دوره ۳۱، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۱۸، بهار ۱۳۹۷، صفحات ۱۲-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.116766.1061

پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش‌وسازندگی)

ارزیابی مدل اف‌اس‌ام از راه رسوب‌سنجی آبگیر بندهای کوچک در استان فارس

غلامرضا قهاری *
(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
سعید نبی‌پی‌لشکریان
کارشناس ارشد، پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
سیدحمید مصباح
مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۷
* Corresponding Email: rezaghahari75@gmail.com

چکیده

کمبود آمار و نیاز کارشناسان به اطلاع از میزان فرسایش و رسوب دهی حوزه‌های آبخیز در مناطق مختلف کشور، استفاده از مدل‌های تجربی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. یکی از این مدل‌ها اف‌اس‌ام است. هدف از اجرای این تحقیق بررسی کارآیی این مدل در استان فارس است. پنج حوزه‌ی آبخیز کوچک در استان فارس انتخاب شد. در خروجی این حوزه‌های آبخیز، بندهای خاکی و سنگی- ملاتی بنا شده‌اند. این بندها سرریز ندارد و سن بیشتر آن‌ها نزدیک به ۱۰ سال است. مقدار رسوب‌های ته‌نشین شده در آب‌گیر آن‌ها با استفاده از نقشه‌برداری به‌دست آمد. وزن مخصوص ظاهری رسوب‌ها با عملیات صحرایی تعیین، و حجم رسوب‌ها با درنظرگرفتن سال‌های رسوب‌گیری به وزن تبدیل شد. نرخ فرسایش‌پذیری حوزه‌های آبخیز با استفاده از مدل اف‌اس‌ام تعیین شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل اصلی اف‌اس‌ام برای حوزه‌های آبخیز پژوهش بیش‌برآوردی بسیار زیادی را نشان داده است و کارآیی ندارد. میانگین نسبی مربعات خطای مدل واسنجی‌شده ۰/۲۴۶ محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی خطای کم مدل واسنجی‌شده است. نتایج برآوردشده‌ی مدل واسنجی‌شده‌ی اف‌اس‌ام با مقادیر رسوب‌های اندازه‌گیری‌شده حاکی از تطابق ۷۵ ٪ این مدل است، بنابراین می‌توان نتایج برآورد مدل واسنجی‌شده را پذیرفت.

واژه‌های کلیدی: بندهای کوتاه، حوزه‌ی آبخیز، فرسایش‌پذیری حوزه‌ی آبخیز، مدل‌های تجربی

Evaluation of the FMS empirical model using sediment survey of small reservoirs in the Fars Province

Gholamreza Ghahari*
*(Corresponding Author) Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
Saeed Nabipay Lashkarian
M.Sc. of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran
Sayyed Hamid Mesbah
Research Associate of Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Abstract
The scarcity of reliable data for the rate of erosion and sedimentation on numerous watersheds all over the country makes the application of empirical models inevitable. One of these models is the Factorial Scoring Model (FMS). The purpose of this research was to evaluate the model's efficiency in the Fars Province This study was conducted on 5 small watersheds where small check dams of the masonry and earth types were constructed at their outlets. These structures did not have spill ways; therefore, all the bed and suspended loads were retained on their upstream for a duration of 10 years. The volume of sediment deposited in reservoirs was obtained, by surveying. The bulk density (BD) of each sediment mass upstream of the check dams was determined at the site and the volume was converted into using the individual BDs. The tonnage of sediment was also determined by the FMS model. The results indicated that the uncalibrated FMS model overestimated the eroded materials. The relative root mean square error (RRMSE) of the model was 0.246, which indicated a low level of the error of the model. Results of the calibrated FMS model indicated a 75% compliance of the model; therefore, we can accept the estimated results of this model as somewhat reliable.

