

مدل رگرسیونی برآورد رسوبدهی سالانه آبخیزهای کوچک در استان آذربایجان غربی

ابراهیم بروشکه، مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی
محمود عرب‌خدری^۱، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۰۴

چکیده

برآورد رسوبدهی حوضه‌های کوچک در برنامه‌های آبخیزداری ضروری است، ولی تقریباً تمام آن‌ها فاقد ایستگاه رسوب‌سنجی می‌باشند. در این پژوهش با هدف تعیین حدود رسوبدهی ویژه این‌گونه آبخیزها و ارائه مدل رگرسیونی برآورد رسوبدهی سالانه در استان آذربایجان غربی، میزان رسوب کل تولید شده از ۲۵ آبخیز کوچک از طریق رسوب‌سنجی مخازن در پشت سدهای رسوب‌گیر اندازه‌گیری شد. آبخیزها با وسعت ۲۹ تا ۱۲۰۰ هکتار و با شرط سرریز نشدن رسوب در آخرین سد رسوب‌گیر در هر آبخیز و تنوع از نظر لیتولوژی، کاربری اراضی و اقلیمی انتخاب شدند. رسوبدهی ویژه، تفاوت یک‌صد برابری بین دو حد ۰/۱۲ تا ۱۲ مترمکعب در هکتار در سال را در این حوضه‌ها نشان داد. ولی متوسط وزنی رسوبدهی نسبتاً پایینی معادل ۱/۳ مترمکعب در هکتار در سال برای کل حوضه‌ها به‌دست آمد. مطالعه رابطه بین رسوبدهی سالانه و ویژگی‌های آبخیزهای مورد مطالعه از طریق ماتریس هم‌بستگی نشان داد که رسوبدهی به‌طور معنی‌داری از عوامل فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی، وسعت آبخیز، حجم بارش و کاربری تاثیر می‌پذیرد. براساس مقایسه مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای از میان مدل‌های رگرسیونی که توسعه داده شد؛ رابطه‌ای با شرکت متغیرهای مستقل مساحت و فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی با ضریب تعیین بالا ($R^2=0/899$) انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: حوزه‌های کوچک، رسوب ویژه، رسوب‌سنجی مخازن، کاربری اراضی، هم‌بستگی

مقدمه

فرسایش موجب از بین رفتن خاک حاصلخیز سطحی، انباشت رسوبات در مخازن سدها و کاهش کارایی نهرهای آبیاری و سایر سازه‌های هیدرولیکی شده و خسارت جبران ناپذیر اقتصادی وارد می‌آورد. آگاهی از میزان تولید رسوب آبخیزها و بررسی رسوبدهی رودخانه‌ها در شناسایی مناطق بحرانی به ما کمک می‌کند. در اکثر ایستگاه‌های رسوب‌سنجی معمولاً داده‌های مشاهداتی به اندازه‌گیری در جریان‌های پایه محدود هستند. این نوع داده‌ها، نمی‌توانند معرف مقدار رسوب آبخیز که عمدتاً در هنگام جریان‌های سیلابی و بالا منتقل می‌شوند؛ باشند (عرب‌خدری، ۱۳۹۰). برای برآورد رسوب در مناطق فاقد ایستگاه به ناچار از مدل‌ها استفاده می‌شود. اصولاً برآورد نرخ فرسایش و رسوبدهی برای حوضه‌های بدون ایستگاه در مقایسه با برآورد دبی جریان چندین برابر سخت‌تر ارزیابی شده است (De Boer و همکاران، ۲۰۰۳). مدل‌های فرآیندی نیاز به داده‌های زیادی دارند که کمتر در دسترس است. کاربرد مدل‌های تجربی در مکان‌های دیگری که از نظر شرایط اقلیمی، توپوگرافی و مدیریتی تفاوت دارند؛ بدون واسنجی توصیه نمی‌شود.

رسوب‌سنجی مخازن بندها روشی مناسب و عملی برای آگاهی از محدوده رسوبدهی آبخیزهای کوچک و ایجاد اطلاعات پایه مورد نیاز برای واسنجی مدل‌های تجربی و حتی توسعه مدل‌های جدید است. پژوهش‌های متعددی در این زمینه به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام شده است که نتایج تعدادی از آن‌ها از جنبه‌های گوناگون مرور می‌شود. نوع مخازن انتخابی از مطالعه‌ای به مطالعه دیگر به‌ویژه از نظر امکان عبور رسوب تفاوت دارد. هاشمی و عرب‌خدری (۱۳۸۹) رسوبات نهشته شده در مخزن نه بند خاکی در استان سمنان با بارش حدود ۲۰۰ میلی‌متر را که

^۱ نویسنده مسئول: Mahmood.arabkhedri@gmail.com

براساس شواهد هیچ‌گونه رسوبی از آن‌ها سرریز نکرده بود؛ حجم‌سنجی کردند. حجم زیاد مخزن در مقایسه با پتانسیل تولید رواناب آبخیز بالادست، دلیل عدم سرریز گزارش شده است. Mahmoudzadeh و همکاران (۲۰۰۲) نیز مقدار رسوب‌دهی ویژه متوسط ۱۲ حوضه کوچک در نیوساوت‌ولز استرالیا که هر یک دارای بندی در انتها بود؛ اندازه‌گیری کردند. با این تفاوت که به‌دلیل بارش سالانه حدود ۷۰۰ میلی‌متری منطقه و کوچک بودن مخزن بندها (۴۵ تا ۵۸۹۸ مترمکعب) وقوع سرریز و خارج شدن بخشی از رسوب حتمی بود. به این خاطر در محاسبه کل رسوب، ضریب تله‌اندازی لحاظ شد. در مقابل، Martin-Rosales و همکاران (۲۰۰۳) رسوبات ۷۲ سد سنگ و سیمان، ۲۹ سد گابیونی و شش سد بتونی را در منطقه‌ای نیمه‌خشک با اقلیم مدیترانه‌ای در جنوب اسپانیا اندازه‌گیری کرده‌اند. ارتفاع بندها بین سه تا ۱۴ متر و طول بلندترین سد ۴۵ متر گزارش شده است. حداقل و حداکثر رسوب‌دهی حوضه بندها در این منطقه از حدود صفر تا ۲۱۰۰ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال تفاوت داشت. با توجه به احتمال عبور و یا سرریز رسوبات ریزدانه به‌ویژه از سدهای گابیونی، رسوبات ۱۰۷ فقره سد اصلاحی در ۱۶ آبخیز بزرگ‌تر جمع شد. به‌طوری‌که در برخی از حوضه‌ها تا ۲۰ سد در مسیر آبراهه‌ها، به طور مشترک انبارش رسوبات را به عهده داشتند. با این همه، محققین اذعان داشتند که بخشی از رسوبات به‌ویژه نوع معلق از سدها عبور کرده است.

