2

جدول (۴). تعیین پارامتر Φ در حوزه آبریز بابلرود (رفاهی، ۱۳۷۵)

مناطق شهری	سیلاب دست	زمین پست	زمین آبرفتی	تپه	فلات	پوشش زراعی	پوشش جنگلی
۰.۳	۱	۰.۶	۰.۸	۰.۵	۰.۲	۰.۱۵	۰.۱

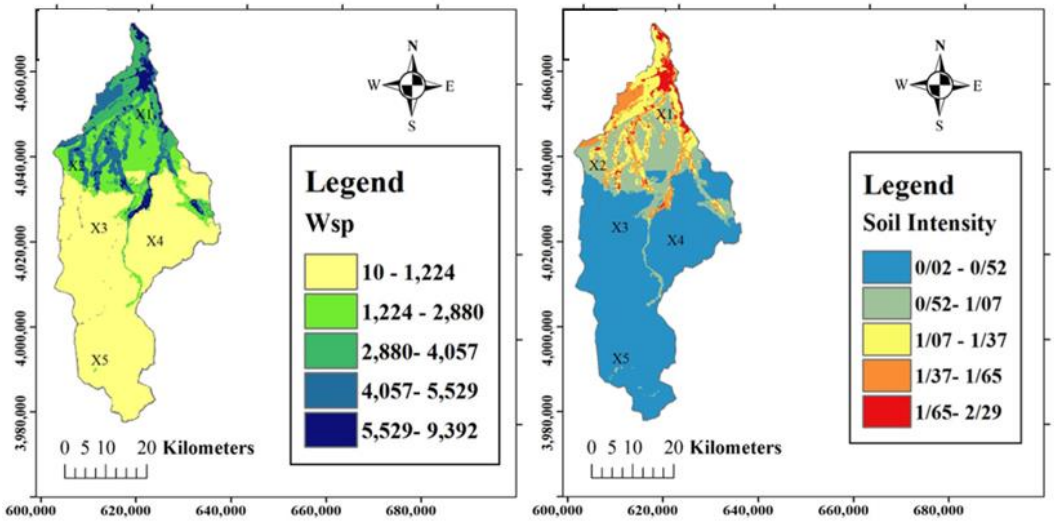
جدول (۵). طبقه‌بندی زیرحوزه‌های بابلرود بر اساس مدل پتانسیل فرسایش

ناحیه	Z	R_u	$(\frac{m^3}{km^2*year})G_{sp}$	مساحت (km^2)	$(\frac{m^3}{year})Q_S$	طبقه
X_1	۱.۲	۰.۳۱	۱۰۵۷.۳۶	۱۶۶	۱۷۵۵۲۱.۷۶	V
X_2	۰.۸۱	۰.۳۲	۷۳۸.۱۳	۹۴	۶۹۳۸۴.۲۲	IV
X_3	۰.۴۵	۰.۵۷	۶۸۸.۳۵	۲۲۶	۱۵۵۵۶۷.۱	III
X_4	۰.۳۲	۰.۷۴	۵۷۸.۸۷	۱۴۷	۸۵۰۹۳.۸۹	II
X_5	۰.۲۳	۱.۲۵	۲۳۶.۰۶	۳۲۹	۷۷۶۶۳.۷۴	II
کل حوزه	۰.۵۴	۰.۷۹	۵۸۵.۴۷	۹۶۲	۵۶۳۲۳۰.۷۱	III

همان‌طور که در شکل (۳-الف) دیده می‌شود، ضریب شدت فرسایش در زیرحوزه‌های X_1 و X_2 به ترتیب بسیار زیاد و زیاد است که دلیل اصلی آن وجود زمین‌های دشتی، درخت‌زارها و خاک‌های آبرفتی و مردابی در ناحیه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

شمالی حوزه است. همچنین تراکم مناطق شهری و ساحلی در ناحیه شمالی حوزه منجر به تغییرات انسانی وسیعی در گذر زمان شده است که نتیجه آن افزایش میزان تولید فرسایش خاک می‌باشد. از سویی دیگر دبی رودخانه در این نواحی افزایش رفته و قدرت حمل رسوب به دلیل افزایش انرژی جریان بالاتر می‌رود. ازاین‌رو خطوطی منطبق بر مسیر جریان رودخانه در زیرحوزه‌های X_1 و X_2 دارای شدت فرسایش زیادی هستند. همچنین طبق روش پتانسیل فرسایش، کل حوزه در دسته متوسط از نظر شدت فرسایش قرار دارد که این مسئله نشان از اهمیت اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب در محدوده حوزه آبریز بابلرود دارد.