Keywords: empirical model, erodibility of basins, small dam, watershed

مقدمه

مهارکردن فرسـایش و رسـوب حاصل از آن، یکی از مهم‌ترین هدف‌های آبخیزداری اسـت. بـرآورد رسـوب و اولویت‌بنـدی حوزه‌هـای آبخیز از دیدگاه فرسـایش آبی مقدمه‌ی تصمیم‌گیری برای مهارکردن آن اسـت. با مشـخص‌کردن این اولویـت، می‌توان اقدام‌های آبخیـزداری را در حوزه‌ی آبخیزی با خطر زیاد متمرکز، و از فرسـایش و تخریب خاک جلوگیری کرد. فرسـایش خاک که به آن سـرطان خاک گفته می‌شـود، فرآیندی پیچیده همراه با اثرهای زیسـت‌محیطی و اجتماعی آشکار و پنهانی، و خطری بالقوه برای حیات اسـت (اونق ۲۰۰۳). آمار و اطلاعات رسوب‌دهی به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی نصب‌شده در رودخانه‌ها عمدتاً مربوط به حوزه‌های آبخیز بزرگ اسـت و نتایج به‌دسـت‌آمده از آن‌ها را نمی‌تـوان به‌راحتی به حوزه‌های آبخیز کوچک تعمیـم داد؛ ازطرف‌دیگر، ازمیزان تطابق روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب‌دهی با شرایط حوزه‌های آبخیز کشور اطلاع کافی در دست نیسـت. بنابراین، ضرورت دارد که این روش‌ها برای مناطق

مختلف کشـــور امتحان و درصورت نیاز واســـنجی شـــود. هدف از انجام این پژوهش بررسی این موضوع در اســـتان فارس است. برای ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد رســـوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، رسوب‌ســـنجی آب‌گیر ســـدها و بندهای کوچک است (حکیم‌خانـــی و فیض‌نیا ۲۰۰۳ ؛ محمـــودزاده ۱۹۹۷). این روش را محققان مختلـــف توصیه کرده اند (هارگوین و همکاران ۲۰۰۵). اندازه‌گیری رســـوب آب‌گیر روشی مناسب برای محاســـبه‌ی تولید رسوب حوزه‌های آبخیز است (حکیم‌خانی و فیض‌نیـــا ۲۰۰۳). اگر ضریب تله‌اندازی آب‌گیر و حجم و وزن مخصوص رسوب انباشته‌شده به‌طور صحیح برآورد شوند، مقادیر تولید رسوب به‌دست آمده خطای کمتری از اندازه‌گیری‌های رودخانه‌یی دارد (والینگ و وب ۱۹۹۸). از مدل‌های فرسایش می‌توان به‌عنوان ابزاری برای فهم فرآیندهای فرسایش و اثرهای متقابل آن‌ها و تعیین اولویت‌های تحقیقاتی استفاده کرد. شـــوربختانه اعداد و ارقام دقیقی از میزان فرســـایش کشـــور وجود ندارد. با اندازه‌گیری مقادیر واقعی علاوه بر دست‌یابی به مبنای مناسب برآورد، امکان ارزیابی مدل‌ها برای استفاده از آن‌ها در سایر مناطق کشور به‌وجود می‌آید. از مدل‌های رایج که از ویژگی‌های محدودتری بهره می‌گیرند، می‌توان به مدل اف‌اس‌ام[1] اشـــاره کرد. ازآن‌جا که این مدل در خارج از ایران طراحی و ابداع گردیده است، لازم است که کارآیی آن در مناطق مختلف اقلیمی نیز بررسی شود. از این مدل نخستین بار در سال ۲۰۰۳ برای تعیین نرخ فرسایش‌پذیری درحوزه‌های آبخیز اســـپانیا استفاده شده اســـت. در این مدل برای تعیین نرخ فرســـایش‌پذیری از پنج عامل پســـتی وبلندی، سنگ‌شناسی، شکل حوزه‌ی آبخیز، وضعیت خندق و پوشش گیاهی استفاده می‌شود (ورستراتن و همکاران ۲۰۰۳). ارائه دهندگان مدل بررسی‌هایی را در ۶۰ حوزه‌ی آبخیز انجام دادند و مشاهده کردند که میزان رســـوب برآوردشده با این مدل در تعدادی از زیر حوزه‌های آبخیز تطابق خوبی با رســـوب‌دهی حـــوزه آبخیز دارد. به‌دنبال آن، دی‌ونته و همکاران (۲۰۰۴) مدل را برای همان زیرحوزه‌های آبخیز واسنجی، و اشـــکال‌هایی را که در بیشـــتر زیر حوزه‌های آبخیز برای محاسبه‌ی رسوب بااستفاده از این روش وجود داشت اصلاح کردند. هارگوین و همکاران (۲۰۰۵) در منطقـــه‌ی تیگری اتیوپی با ارزیابی مدل‌های پســـیاک[2] و اف‌اس‌ام از راه رسوب‌سنجی آب‌گیر هشت ســـد نتیجه‌گیری کردندکه تطابق مدل اف‌اس‌ام با مقادیر مشـــاهده‌یی نامناسب‌تر از مدل پسیاک اســـت. آن‌ها این مسأله را ناشـــی از تعدد عوامل مؤثر در رسوب‌دهی درروش پسیاک دانسته‌اند. دی‌ونته و همکاران (۲۰۰۶) در ایتالیا عامل ششـــم زمین‌لغـــزش را به مدل اف‌اس‌ام اضافه نمودند و با مقایسه‌ی نتایج این مطالعه، استنتاج کردند که رسوب‌دهی برآوردشـــده با این روش نســـبت به‌روش پنج عامله، تطابق بیشتری با مقدار رسوب اندازه‌گیری‌شـــده در ایستگاه رسوب‌ســـنجی دارد. مششا و همکاران (۲۰۱۱) با تحقیق در شـــش حوزه‌ی آبخیز کشور اتیوپی، عامل آب‌وهوا را به مدل اف‌اس‌ام اضافه کردند، و مدل جدید را همراه با نســـخه‌ی اولیه‌ی آن، با مقادیر رسوب معلق اندازه‌گیری‌شده در خروجی حوزه‌ی آبخیز مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که کارآیی و دقت نسخه‌ی شامل آب‌وهوا بیشتر از مدل اولیه است.