از دیدگاه عمر سدهای انتخابی در پژوهش‌های مرتبط با برآورد رسوب‌دهی آبخیزهای کوچک، تفاوت‌هایی ملاحظه می‌شود. در آبخیزهای آزمایشی Walnut Gulch واقع در جنوب ایالت آریزونا ایالات متحده آمریکا، Nichols (۲۰۰۶) متوسط درازمدت (۳۰ تا ۴۷ سال) رسوب‌دهی سالانه هشت زیرحوزه را با رسوب‌سنجی مخازنی که با هدف جمع‌آوری آب شرب دام احداث شده بود، مشخص کرد. در پژوهش Mahmoudzadeh و همکاران (۲۰۰۲) که با هدف بررسی رابطه نوع کاربری و نرخ تولید رسوب و بررسی کارایی سه مدل متداول برآورد فرسایش در نیوساوت‌ولز استرالیا انجام گرفت؛ عمر سدها بین چهار تا ۳۱ سال بود. در مطالعه هاشمی و عرب‌خدری (۱۳۸۹) نیز که با هدف ارزیابی کارایی یک مدل برآورد رسوب‌دهی انجام گرفت، عمر سدها در تمام موارد ۱۰ سال بود. بدیهی است عمر هر چه بیشتر سازه، متضمن رسیدن به میانگین طولانی مدت‌تر و واقعی‌تر می‌باشد.

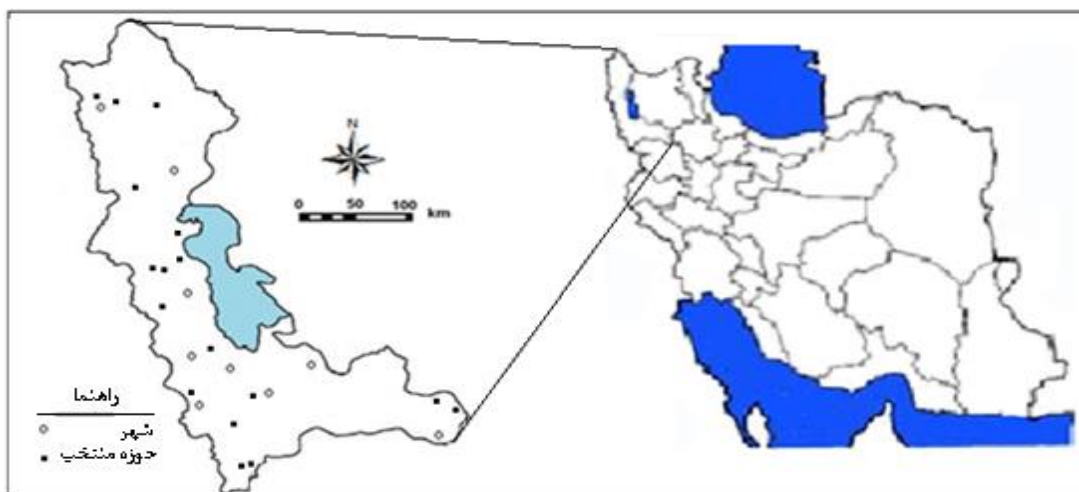
از نظر نوع عوامل موثر بر رسوب‌دهی حوضه‌ها، بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. Martin-Rosales و همکاران (۲۰۰۳) در شرایط اقلیم مدیترانه‌ای جنوب اسپانیا سه عامل مساحت آبخیز، زمین‌شناسی و کاربری را بر رسوب‌دهی موثر دانسته‌اند. Nichols (۲۰۰۶) با تحلیل رگرسیونی نشان داد که حجم رواناب و نسبت مساحت حوزه به طول آبراهه اصلی، تغییرات رسوب‌دهی را از حوضه‌ای به حوضه دیگر کنترل می‌کند. Bellin و همکاران (۲۰۱۱) ملاحظه کردند که ۶۷ درصد از تغییرات رسوب‌دهی ویژه، تابعی از مساحت آبخیز، ویژگی‌های خاک، پوشش زمین، شیب متوسط حوزه و بارش سالانه می‌باشد. Mahmoudzadeh و همکاران (۲۰۰۲)، با توجه به اختلاف مقدار رسوب‌دهی ویژه متوسط حوضه‌های کشاورزی، مرتعی و جنگلی (از حدود یک تا سه تن در هکتار در سال)، نقش کاربری در تولید رسوب را بسیار مهم ذکر کرده‌اند. Kouhpeima و همکاران (۲۰۱۰) با رسوب‌سنجی دو بند در استان سمنان و تجزیه نمونه‌های خاک سطحی انواع سازندهای زمین‌شناسی موجود در آبخیز بالادست، به روش انگشت‌نگاری ثابت کردند که رسوب‌دهی سازندها از زیر یک تا بیش از ۱۰ تن در هکتار در سال تفاوت بوده (با اختلاف بیش از ۶۴ برابر) و عامل تعیین‌کننده در اختلاف بین تولید رسوب این دو حوضه است.

اقدامات آبخیزداری از قبیل سازه‌های رسوب‌گیر در سطح استان آذربایجان غربی در دهه‌های اخیر صورت گرفته و برنامه‌های گسترده‌ای برای سال‌های آینده وجود دارد. اغلب سرشاخه‌ها و مسیل‌ها که در برنامه‌های آبخیزداری مورد نظر هستند؛ فاقد ایستگاه اندازه‌گیری رسوب می‌باشند. این پژوهش، با هدف تعیین محدوده رسوب‌دهی ویژه آبخیزهای کوچک در استان بر اساس رسوب‌سنجی بندها و ارائه مدل‌های تجربی برآورد مقدار تولید رسوب سالانه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

روش پژوهش: در این پژوهش ۲۵ آبخیز کوچک در سطح استان آذربایجان غربی که دارای سد رسوب‌گیر بودند؛ انتخاب شد (شکل ۱). با دیدگاه پوشش طیف گسترده‌تری از حوزه‌ها از نظر کاربری، اقلیم، لیتولوژی و توپوگرافی،

حداقل سن سدها، چهار سال در نظر گرفته شد. تنوع در مساحت حوضه‌ها (۲۹ تا ۱۲۱۴ هکتار) و پراکنش آن در هر سه قسمت شمالی، مرکزی و جنوبی استان به عنوان دو ویژگی مثبت قابل طرح هستند. در آبراهه‌های تمام این حوضه‌ها، ترکیبی از سازه‌های رسوب‌گیر از قبیل بندهای بتونی، سنگ و ملات، گابیونی، خشکه‌چین و چپری در قالب برنامه‌های آبخیزداری احداث شده بودند. در مجموع رسوبات مخزن ۲۵۶ بند در قالب این پژوهش حجم‌سنجی شد. تعداد سدهای اصلاحی در آبخیزهای مورد مطالعه از حداقل سه در حوزه سیلوه تا حداکثر ۲۶ در حوضه گردنه قوشچی تفاوت داشت که به صورت متوالی در روی آبراهه اصلی و حتی سرشاخه‌ها ساخته شده بودند. در تمام موارد یا رسوبی در پایین‌ترین بند (محل خروجی) که معمولاً از نوع بتونی و یا سنگ و ملات بودند؛ مشاهده نشد و یا رسوب آنقدر کم بود که اطمینان کافی از خارج نشدن رسوب حاصل شد.