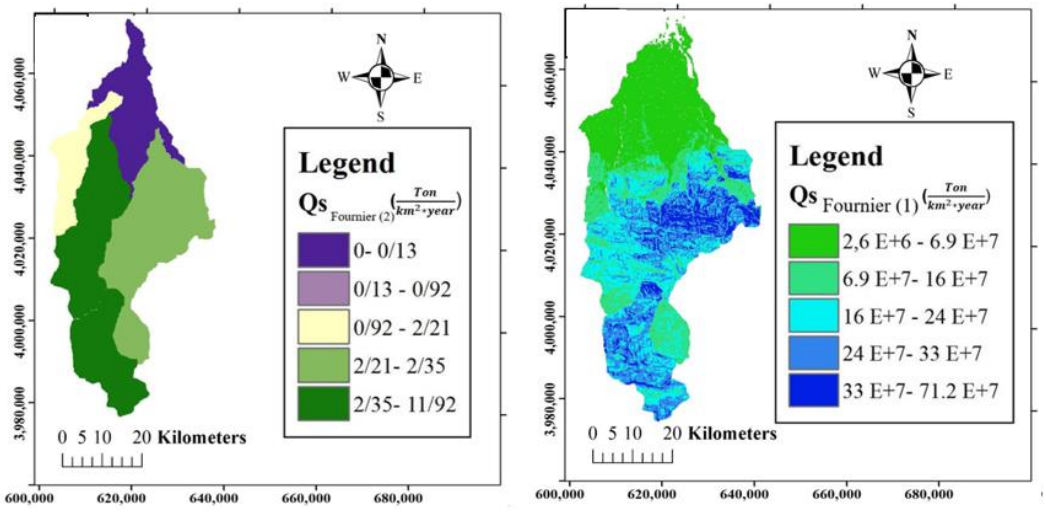
(ب) (الف)

شکل (۳). الف) ضریب شدت فرسایش در حوزه آبریز بابلرود، ب) میانگین سالانه فرسایش ویژه در حوزه آبریز بابلرود

محاسبه ضریب شدت فرسایش و رسوب ویژه حوزه به روش فورنیه

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، مقادیر رسوب ویژه برحسب $(\frac{Ton}{year})$ بر اساس روش اول و دوم فورنیه برای تمامی زیرحوزه‌های بابلرود به دست آمد. بر خلاف نتایج به‌دست‌آمده از مدل پتانسیل فرسایش، در زیر حوزه‌های X_1 و X_2 کمترین میزان فرسایش و در زیرحوزه X_5 بیشترین میزان فرسایش مشاهده شد. همچنین مقادیر به‌دست‌آمده در روش دوم نسبت به روش اول فورنیه به محدوده رسوب و فرسایش تولیدشده مشاهداتی نزدیک‌تر است. علت اصلی اختلاف زیاد نتایج مدل فورنیه با پتانسیل فرسایش، عدم در نظر گرفتن برخی از عوامل وابسته به تعیین فرسایش‌پذیری حوزه است. به‌عنوان‌مثال نوع خاک و سازند زیر حوزه که جز مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر میزان فرسایش تولیدشده می‌باشند، در این مدل به‌کار گرفته نمی‌شوند. در شکل (۴) مقادیر رسوب ویژه زیرحوزه‌های بابلرود بر اساس روش اول و دوم فورنیه نشان داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]



(ب) (الف)

شکل (۴). مقادیر رسوب ویژه بر اساس، الف) روش اول فورنیه، ب) روش دوم فورنیه

جدول (۶). مقادیر رسوب ویژه زیرحوزه‌های بابلرود بر اساس روش اول و دوم فورنیه

ناحیه	مساحت (km^2)	$(\frac{Ton}{year})Q_{S_1}$	$(\frac{Ton}{year})Q_{S_2}$
X_1	۱۶۶	1.3×10^9	23.24
X_2	۹۴	4.2×10^9	88.36
X_3	۲۲۶	3.5×10^{10}	537.88
X_4	۱۴۷	3.3×10^{10}	327.81
X_5	۳۲۹	8.6×10^{10}	3911.81
کل حوزه	۹۶۲	6.7×10^{11}	4889.1

صحت‌سنجی نتایج مدل‌ها با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های رسوب‌سنجی