خدامـــی و همکاران (۲۰۰۵) بـــرای اولین بار این مدل را در ایران اســـتفاده کردند. آن‌ها با به‌کارگیری معادله‌ی استفاده‌شـــده در اسپانیا، نتیجه‌گرفتند که تطابق مقادیر برآوردشـــده از راه مدل اف‌اس‌ام نســـبت به‌روش ام‌پسیاک[3] با مقادیر اندازه‌گیری شده در آب‌گیر بند لاتشور در محل خروجی حوزه‌ی آبخیز، مناسب‌تر است.

عطاپورفرد و همکاران (۲۰۱۲)، درشمال و شمال‌غربی استان تهران با استفاده از مدل اف‌اس‌ام و از راه رسوب‌ســـنجی آب‌گیر ۹ ایستگاه اندازه‌گیری رسوب، نتیجه گرفتند که مدل اف‌اس‌ام با مقادیر اندازه‌گیری‌شـــده هم‌خوانی زیادی دارد. غلامـــی و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد مدل‌های اف‌اس‌ام و ام‌پســـیاک در حوزه‌ی آبخیز ســـراب سد نهند درشمال‌شـــرقی تبریز و مقایسه‌ی نتایج با مقادیر رسوب برآوردشده از آمار ایستگاه آب‌سنجی، به این نتیجه رسیدند که مدل اف‌اس‌ام تطابق بیشتری نسبت به مدل ام‌پسیاک در برآورد رسوب‌دهی حوزه‌ی آبخیز دارد.

نبی‌پی‌لشـــکریان و همکاران (۲۰۱۳) در استان سمنان ۹ سد کوتاه را با عمر ۱۰ سال و بی‌سرریز انتخاب کردند و مقادیر رسوب برآوردی از مدل اف‌اس‌ام را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری‌شده در بندها ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد معادله‌ی اصلی مدل (معادله‌ی استفاده‌شـــده در اسپانیا) کارآیی ندارد. نتایج برآوردشده به‌وســـیله‌ی مدل اف‌اس‌ام واسنجی‌شده با مقادیر حاصل از رسوب‌سنجی بندها، ۸۴ ٪ مطابقت داشت.