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های منتخب در سطح استان آذربایجان غربی

رسوب انباشته شده در پشت سدهای رسوب‌گیر، مساحی و حجم‌سنجی شد. به این منظور علاوه بر اقدامات نقشه‌برداری، پروفیل‌هایی نیز برای تعیین عمق رسوبات در محل‌های از پیش تعیین شده حفر شد. در نهایت حجم کل رسوب هر سازه به مترمکعب محاسبه شد. در مرحله بعد، متناسب با سن سازه و مساحت آبخیز، میانگین رسوب‌دهی کل سالانه (مترمکعب بر سال) و میانگین رسوب‌دهی ویژه سالانه (مترمکعب بر هکتار بر سال) به دست آمد. به منظور توسعه مدل برآورد رسوب‌دهی سالانه، ۱۳ پارامتر موثر بر فرسایش و تولید رسوب در چهار دسته کلی فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و هواشناسی که از نقشه‌های موجود و یا به روش پیمایش صحرایی قابل وصول بودند به عنوان متغیرهای مستقل اندازه‌گیری شدند.

نوع سازند زمین‌شناسی و واحدهای لیتولوژی تشکیل دهنده و مساحت آن‌ها در هر حوضه، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و پیمایش صحرایی تعیین شد. با کوچک‌تر شدن سطح آبخیز، ضرورت تکیه بیشتر به پیمایش صحرایی احساس شد؛ چه نقشه‌های رسمی موجود به دلیل مقیاس کوچک فاقد صحت و دقت کافی برای استخراج داده بودند. در حوضه‌های خیلی کوچک طبیعتاً تنوعی در سازند زمین‌شناسی دیده نمی‌شد و فقط تشخیص نوع واحدهای لیتولوژی که در آن آبخیز برونزد داشت؛ مورد توجه قرار گرفت. در حوضه‌هایی که امکان تفکیک واحدهای لیتولوژی مختلف فراهم نشد؛ انواع واحدها به ترتیب اهمیت نوشته شد (جدول ۱). حساسیت هر یک از واحدهای لیتولوژی بر اساس راهنمای ارائه شده توسط فیض‌نیا (۱۳۷۴) بین صفر تا ۱۰ تعیین شد. در نهایت، امتیاز وزنی حساسیت سنگ‌ها به فرسایش متناسب با درصد گسترش هر یک محاسبه شد. انواع کاربری و مساحت تقریبی هر یک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش صحرایی تخمین زده شد (جدول ۱). در ادامه امتیاز یک برای جنگل، دو برای مرتع و سه برای دیم در نظر گرفته شد و متناسب با درصد مساحت تقریبی هر کاربری، امتیاز وزنی محاسبه شد. این روش امتیازدهی برای تبدیل متغیرهای اسمی به کمی معمول است (Verstraeten و همکاران، ۲۰۰۳).

جدول ۱- انواع واحدهای لیتولوژی و کاربری‌ها به تفکیک حوضه‌ها (به ترتیب سهم در مساحت)

ردیف	نام حوضه	انواع لیتولوژی *	نوع کاربری
۱	خری	ماسه‌سنگ؛ کنگلومرا با تناوب مارن و شیل	مرتع و دیم
۲	امام کندی	شیل؛ آهک	مرتع
۳	غرب قره آغاچ	تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و شیل؛ کنگلومرای ائوسن	دیم و به‌ندرت مرتع
۴	شمال قره آغاچ	تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن و شیل؛ کنگلومرای ائوسن	مرتع و دیم
۵	خلیان	ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل؛ کنگلومرای ائوسن؛ آهک اولیگو میوسن	مرتع و دیم
۶	تاریمیش	مخلوط افیولیتی	مرتع
۷	فیشل قره قوین	شیل تریاس؛ آهک تریاس	مرتع و دیم
۸	جنوب زاویه بالا	آمیزه رنگی	مرتع
۹	شمال زاویه بالا	آمیزه رنگی	مرتع و دیم
۱۰	غرب ریحانلو	مارن سبز و ماسه‌سنگ؛ سنگ آهک و کنگلومرا	دیم و بعضاً مرتع
۱۱	جنوب ریحانلو	مارن سبز و ماسه‌سنگ	دیم و به‌ندرت مرتع
۱۲	گردنه قوشچی	کمپلکس آتشفشانی؛ دیوریت و گرانودیوریت	مرتع و دیم
۱۳	گوله گوله (۱)	کلی استون، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرا	مرتع
۱۴	گوله گوله (۲)	کلی استون، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرا	مرتع و دیم
۱۵	آلوجه لوی (۱)	مارن سبز و مارن ماسه‌ای	مرتع و دیم
۱۶	آلوجه لوی (۲)	مارن سبز و مارن ماسه‌ای	مرتع و دیم
۱۷	نرسیده به آلوجه لو	تناوب مارن، کنگلومرا و مارن سبز ماسه‌ای؛ مارن ماسه‌ای	اغلب مرتع
۱۸	ربط	فیلیت؛ آهک پرمین	مرتع و دیم
۱۹	اشترمل	فیلیت؛ مرمر	جنگل
۲۰	قلات منگور	هورنفلس؛ گرانیت	مرتع و دیم
۲۱	سیلوه	سنگ آهک کرتاسه	مرتع
۲۲	کولبیج	آمفیبولیت؛ آهک پرمین	مرتع و دیم
۲۳	حلبی	سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی، کمی دولومیت، عدسی‌های لاتریتی؛ گرانیت	مرتع و دیم
۲۴	قاضی (۱)	شیل با میان لایه‌های ولکانیکی	مرتع و بعضاً دیم
۲۵	قاضی (۲)	شیل با میان لایه‌های ولکانیکی	دیم و به‌ندرت مرتع

* واحدهای سنگ‌شناسی مجزا با علامت (۴) و واحدهای مخلوط با علامت (۵) تفکیک شده‌اند.