به‌منظور صحت سنجی نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های 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 گردید. این مجموعه داده‌ها شامل غلظت مواد معلق، دبی آب و نرخ متوسط بار معلق می‌باشد. نمونه‌های بار معلق این رودخانه در یک بطری جمع‌آوری‌شده و برای تحلیل به آزمایشگاه برده شد. پس از عملیات فیلتراسیون، تبخیر آب از نمونه‌ها و وزن نمونه‌های خشک غلظت مواد معلق به دست می‌آید. با داشتن این داده‌ها و همچنین دبی جریان منحنی سنجه 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 سنجه رسوب به‌دست‌آمده است شکل (۵). از سویی دیگر طی مطالعه (پورحسین و همکاران، ۲۰۱۵[18]:۱۹) نسبت مقادیر بار بستر به بار معلق

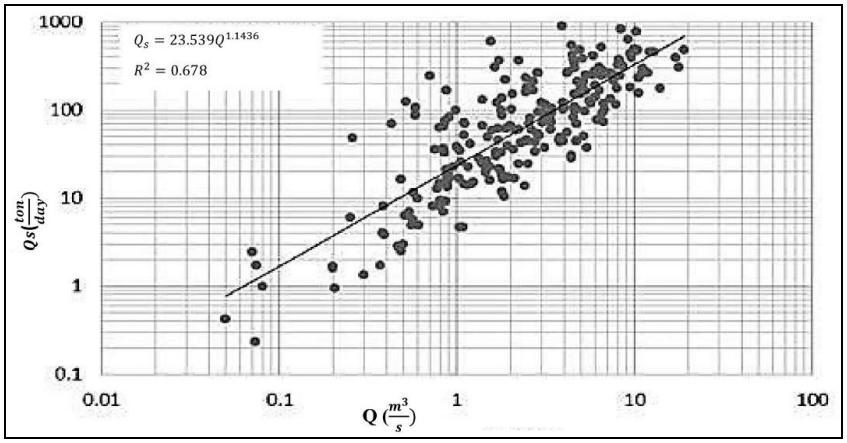
[18] Pourhosein et al. 2015

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

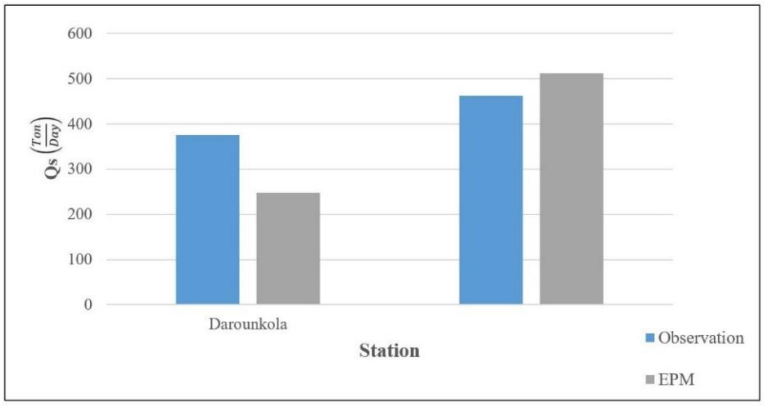
ایستگاه‌های مختلف از جمله درونکلا و کریکچال اندازه‌گیری شد. آن‌ها با اندازه‌گیری میدانی بار بستر رسوب توسط دستگاه هلی- اسمیت در دبی‌های خاصی از جریان و همچنین تعیین مقادیر بار رسوب معلق در همان دبی‌های جریان آب از منحنی سنجه رسوب قادر به اندازه‌گیری نسبت بار بستر به بار معلق شدند که به‌طور متوسط این نسبت ۲/۷ درصد برای رودخانه بابلرود تعیین گردید. در جدول (۷) مقایسه نتایج روش پتانسیل فرسایش با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده می‌شود.

جدول (۷). مقایسه نتایج مدل‌های پتانسیل فرسایش با مقادیر اندازه‌گیری شده

ایستگاه	جریان $Q(\frac{m^3}{s})$	بار معلق $Q_s(\frac{ton}{day})$	بار بستر $(\frac{ton}{day})Q_s$	بار معلق $Q_s(\frac{ton}{day})$	EPM $Q_s(\frac{ton}{day})$
درونکلا	11	365.36	9.86	375.22	248.272
کریکچال	13.2	450.06	12.15	462.21	520.72



شکل (۵). منحنی سنجه رسوب حوزه آبریز بابلرود (پورحسین و همکاران، ۲۰۱۵)



شکل (۶). نمودار مقایسه‌ای روش پتانسیل فرسایش با مقادیر اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های رسوب‌سنجی درونکلا و کریکچال