برای بررسی وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز سرخ آباد اســـتان مازندران، رسوب ویژه‌ی مشاهده‌یی را از راه بررسی ابعاد رسوب‌های تجمع‌یافتـــه در پشـــت دو بند ســـنگ و ملات موجـــود در خروجی حوزه‌ی آبخیـــز مذکور اندازه‌گیـــری، و با به‌کارگیری مدل‌های اف‌اس‌ام، پســـیاک و ای‌پـــی‌ام[4] کارآیی هر یک از این مدل‌ها در برآورد میزان فرســـایش و تولید رســـوب منطقه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مدل ای‌پی‌ام به‌دلیل درصد خطای نســـبی کم‌تر از ســـایر مدل‌های به‌کاررفته، کارآیی بهتری در برآورد فرســـایش و تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز ســـرخ‌آباد داشته است (کاویان و همکاران ۲۰۱۴).

حوزه‌ی آبخیز نمارستاق استان مازندران شامل ۲۴ زیرحوزه‌ی آبخیز، بااستفاده از مدل اف‌اس‌ام بررسی شد. برای تعیین میزان رسوب سالانه از شش ویژگی نمره‌دهی (پســـتی‌وبلندی، آب‌کندها، پوشـــش گیاهی، سنگ‌شناسی، اقلیم و حفاظت خاک) استفاده شـــد. نتایج نشان داد که زیرحوزه‌های آبخیز A، R، U و I بـــا تولیـــد ۷۳۲۶، ۳۹۹۸۵، ۷۳۶۵، ۲۷۵۹ و ۲۲۷۹ تـــن در هر هکتار، بحرانی‌ترین زیرحوزه‌های آبخیز بوده‌اند (شایان و همکاران ۲۰۱۷).

زیرحوزه‌های آبخیز اوزرود شـــامل ۱۱ زیرحوزه آبخیز، با اســـتفاده از تحلیل

1- FSM
2- PSIAC
3- MPSIAC
4- EPM

ریخت‌ســـنجی (مورفومتری) و روش اف‌اس‌ام بررسی شد. در روش اف‌اس‌ام برای تعیین میزان رســـوب سالانه از شـــش ویژگی نمره‌دهی (پستی‌وبلندی، آب‌کندها، پوشـــش گیاهی، سنگ‌شناسی، اقلیم و حفاظت خاک) استفاده شد. نتایج نشان داد که با تلفیق نتایج دو روش در پنج طبقه، زیرحوزه‌ی آبخیز اچ از نظر فرسایش و رسوب بسیار بحرانی است (موسوی و همکاران ۲۰۱۷).

از بررسی منابع می‌توان نتیجه‌گرفت کرد که این روش به‌دلیل سادگی کاربرد روشی مناسب است. اما این روش برای اسپانیا طراحی شده و مدل اصلی آن در بعضی از نقاط کشـــور سازگاری نداشته است. بنابراین برای ارزیابی آن در شـــرایط و ویژگی‌های ایران بررسی صحت‌سنجی، و درصورت لزوم واسنجی آن در مناطق مختلف کشـــور از جمله استان فارس ضروری است. با توجه به نبودن ایســـتگاه‌های رسوب‌ســـنجی در حوزه‌های آبخیز کوچک، اجرای این تحقیق و پژوهش‌های مشـــابه در نقاط مختلف کشـــور الزامی است. پژوهش حاضر به‌دنبال تعیین سازگاربودن یا سازگارنبودن این مدل در مناطق مختلف استان فارس است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی رســـوب آب‌گیر بندهای کوتاه با استفاده از بررسی‌های میدانی، پنـــج زیرحوزه‌ی آبخیز که بندهای کوتاهی با شـــرایط مورد نیاز در آن‌ها بود، انتخاب شـــد. انتخاب بندهایی با مساحت کم حوزه‌ی‌آبخیز، با عمر حدود ۱۰ سال، بی‌سرریز و بی‌هیچ عملیات ساختمانی در مسیر آب‌راه بالادست (همگن بودن حوزه‌ی آبخیز بالادست)، مهم‌ترین معیارهای انتخاب بندها بوده است.