برای تعیین متغیرهای فیزیوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استفاده شد. ابتدا مرز ۲۵ حوضه روی نقشه‌های توپوگرافی مذکور در محیط GIS پیاده شد. در هر حوضه، متغیرهایی مشتمل بر مساحت، محیط، قطر یا بلندترین طول، ارتفاع حداکثر، ارتفاع خروجی، ارتفاع متوسط و شیب متوسط سطح حوضه اندازه‌گیری شد. همچنین طول و شیب آبراهه اصلی و تراکم زهکشی نیز تعیین شد. بارش متوسط سالانه نیز براساس روابط ارتفاع و بارش (جاماب، ۱۳۷۸) و با اتکا به خطوط تراز نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ به دست آمد. پس از استخراج کلیه داده‌های مورد نظر، نرمال بودن توزیع هر یک با استفاده از آزمون‌های متداول در محیط SPSS بررسی و در صورت عدم انطباق، با لگاریتم‌گیری اصلاح شد. پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، رابطه بین متغیرها با استفاده از ماتریس هم‌بستگی بررسی شد. با شناسایی عواملی که بر رسوب‌دهی موثر بوده و در عین حال با سایر پارامترهای مستقل هم‌بستگی کمتر از ۵ درصد داشتند؛ با استفاده از روش رگرسیون گام به گام، مدل ریاضی برآورد رسوب‌دهی استخراج شد.

نتایج و بحث

تعدادی از مشخصات آبخیزهای منتخب و مقادیر رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده در جدول ۲ ملاحظه می‌شود. کمترین و بیشترین مقادیر رسوب‌دهی ویژه به ترتیب ۰/۱۲ و ۱۱/۹۹ با میانگین ۰/۹۲ و میانگین حسابی ۲/۱۱ مترمکعب در سال در هکتار است. هم‌پوشانی نداشتن مساحت ۲۵ آبخیز اصلی این فرصت را به وجود آورد که متوسط رسوب‌دهی

ویژه کل آبخیزها از تقسیم مجموع میانگین سالانه حجم رسوب نهشته شده در مخزن ۲۵۶ بند به کل مساحت ۲۵ حوضه معادل ۱/۳۱ مترمکعب در هکتار در سال محاسبه شود. نزدیک تر بودن این عدد به میانه نسبت به میانگین، موید نرمال نبودن توزیع آماری داده‌های رسوب‌سنجی است. به عبارت دیگر در شرایطی که امکان متوسط‌گیری واقعی از رسوب‌دهی یک منطقه وجود ندارد؛ استفاده از میانه رسوب‌سنجی‌های موجود بر میانگین حسابی اولویت دارد. Boardman (۱۹۹۸) نیز استفاده از میانه را توصیه کرده است. در شرایط آبخیزهای رسوب‌سنجی شده آذربایجان غربی در مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از میانه تا حدی سبب کم‌برآوردی بشود. با فرض وزن مخصوص ۱/۴ تن بر متر مکعب برای رسوبات، میانه رسوب‌دهی ویژه معادل ۱/۳ تن در هکتار قابل محاسبه است. عدد رسوب‌دهی برآورد شده مشتمل بر دو نوع بار کف و معلق است. مقایسه این رقم با میانه رسوب‌دهی معلق ۳۰ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز دریاچه ارومیه یعنی ۱/۹ تن در هکتار (عرب‌خدری و همکاران، ۱۳۸۸)، حاکی از بالاتر بودن نرخ رسوب‌دهی در حوزه‌های بزرگ‌تر در مقایسه با سرشاخه‌ها است. مقدار کم رسوب‌دهی در حوزه‌های مناطق نیمه‌خشک اسپانیا نیز گزارش شده است (Sougnez و همکاران، ۲۰۱۰).

با بررسی ماتریس هم‌بستگی، میزان هم‌بستگی بین ویژگی‌های مستقل آبخیزها و رسوب‌دهی متوسط سالانه و همین‌طور هم‌بستگی‌های داخلی آن‌ها مشخص شد. فاکتور لگاریتم فرسایش‌پذیری سنگ‌ها در سطح یک درصد و لگاریتم عامل مساحت در سطح پنج درصد هم‌بستگی معنی‌داری با لگاریتم رسوب‌دهی متوسط سالانه نشان دادند. چند عامل ترکیبی نیز ساخته شد که از میان آن‌ها، رابطه لگاریتم حاصل‌ضرب فرسایش‌پذیری سنگ در امتیاز کاربری در سطح یک‌درصد و لگاریتم حجم بارش سالانه (حاصل‌ضرب مساحت در ارتفاع بارش سالانه) و توان دوم و سوم کاربری در سطح پنج درصد با لگاریتم رسوب‌دهی متوسط سالانه معنی‌دار بودند. همه فاکتورهای فوق اثر مثبت بر رسوب‌دهی متوسط سالانه داشتند.

با توجه به هم‌بستگی متغیرهای مساحت و حجم بارش سالانه با یکدیگر، در هر مدل‌سازی فقط به یکی از آن‌ها اجازه ورود داده شد. چه شرکت هم‌زمان آن‌ها در یک مدل، ناقض استقلال متغیرهای مستقل است. سایر متغیرهایی که فاقد هم‌بستگی معنی‌دار با رسوب‌دهی بودند نیز در مدل‌سازی مورد توجه قرار گرفتند. زیرا در برخی از شرایط اثر متقابل بین آن‌ها ممکن است بر متغیر وابسته معنی‌دار باشد. نهایتاً چند مدل رگرسیونی برای برآورد رسوب‌دهی سالانه توسعه داده شد. مدلی با حضور عامل فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی و مساحت آبخیز، بالاترین ضریب تعیین ($R^2=0.756$) را نشان داد (رابطه ۱).

$$\text{Log}Q_s = -1.640 + 0.745(\text{Log}A) + 3.099(\text{Log}G) \quad (1)$$

که در آن، Q_s رسوب سالانه به مترمکعب، A مساحت آبخیز به هکتار و G امتیاز فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی می‌باشد.

در مدل‌های دیگر، عواملی نظیر حجم بارش و کاربری نیز حضور پیدا کردند؛ ولی به دلیل ضریب تعیین کمتر ($R^2 \leq 0.671$) و اشتباه استاندارد بیشتر، مورد قبول قرار نگرفتند. مقایسه مقادیر برآوردی با رابطه (۱) و مشاهده‌ای نشان داد که به غیر از حوضه قلات‌منگور که بیش‌برآوردی بالغ بر ۵۰۰ درصد را نشان می‌دهد؛ درصد خطا اکثراً در محدوده یک برابر بیش‌برآورد و کم‌برآورد قرار دارد. در این آبخیز دوره رسوب‌سنجی فقط چهار سال است و احتمال متفاوت بودن آن با میانگین درازمدت وجود دارد. بنابراین، با حذف این آبخیز، رابطه (۲) برای ۲۴ ایستگاه باقی‌مانده توسعه داده شد. در این رابطه که ضریب تعیین بالاتری ($R^2=0.899$) نیز دارد؛ همان دو فاکتور مساحت و زمین‌شناسی ولی با ضرایبی متفاوت حضور دارند. خطای این مدل در محدوده ۵۳- تا ۱۰۹ درصد قرار دارد.