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

همان‌طور که از شکل (۶) مشخص است، در ایستگاه درونکلا، مقدار رسوب تولیدشده توسط مدل پتانسیل فرسایش پایین‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده است؛ درحالی‌که در ایستگاه کریکچال این مدل تخمین بالاتری را نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده می‌زند. در مجموع خطای تخمین روش پتانسیل فرسایش برای این دو ایستگاه رسوب‌سنجی ٪۲۳/۲۴ است که بیانگر دقت مطلوب این روش برای برآورد شدت فرسایش و تولید رسوب در سطح حوزه آبریز بابلرود و سایر حوزه‌های مشابه از نظر مشخصات می‌باشد. این نتایج با یافته‌های (رجبی و همکاران، ۵:۱۳۹۸) که به بررسی کاربرد مدل تجربی پتانسیل فرسایش بر روی حوزه شازند پرداخته‌اند؛ مطابقت دارد. در یافته ایشان نتایج حاصل از مدل تجربی پتانسیل فرسایش با ۴ ایستگاه هیدرومتری مقایسه گردید و انطباق ۷۳ درصدی نتایج مشاهده شد. (نبی‌پی لشکریان و همکاران، ۹:۱۳۹۷) نیز به ارزیابی دقت نتایج روش پتانسیل فرسایش در حوزه‌های کوچک آبریز شمال شرقی کشور پرداختند و مقدار خطا نسبت به دبی رسوب مشاهده‌شده را ٪۲۹ به دست آوردند که این میزان خطا، بیانگر دقت مناسب این روش در تخمین میزان دبی رسوب می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

اندازه‌گیری مقدار فرسایش و رسوب به دلایل فنی، حفاظتی و اقتصادی در تمامی نقاط امکان‌پذیر نمی‌باشد. ازاین‌رو مناسب‌ترین راهکار، برآورد مقدار فرسایش و تولید رسوب از طریق روابط یا مدل‌های تجربی است که لازمه آن آگاهی از مکانیزم‌های فرسایش و عوامل مؤثر بر آن و داده‌های مناسب برای ارائه یک برآورد کمی است. از طرفی انتخاب مدل مناسب برای هر منطقه مستلزم ارزیابی دقت آن از طریق مقایسه نتایج حاصل از به‌کارگیری آن با مقادیر اندازه‌گیری شده در یک حوزه آبریز می‌باشد. در مطالعه حاضر جهت برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب از دو مدل پتانسیل فرسایش و روش فورنیه استفاده شد. نتایج نشان داد که وضعیت فرسایش منطقه حوزه بابلرود در کلاس متوسط قرار دارد و انجام اقدامات آبخیزداری و حفاظت خاک در این حوزه ضروری است. بیشترین شدت فرسایش در زیرحوزه X_1 قرار دارد که دلیل اصلی آن وجود اراضی غیرقابل کشت در ناحیه شمالی حوزه و سازندهای خاکی فرسایش‌پذیر مانند خاک‌های آبرفتی و مردابی است. همچنین نواحی جنوبی حوزه به دلیل لایه سنگ‌های سخت و شیل و پوشش‌های جنگلی و کوهستانی کمتر در معرض فرسایش‌پذیری قرار گرفتند. مقایسه نتایج این مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده دو ایستگاه رسوب‌سنجی حوزه آبریز بابلرود بیانگر دقت مطلوب روش پتانسیل فرسایش و خطای فراوان روش فورنیه در برآورد شدت فرسایش و رسوب تولیدشده می‌باشد.

با توجه به اینکه حوزه آبریز بابلرود از زیرحوزه‌هایی است که بر با شدت فرسایش گوناگون تشکیل یافته است و در کل در طبقه متوسط شدت فرسایش جای دارد، انجام اقدامات حفاظت مکانیکی و غیرمکانیکی توصیه می‌گردد. به‌منظور حفاظت غیر مکانیکی از سطح حوزه اقداماتی از قبیل کاربری درست اراضی، حفاظت خاک از طریق مدیریت زراعی، انجام شخم مناسب، استقرار پوشش گیاهی مناسب و گذاشتن بقایای گیاهی در زمین را می‌توان نام برد. استفاده از تکنیک‌های جدید کشت و زرع مانند مکانیزه کردن کشاورزی، استفاده از انواع بهتر گیاهان و کود دادن می‌تواند در استفاده صحیح از زمین به‌منظور رشد بهتر گیاه مؤثر باشد. عملیات شخم‌زنی نیز نفوذپذیری را افزایش داده و در نتیجه از میزان رواناب کاسته می‌شود. برای کنترل فرسایش گاهی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