منطقه‌ی پژوهش

موقعیت بندهای منتخب در استان فارس و محل‌های نمونه‌برداری در آب‌گیر بندها در جدول ۱، برخی از ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز در جدول ۲ و تصاویری منتخب از موقعیت بندها در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

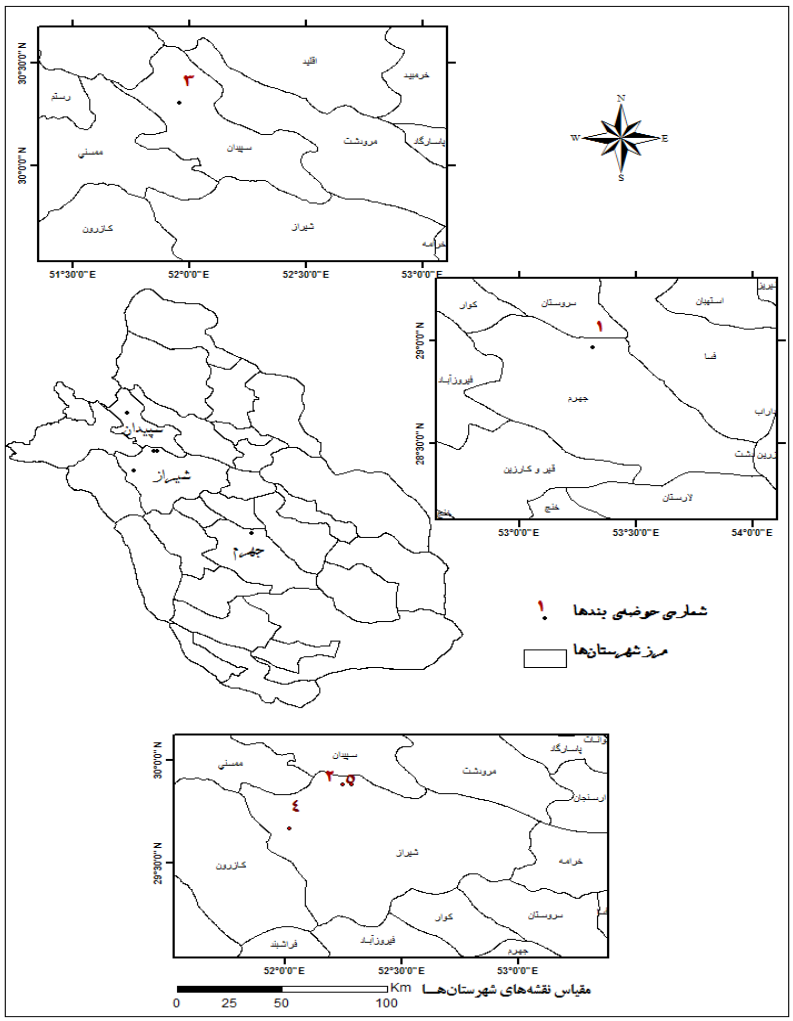
جدول۱- مشخصات بندهای کوتاه منتخب در استان فارس.

شماره‌ی زیرحوزه‌ی آبخیز درنقشه	نام زیرحوزه‌ی آبخیز	تعداد بند	نوع بند	موقعیت جغرافیایی		شهرستان	سال احداث	طول عمر بند	مساحت حوزه‌ی آبخیز (هکتار)	ارتفاع بند
				طول	عرض					
۱	خاوران	۱	خاکی	"۵۳°۱۹'۰۱	"۲۸°۵۸'۰۲	جهرم	۱۳۸۴	۹	۲۴۴۴/۲	۱۲/۵
۲	کلستان	۱ و ۶۰	خاکی و سنگی- ملاتی	"۵۲°۱۷'۲۸	"۲۹°۵۳'۰۵	شیراز	۱۳۸۲	۱۱	۲۸۴۰/۸۷	۱۴/۳۵
۳	سپیدان پیست اسکی	۱	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۱°۵۷'۳۱	"۳۰°۱۸'۲۶	سپیدان	۱۳۸۲	۱۱	۴۹۳/۵	۴
۴	چهل‌چشمه	۴	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۲°۰۱'۲۵	"۲۹°۴۰'۰۴	شیراز	۱۳۸۴	۹	۲۶۲/۹	۲*
۵	غرب شیراز	۳	سنگی-ملاتی و سیمانی	"۵۲°۱۵'۰۴	"۲۹°۵۳'۰۶	شیراز	۱۳۸۴	۹	۷۷/۲۴	۲*

* حوزه‌های آبخیز که از چند بند متوالی تشکیل شده، میزان رسوب در پشت هر بند، جداگانه محاسبه شده و آب از روی بند انتهایی آن‌ها عبور نکرده است.