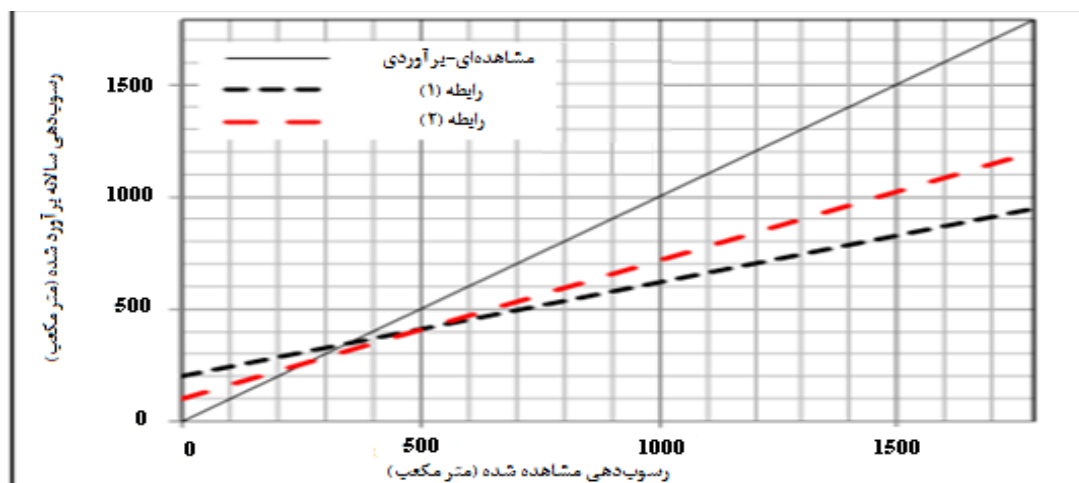
$$\text{Log}Q_s = -2.342 + 0.894(\log A) + 3.667(\log G) \quad (2)$$