اقدام به کشت گیاهان پوشش‌دهنده می‌کنند. این گیاهان برای حفاظت از سطح خاک در مقابل فرسایش، در زمین زیر درخت‌ها و یا در فاصله برداشت یک محصول تا کاشت محصول دیگر کاشته می‌شود. همچنین برای کنترل فرسایش و پایین آوردن کلاس فرسایش در حوضه، پیشنهاد می‌گردد که از اقدامات مکانیکی و بیولوژیکی استفاده شود. اقدامات مکانیکی شامل احداث دیواره‌های حائل و تثبیت توده‌های لغزشی است. از اقدامات بیولوژیکی می‌توان طرح کنترل تعادل دام و مرتع در حوضه و جلوگیری از ایجاد هرزآب را نام برد.

منابع

احمدی، حسن. (۱۳۷۴). **ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)**، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۰۱-۵۵۷.

بیات، رضا. (۱۳۸۷). **بررسی کارایی مدل‌های MPSIAC و EPM در برآورد رسوب حوزه طالقان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

پروین، منصور. (۱۳۹۸). **شناسایی مناطق مستعد فرسایش خاک با استفاده از روش اولویت‌بندی مورفومومتریک اصلاح شده و میزان تولید رسوب (مطالعه موردی حوضه کامیاران)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی.

جعفرزاده اسطلخ کوهی، علیرضا؛ رضایی، پرویز. (۱۳۹۶). **برآورد فرسایش خاک در حوزه سفیدرود با تأکید بر نقش لندفرم‌ها**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۴۴): ۲۰۱-۲۲۱.

رجبی، علی‌محمد؛ یاوری، عادل؛ سلوکی، حمیدرضا. (۱۳۹۸). **کاربرد مدل EPM در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی، حوزه شازند، سد ساوه)**، نشریه زمین‌شناسی ایران، ۱۳ (۵۰): ۸۹-۹۸.

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۷۵). **فرسایش آبی و کنترل آن**، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۲۹۸، تهران، ۲۳۵-۲۷۱.

علیزاده، امین. (۱۳۷۴). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۳۱۴-۳۵۴.

کریمی‌آذر، سهیل. (۱۳۸۳). **برآورد شدت فرسایش و رسوب با استفاده از روش پتانسیل فرسایش**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

نبی‌پی لشکریان، سعید؛ عرب خدری، محمود؛ شادفر، صمد. (۱۳۹۷). سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت پایش و ارزیابی منابع و مدیریت آنها در حوزه‌های آبخیز، تهران، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

Bagherzadeh, A. & Daneshvar, M. R. M. (2011), **Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region**. Frontiers of Earth Science,5(2), 207–216.

Batista, P. V. G. Silva, M. L. N. Silva, B. P. C. Curi, N. Bueno, I. T. Acérbi Júnior, F. W. Quinton, J. (2017), **Modelling spatially distributed soil losses and sediment yield in the upper Grande River Basin** - Brazil. CATENA, 157, 139–150.

Fournier, F. (1962), **Map of erosion danger in Africa south of the Sahara, Commission for technical cooperation in Africa**, European economic Community, Paris, France.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]

Ganasri, B. P. & Ramesh, H. (2016), **Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin**. Geoscience Frontiers, 7(6), 953–961.

Gavrilovic, Z. (1988), **The Use of an Empirical Method for Calculating Sediment Production and Transport in Unsuited or Torrential Streams**. International Con. for Review Regime, 411-422.

Kidane, M. Bezie, A. Kesete, N., & Tolessa,. (2019), **The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia**. Heliyon, 5(12).

Lin, C.Y. Lin, W.T. Chou, W.C. (2002), **Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience**. Soil and Tillage Research 68, 143–152.

Noori, H. Siadatmousavi, S. M. & Mojaradi, B. (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.

Pijl, A. Reuter, L. E. H. Quarella, E. Vogel, T. A. & Tarolli, P. (2020), **GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices**. CATENA, 193, 104604.

Pourhosein, M. Afzalimehr, H. Singh, V. P. Dehghani, A. (2015), **Evaluation of Bed Load in a Gravel-Bed River**, International Journal of Hydraulic Engineering, 4(3): 70-79.

Singh, G. & 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**. International Soil and Water Conservation Research, 5(3), 202–211.

Shrimali, S.S. Aggarwal, S.P. Samra, J.S. (2001), **Prioritizing erosionprone areas in hills using remote sensing and GIS—a case study of the Sukhna Lake sub-catchment**, Northern India. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 3, 54–60.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.167.0]
[DOI: 10.61186/jgs.23.71.303]