جدول۲- ویژگی حوزه‌های آبخیز پژوهش‌شده در استان فارس.

نام زیرحوزه‌ی آبخیز	شیب متوسط حوزه‌ی آبخیز (٪)	پوشش گیاهی (٪)	وضعیت خندق	ضریب گراولیوس	سنگ‌شناسی غالب
خاوران	۲۲/۱	۲۲	بدون خندق	۱/۵۶	دوران چهارم، بختیاری، آسماری
کلستان	۱۹/۰۳	۲۷	خندق کم	۱/۴۰	دوران چهارم، بختیاری فوقانی، گچساران، آسماری
پیست اسکی	۴۰/۷	۴۲	بدون خندق	۱/۲۷	دوران چهارم، رازک، گروه خامی
چهل چشمه	۲۴/۷	۲۶	خندق متوسط تا زیاد	۱/۲۰	گچساران، آسماری
غرب شیراز	۱۹/۶	۲۵	بدون خندق	۱/۲۳	دوران چهارم، گچساران



شکل۱- موقعیت بندهای منتخب در استان فارس.

شکل۲- محل‌های نمونه‌برداری در آب‌گیر بندهای حوزه‌ی آبخیز کلستان (خلیلی ۲۰۱۳).

روش پژوهش

در مدل تجربی افاس‌ام از پنج عامل سنگ‌شناسی، پستی‌وبلندی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوزه‌ی آبخیز برای محاسبه‌ی رسوب‌دهی حوزه‌ی آبخیز استفاده شده است (جدول۳). امتیاز هر عامل به‌صورت کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب با اعداد ۱، ۲ و ۳ است که بااستفاده از پیمایش‌های صحرایی و تلفیق آن‌ها با نقشه‌های زمین‌شناسی، پستی‌وبلندی، و مانند آن‌ها به‌دست می‌آید (نبی‌پی‌لشکریان ۲۰۱۳).

جدول۳- نحوه‌ی امتیازبندی عوامل مدل افاس‌ام، (هارگوین و همکاران ۲۰۰۵).

ردیف	عامل	امتیاز	تشریح عوامل
۱	پستی‌وبلندی	۱	دامنه‌های با شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانه‌ی اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متردر هر ۵ کیلومتر
		۲	دامنه‌های باشیب ملایم و نزدیک به رودخانه‌ی اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ تا ۵۰۰ متردر هر ۵ کیلومتر
		۳	دامنه‌های با شیب تند و نزدیک به رودخانه‌ی اصلی با اختلاف ارتفاع بیشتر از ۵۰۰ متردر هر ۵ کیلومتر
۲	پوشش گیاهی	۱	پوشش سطحی خوب (۷۵ ٪ سطح حوزه‌ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
		۲	پوشش سطحی متوسط (۲۵ تا ۷۵ ٪ سطح حوزه‌ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
		۳	پوشش سطحی فقیر (کم‌تر از ۲۵ ٪ سطح حوزه‌ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
۳	خندق‌ها	۱	فرسایش کناری و خندقی نادر
		۲	فرسایش کناری و خندقی کم
		۳	فرسایش کناری و خندقی زیاد
۴	سنگ‌شناسی	۱	آهک، ماسه سنگ و جوش‌سنگ (درجه‌ی هوازدگی پایین)
		۲	نهشته‌های رسوبی نئوژن (ریگ و غیره)
		۳	مواد با درجه‌ی هوازدگی بالا (خاک بادرفت یا آهک‌رس)
۵	شکل حوزه‌ی آبخیز	۱	حوزه‌ی آبخیز کشیده با یک رودخانه‌ی اصلی به‌سمت آبگیر، سهم روان‌آب مستقیم دامنه‌های مشرف به آبگیر سد کم
		۲	حوزه‌ی آبخیز با شکلی بین دایره‌یی و کشیده
		۳	حوزه‌ی آبخیز شبه دایره‌یی با چند رودخانه به‌سمت آبگیر، سهم روان‌آب مستقیم دامنه‌های مشرف به آبگیر سد زیاد