جدول ۲- برخی مشخصات آبخیزهای انتخابی و نتایج رسوب‌سنجی بندها

رسوب‌دهی وئزه سالانه ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$)	حجم کل رسوب رسوب سالانه رسوب (m^3)	حجم رسوب رسوب سالانه رسوب (m^3)	حجم کل رسوب رسوب سالانه رسوب (m^3)	امتیاز حسابیت سنگ‌شناسی	امتیاز حسابیت سنگ‌شناسی	بارش متوسط ($mm \cdot y^{-1}$)	میانگین بارش متوسط ($mm \cdot y^{-1}$)	حدائق ارتفاع حوضه	حدائق ارتفاع حوضه	حداکثر ارتفاع حوضه	تراکم زهکشی ($km \cdot km^{-2}$)	شیب اصلی (%)	شیب اصلی (%)	طول آبراهه اصلی (m)	طول آبراهه اصلی (m)	شیب حوضه (%)	شیب حوضه (%)	قطر شیب حوضه (m)	مساحت حوضه (ha)	نام حوضه	ردیف
۰/۲۷۷	۳۱۸	۲۸۶	۴۱۸	۳/۰	۳/۰	۴۱۸	۱۵۷۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰	۱/۸۵۵	۱۰/۹	۱۹۲۳	۱۳۱۵	۵۰۸۲	۱۱۲/۷	۱۳۱۵	۲۴۵۰	۵۰۸۲	۱۱۲/۷	۱ خری
۱/۱۷۳	۱۹۹/۴	۹۹۷	۳۴۷	۶/۰	۶/۰	۳۴۷	۱۴۱۰	۲۲۳۰	۲۲۳۰	۲۲۳۰	۲/۰۳	۲۰/۹	۲۲۸۴	۳۲۱۶	۲۵۱۴	۶۶۳۰	۳۲۱۶	۲۵۱۴	۶۶۳۰	۱۷۰/۰	۲ امام کندی
۰/۴۶	۹۰/۷	۸۱۶	۳۵۵	۴/۰	۴/۰	۳۵۵	۱۷۹۰	۲۳۸۰	۲۳۸۰	۲۳۸۰	۱/۸۹	۱۲/۳	۳۷۲۶	۱۴۷/۰	۴۰۰۲	۸۶۳۸	۱۴۷/۰	۴۰۰۲	۸۶۳۸	۱۹۷/۰	۳ غرب قره آغاج
۴/۴۷۹	۵۵۷/۶	۵۰۱۸	۳۵۵	۷/۰	۷/۰	۳۵۵	۱۸۸۰	۲۳۲۰	۲۳۲۰	۲۳۲۰	۲/۰۶	۱۳/۷	۱۰۲۴	۲۵۰۰	۱۷۶۰	۴۷۸۵	۲۵۰۰	۱۷۶۰	۴۷۸۵	۱۲۴/۲	۴ شمال قره آغاج
۰/۱۷۱	۱۳۹/۸	۸۳۹	۳۶۰	۲/۵	۲/۵	۳۶۰	۱۷۳۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۲۴۰۰	۱/۴۷	۷/۳	۵۰۷۷	۱۲۱۵	۵۳۷۴	۱۳۲۱۱	۱۲۱۵	۵۳۷۴	۱۳۲۱۱	۸۱۷/۵	۵ خلیان
۲/۰۹۸	۱۳۵/۲	۶۷۶	۳۹۰	۶/۰	۶/۰	۳۹۰	۲۲۴۰	۲۵۸۰	۲۵۸۰	۲۵۸۰	۳/۲۳	۹/۶	۲۰۸۱	۱۷۱۸	۱۹۰۵	۴۲۳۲	۱۷۱۸	۱۹۰۵	۴۲۳۲	۶۴/۴	۶ تاریمیش
۳/۹۵۵	۷۰۸/۰	۳۵۴۰	۳۸۰	۶/۵	۶/۵	۳۸۰	۱۶۲۰	۲۲۲۰	۲۲۲۰	۲۲۲۰	۱/۵۳	۱۴/۴	۳۷۰۷/۵	۲۰۰۴	۲۹۴۱	۶۷۱۹	۲۰۰۴	۲۹۴۱	۶۷۱۹	۱۷۷/۲	۷ فیصل قره قوین
۰/۴۰۳	۳۳/۰	۱۶۵	۳۲۴	۴/۰	۴/۰	۳۲۴	۱۸۸۰	۲۳۲۳	۲۳۲۳	۲۳۲۳	۲/۸۵	۱۴/۱	۱۵۶۰	۲۱۱۳	۲۰۹۰	۴۷۲۲	۲۱۱۳	۲۰۹۰	۴۷۲۲	۸۱/۹	۸ جنوب زاویه بالا
۳/۹۰۶	۱۱۳/۲	۵۶۶	۳۲۴	۸/۵	۸/۵	۳۲۴	۱۹۲۰	۲۱۵۰	۲۱۵۰	۲۱۵۰	۴/۲۶	۱۲/۹	۱۳۳۸	۱۳۱۹	۱۶۵۰	۳۰۳۴	۱۳۱۹	۱۶۵۰	۳۰۳۴	۲۹/۰	۹ شمال زاویه بالا
۵/۷۵۵	۷۶۰/۹	۵۳۲۶	۳۷۰	۸/۰	۸/۰	۳۷۰	۱۸۵۰	۲۳۰۵	۲۳۰۵	۲۳۰۵	۲/۱۴	۱۳/۷	۱۹۷۰	۱۶۳۳	۳۷۸۰	۵۴۷۹	۱۶۳۳	۳۷۸۰	۵۴۷۹	۱۳۲/۲	۱۰ غرب ریحانلو
۱۱/۹۹۴	۱۷۲۱/۲	۱۰۲۲۷	۳۷۰	۹/۰	۹/۰	۳۷۰	۱۸۴۰	۲۰۷۶	۲۰۷۶	۲۰۷۶	۱/۶۸	۴/۹۶	۲۴۱۵	۱۰۱۸	۲۱۷۶	۶۶۹۸	۱۰۱۸	۲۱۷۶	۶۶۹۸	۱۴۳/۵	۱۱ جنوب ریحانلو
۰/۸۱۱	۴۵/۴	۳۶۳	۳۰۱	۵/۰	۵/۰	۳۰۱	۱۷۶۰	۲۰۷۰	۲۰۷۰	۲۰۷۰	۲/۸۹	۶/۱	۱۶۲۰	۱۶۱۶	۱۸۷۰	۳۵۷۰	۱۶۱۶	۱۸۷۰	۳۵۷۰	۵۵/۹	۱۲ گردنه قوشچی
۰/۱۹۱	۲۴/۵	۱۴۷	۳۵۲	۳/۵	۳/۵	۳۵۲	۲۱۰۰	۲۴۴۰	۲۴۴۰	۲۴۴۰	۳	۱۰/۴	۲۸۸۰	۱۲/۴	۳۵۴۶	۷۶۶۵	۱۲/۴	۳۵۴۶	۷۶۶۵	۱۲۸/۴	۱۳ گوله گوله (۱)
۱/۵۹۵	۱۹۵/۰	۹۷۵	۳۵۲	۵/۰	۵/۰	۳۵۲	۲۱۰۰	۲۵۶۸	۲۵۶۸	۲۵۶۸	۲/۵۱	۹/۴۵	۳۰۶۹	۱۳/۰	۳۶۰۹	۷۷۳۵	۱۳/۰	۳۶۰۹	۷۷۳۵	۱۲۲/۳	۱۴ گوله گوله (۲)
۴/۵۷۶	۲۱۹/۷	۱۳۱۸	۳۳۵	۷/۰	۷/۰	۳۳۵	۲۰۲۰	۲۳۵۰	۲۳۵۰	۲۳۵۰	۲/۶۲	۱۰/۴	۱۹/۳۱	۱۳/۹	۲۳۷۰	۵۰۸۵	۱۳/۹	۲۳۷۰	۵۰۸۵	۴۸/۰	۱۵ آلوچه لو ۱
۳/۱۱۸	۲۹۰/۳	۱۷۴۲	۳۳۵	۷/۰	۷/۰	۳۳۵	۲۰۲۰	۲۳۲۰	۲۳۲۰	۲۳۲۰	۳/۳۷	۱۳/۹	۱۱۱۴	۱۴/۷	۱۵۳۴	۳۶۹۱	۱۴/۷	۱۵۳۴	۳۶۹۱	۹۳/۱	۱۶ آلوچه لو ۲
۲/۳۷۴	۱۴۴/۴	۷۲۲	۳۳۵	۵/۰	۵/۰	۳۳۵	۲۰۲۰	۲۱۷۰	۲۱۷۰	۲۱۷۰	۱/۷۴	۵/۶	۸۸۸	۹/۶	۱۵۶۰	۳۹۲۱	۹/۶	۱۵۶۰	۳۹۲۱	۶۳/۵	۱۷ آلوچه لو ۳
۰/۹۲۲	۶۳۹/۸	۲۵۵۹	۶۳۲	۶/۰	۶/۰	۶۳۲	۱۰۸۰	۱۶۸۹	۱۶۸۹	۱۶۸۹	۱/۳۴	۷/۰۲	۵۶۹۰	۳۳/۱	۴۷۸۰	۱۳۲۰۰	۳۳/۱	۴۷۸۰	۱۳۲۰۰	۶۹۴/۰	۱۸ ربط
۰/۷۱	۲۵۰/۷	۱۵۰۴	۶۴۰	۵/۰	۵/۰	۶۴۰	۱۰۲۰	۱۷۱۰	۱۷۱۰	۱۷۱۰	۱/۸۲	۱۰/۹	۴۹۵۱	۲۳/۰	۵۲۹۰	۱۱۸۹۵	۲۳/۰	۵۲۹۰	۱۱۸۹۵	۳۵۳/۰	۱۹ اشتراک
۰/۶۴۶	۳۶۸/۳	۱۴۷۳	۵۶۴	۹/۰	۹/۰	۵۶۴	۱۵۴۰	۲۴۶۵	۲۴۶۵	۲۴۶۵	۱/۵۵	۱۶/۲	۴۰۵۷	۳۳/۸	۴۰۵۵	۱۰۶۸۰	۳۳/۸	۴۰۵۵	۱۰۶۸۰	۵۷۰/۰	۲۰ فلات متکور
۰/۱۲۲	۹/۸	۵۹	۳۴۴	۳/۰	۳/۰	۳۴۴	۱۶۰۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰	۱۹۰۰	۲/۷۸	۱۱/۱	۲۲۵۰	۱۱/۵	۲۶۰۰	۵۵۷۰	۱۱/۵	۲۶۰۰	۵۵۷۰	۸۰/۸	۲۱ سیلوه
۰/۲۴۱	۱۸۲/۹	۱۶۶۶	۳۵۰	۴/۰	۴/۰	۳۵۰	۱۵۷۰	۱۹۷۶	۱۹۷۶	۱۹۷۶	۱/۳	۶/۳	۳۰۲۵	۱۴/۷	۳۳۵۰	۱۱۳۷۷	۱۴/۷	۳۳۵۰	۱۱۳۷۷	۷۵۸/۸	۲۲ کویج
۱/۴۷	۱۷۸۴/۶	۱۴۲۷۷	۳۴۲	۵/۰	۵/۰	۳۴۲	۱۵۰۰	۲۳۴۰	۲۳۴۰	۲۳۴۰	۲/۷۸	۱۲/۶	۶۰۱۵	۱۳/۵	۶۲۰۳	۱۷۲۵۶	۱۳/۵	۶۲۰۳	۱۷۲۵۶	۱۲۱۴/۰	۲۳ حلی
۰/۴۷۹	۹۶/۸	۵۸۱	۳۷۶	۴/۰	۴/۰	۳۷۶	۱۳۲۰	۱۹۲۰	۱۹۲۰	۱۹۲۰	۱/۰۲	۱۱/۹۸	۲۲۵۳	۲۱/۰	۲۱۵۰	۷۲۰۲	۲۱/۰	۲۱۵۰	۷۲۰۲	۲۰۲/۰	۲۴ قاضی آباد (۱)
۰/۷۵۳	۴۸۵/۰	۳۳۹۵	۳۷۶	۵/۰	۵/۰	۳۷۶	۱۳۵۰	۲۰۶۰	۲۰۶۰	۲۰۶۰	۱/۱۱	۱۱/۳	۴۰۰۸	۱۵/۲	۴۶۶۶	۱۲۴۸۶	۱۵/۲	۴۶۶۶	۱۲۴۸۶	۶۴۴/۰	۲۵ قاضی آباد (۲)

بررسی سوابق حاکی از اهمیت دو متغیر مساحت و فرسایش‌پذیری در توسعه مدل‌های برآورد رسوب‌دهی در مناطق دیگر نیز است. در این ارتباط می‌توان به ورود عامل مساحت به مدل در پژوهش‌های عرب‌خدری و زرگر (۱۳۷۴) و عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۸) و ورود عامل فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی به مدل در پژوهش‌های Mahmoudzadeh (۱۹۹۷)، همتی و همکاران (۱۳۸۱)، عرب‌خدری و همکاران (۱۳۸۲) و حکیم‌خانی (۱۳۷۷) اشاره داشت.

بررسی برآوردهای به‌دست آمده با هر دو رابطه حاکی از آن است که به غیر از تعدادی استثناء، بخش عمده کم‌برآوردها در رسوب‌دهی‌های بالا و بیش‌برآوردها در رسوب‌دهی‌های پایین رخ می‌دهد. شکل ۲، منحنی‌های برازش داده شده برای برآوردهای دو مدل به ازای مقادیر مشاهده‌ای را در مقایسه با خط یک به یک نشان می‌دهد. این منحنی‌ها نیز موید نتیجه‌گیری قبلی است. در آبخیزهایی با رسوب سالانه بالا، بهترین خط برازش داده شده برای هر دو مدل در زیر خط یک به یک قرار دارد. به‌عبارت‌دیگر، ارقام رسوب برآورده شده از مدل‌ها کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده هستند. در مقابل، در مقادیر رسوب‌دهی کم سالانه، منحنی‌های برازش یافته بالاتر از خط یک به یک می‌باشند که به مفهوم بیش‌برآوردی مدل‌ها در آبخیزهایی با رسوب‌دهی پایین است. به‌رغم وجود خطا در برآوردهای هر دو مدل، در سرجمع، برآوردهای مدل دوم بهتر از اولی است.



شکل ۲- رابطه مقادیر برآورد شده از مدل‌ها به ازای مقادیر مشاهده‌ای

احتمال یک برابر خطا در برآوردهای مدل منتخب رگرسیونی نباید به مفهوم ضعف شدید مدل ارزیابی شود. خطا در برآورد مدل‌های فرسایش و رسوب در پژوهش‌های دیگر نیز به کرات مشاهده شده است. مثلاً برآوردهای مدل MPSIAC در دو آبخیز از نه آبخیز مورد مطالعه در استان سمنان (هاشمی و عرب‌خدری، ۱۳۸۹) شش و ۳۰ برابر مقدار مشاهده‌ای به‌دست آمد. Toy و همکاران (۲۰۰۲) برازش ضعیف مدل به داده‌های تجربی را گاهی نشانه خطای داده‌ها و نه خطای مدل می‌دانند. به‌عبارت‌دیگر نمی‌توان از مدل انتظار داشت که بتواند برآوردی بهتر از تغییرات تصادفی یا طبیعی موجود در داده‌های مشاهداتی انجام بدهد. بنا به گزارش Toy و همکاران (۲۰۰۲) اختلاف تلفات خاک اندازه‌گیری شده از پلات‌هایی یکسان با نرخ فرسایش حدود ۲۰ تن در هکتار در سال، ۳۰ درصد و برای نرخ فرسایش حدود زیر یک تن در هکتار در سال، اختلاف تا ۴۰۰ درصد بوده است. در صورت افزایش طول دوره آماری از رسوب‌سنجی، انتظار می‌رود که خطاها کمتر و کمتر شود. مثلاً Nichols (۲۰۰۶) متوسط طولانی مدت (۴۷ ساله) رسوب‌دهی یک آبخیز ۴۳/۸ هکتاری را ۳ تن در هکتار در سال و متوسط یک دوره ۱۰ ساله از همین مدت را ۱/۲ تن در هکتار در سال گزارش کرده است که نشان از تغییرات شدید رسوب‌دهی در طول زمان را دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که برآوردهای به‌دست آمده از مدل‌های تحلیل منطقه‌ای رسوب در شرایطی که داده‌های کوتاه‌مدت از حوضه‌ها وجود دارد می‌تواند به واقعیت درازمدت نزدیک‌تر باشد.

در این پژوهش از طریق رسوب‌سنجی مخازن، رسوب‌دهی ویژه و سالانه ۲۵ آبخیز کوچک در استان آذربایجان غربی تعیین شد. متوسط رسوب‌دهی ویژه این حوزه‌ها ۱/۳ مترمکعب بر هکتار به‌دست آمد. با این‌همه، مقادیر بالاتر تا حد ۱۲ مترمکعب در هکتار در سال نیز در برخی آبخیزهای واجد سنگ‌های فرسایش‌پذیر و کاربری دیم مشاهده شد. عدد ۱/۳ مترمکعب بر هکتار در سال می‌تواند به‌عنوان میانگین رسوب‌دهی ویژه سرشاخه‌ها در این استان مورد استفاده قرار گیرد. با ایجاد رابطه بین رسوب‌دهی سالانه و ویژگی‌های حوضه‌ها، در نهایت مدلی جهت برآورد رسوب در آبخیزهای فاقد آمار با شرکت متغیرهای مساحت و لیتولوژی توسعه یافت. مدل ارائه شده در این بررسی برای برآورد رسوب‌دهی حوضه‌های کوچک در قالب مطالعات آبخیزداری پیشنهاد می‌شود. به طور قطع استفاده از این مدل محدود به حوضه‌هایی با اندازه مساحت و نوع زمین‌شناسی به‌کار رفته در جداول ۱ و ۲ است. برای ارائه مدل‌های با دقت بالاتر پیشنهاد می‌شود از داده‌هایی با دوره آماری طولانی‌تر استفاده شود. در این ارتباط، برنامه‌ریزی برای پایش سالانه رسوب بلافاصله بعد از اتمام عملیات احداث سازه‌های کنترل رسوب توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. حکیم‌خانی، ش. ۱۳۷۷. ارائه مدل رگرسیونی چند متغیره براساس عوامل موثر بر رسوب‌دهی معلق حوضه‌های آبخیز دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشگاه تهران. ۲۱۱ صفحه.
۲. شرکت مهندسين مشاور جاماب. ۱۳۷۸. طرح جامع آب کشور، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، وزارت نیرو.
۳. عرب‌خدري، م. و ا. زرگر. ۱۳۷۴. برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل رگرسیونی، پژوهش و سازندگی، ۲۷-۲۹:۲۲.
۴. عرب‌خدري، م. ش. حکیم‌خانی و س. فیض‌نیا. ۱۳۸۲. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین. رابطه رسوب‌دهی معلق و زمین‌شناسی در برخی از مناطق ایران. ۶ صفحه.
۵. عرب‌خدري، م. ع. ولی‌خوجینی، ش. حکیم‌خانی، ا.ح. چرخایی و ع. تلوری. ۱۳۸۸. برآورد رسوب‌دهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۵ صفحه.
۶. عرب‌خدري، م. ۱۳۹۰. بهبود برآورد منحنی سنج رسوب حد وسط دسته‌ها با کاربرد برنامه آمارگیری نمونه‌ای سازوار خوشه‌ای. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳-۱۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۰.
۷. فیض‌نیا، س. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ایران، ۴۷: ۹۵-۱۱۶.
۸. هاشمی، س.ع.ا. و م. عرب‌خدري. ۱۳۸۹. رسوب‌سنجی مخازن سدهای کوچک به‌منظور ارزیابی مدل MPSIAC در استان سمنان. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. ۲(۱): ۳۵-۲۶.
۹. همتی، م. م. مهدوی و م. عرب‌خدري. ۱۳۸۱. بررسی رابطه رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز با لیتولوژی و عوامل بارش موثر. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۴۴-۲۳۴.
10. Bellin, N., V. Vanacker, B. Van Wesemael, A. Solé-Benet and M.M. Bakker. 2011. Natural and anthropogenic controls on soil erosion in the Internal Betic Cordillera (southeast Spain). *Catena*, 87: 190-200.
11. Boardman, J. 1998. An average soil erosion rate for Europe: Myth or reality? *Journal of soil and water conservation*, 53(1): 46-50.
12. De Boer, D., W. Froehlich, T. Mizuyama and A. Pietroniro. 2003. Erosion prediction in ungauged basins: integrating methods and techniques. International Association of Hydrological Sciences, Publication 279, IAHS Press, Wallingford, UK.
13. Kouhpeima, A., S.A.A. Hashemi, S. Feiznia and H. Ahmadi. 2010. Using sediment deposited in small reservoirs to quantify sediment yield in two small catchments of Iran. *Journal of sustainable development*, 3 (3): 133-139.
14. Mahmoudzadeh, A., W.D. Erskine and C. Myers. 2002. Sediment yields and soil loss rates from native forest, pasture and cultivated land in the Bathurst area, New South Wales. *Australian forestry*, 65(2): 73-80.
15. Mahmoudzadeh, A. 1997. The use of farm dams to determine the effects of land use and lithology on catchments sediment yields. PhD. Thesis, 257 pages.
16. Martin-Rosales, W., A. Pulido-bosch, J. Gisbert and A. Vallejos. 2003. Sediment yield estimation and checkdams in a semiarid area (Sierra de Gádor, southern Spain). Department of Geodynamies, University of Granada, E-18071 Granada, Spain.
17. Nichols, M.H. 2006. Measured sediment yield rates from semiarid rangeland watersheds. *Rangeland ecology management*, 59:55-62.

18. Sougnez, N., V. Vanacker, B. Van Wesemael. 2010. Low erosion rates measured for steep, sparsely vegetated catchments in southeast Spain. *CATENA*, 84: 1–11.
19. Toy, T.J., G.R. Foster and K.G. Renard. 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. New York, NY: John Wiley and Sons. 338 pages.
20. Verstraeten, G., J. Poesen, J. de Vente and X. Koninckx. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. *Geomorphology*. 50(4): 327–348.

Regression model for estimating annual sediment yield of small watersheds in West Azerbaijan

Ebrahim Boroshkeh, MSc, Agricultural and Natural Resources Research Center, Western Azerbaijan, Iran
Mahmoud Arabkhedri¹, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 24 December 2012

Accepted: 17 February 2013

Abstract

Sediment yield estimation for small basins is essential in watershed management planning projects. However, almost all of these basins are ungauged. In this study, in order to determine a range for specific sediment yield and to develop a regression model for estimating annual sediment yield, sedimentation behind small dams within 25 basins in Western Azerbaijan province, were measured. The selected basins with an area ranged 29 to 1200 ha, cover a range of lithology, land uses and climates and all of the sediments had been trapped behind the check dams. The specific sediment yields showed a two digit differences ranged 0.12 and 12 $m^3ha^{-1}yr^{-1}$. However, the weighted average of specific sediment yield for all basins was calculated a low value of 1.3 $m^3ha^{-1}yr^{-1}$. Study of relationship between annual sediment yield and 18 characteristics of watersheds using correlation matrix showed that the sediment yield is significantly affected by geologic erodibility, basin area and land use factors. From several regression models which were developed, an equation including two independent variables, geologic erodibility and basin area, with a high determination coefficient ($R^2=0.899$) was chosen.

Key words: Land use, Regression, Reservoir sediment survey, Small watersheds, Specific sediment yield

¹ Corresponding author: Mahmood.arabkhedri@gmail.com