عامل پستی‌وبلندی در این مدل، براساس شیب دامنه‌ها و اختلاف ارتفاع میان پست‌ترین و بلندترین نقطه‌ی منطقه، امتیازبندی شد. امتیاز ۱ برای دامنه‌های کم‌شیب (اختلاف بلندی کم‌تر از ۲۰۰ متر یا شیب کمتر از ۴ ٪)، امتیاز ۲ برای حوزه‌ی آبخیز با پستی‌وبلندی تپه‌ماهوری (اختلاف بلندی ۵۰۰–۲۰۰ متر یا شیب بین ۴ و ۱۰ ٪) و امتیاز ۳ برای حوزه‌ی آبخیز با شیب و بلندی زیاد (اختلاف بلندی بیش از ۵۰۰ متر یا شیب بیش از ۱۰ ٪) داده می‌شود (نبی‌پی‌لشکریان ۲۰۱۳).

در مدل افاس‌ام برای تشریح پوشش خاک و مقاومت آن در برابر بارندگی از نقشه‌ی پوشش گیاهی استفاده شد. عامل سنگ‌شناسی براساس جنس و ترکیب واحدهای سنگی حوزه‌ی آبخیز است. مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که حوزه‌ی آبخیز با سنگ‌شناسی آهک‌رس، بار رسوبی بیشتری از شیست، سنگ آهک و ماسه‌سنگ دارد. در میان انواع فرسایش‌هایی که در یک حوزه‌ی آبخیز شکل می‌گیرد (شیاری، بین‌شیاری، هزاردره، خندقی و غیره) فرسایش خندقی در مجموع مقدار رسوب بیشتری تولید می‌کند. این نوع فرسایش بیشتر در میان واحدهای آهک‌رسی و واحدهای به سن نئوژن ایجاد می‌شود. در مدل افاس‌ام، این نوع فرسایش عامل دانسته می‌شود. امتیاز ۳ برای حوزه‌ی آبخیز با خندق‌های فراوان است. در حوزه‌ی آبخیزی که شمار خندق‌های آن محدود باشد، امتیاز ۲، و برای حوزه‌ی آبخیزی که هیچ خندقی در آن‌ها نیست امتیاز ۱ داده می‌شود. برای عامل شکل، حوزه‌ی آبخیز کشیده امتیاز ۱، حوزه‌ی آبخیز دایره‌یی‌شکل با رودخانه‌های متعدد امتیاز ۳، و حوزه‌های آبخیز با شکلی میان کشیده و دایره‌یی امتیاز ۲ داده می‌شود. بعد از امتیازبندی عوامل پنج گانه‌ی مدل افاس‌ام، آن اعداد در هم ضرب می‌شود و مقدار شاخص افاس‌ام به‌دست می‌آید. با استفاده از این شاخص و براساس رابطه‌ی ۱ نرخ فرسایش‌پذیری به‌دست‌می‌آید (ورستراتن و همکاران ۲۰۰۳). براساس تحقیقات دی‌ونته و همکاران (۲۰۰۴) برای به‌دست آوردن نرخ فرسایش‌پذیری صحیح در مناطق مختلف، باید این رابطه واسنجی شود.

$$SSY = 4193A^{-0.44} + 7.77(FSMI) - 310.99$$ رابطه‌ی ۱

پس از تعیین نرخ فرسایش‌پذیری، برای ارزیابی کارآیی مدل از روش نش–ساتکلیف (۱۹۷۰) استفاده شد (رابطه ۲). از رابطه‌ی ۳ برای تعیین میانگین

نسبی مربعات خطا استفاده شده است.

رابطه‌ی ۲ $$ME = 1 - [\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^{n}(O_i - O_m)^2]$$

رابطه‌ی ۳ $$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2} / \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} O_i$$

که در آن SSY نرخ فرسایش‌پذیری حوزه‌ی آبخیز (تن در کیلومترمربع)، A مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع)، شاخص افاس‌ام حاصل‌ضرب امتیاز عوامل پنج‌گانه، ME شاخص ارزیابی کارآیی، RRMSE میانگین نسبی مربعات خطا، O_i اندازه‌ی رسوب، O_m میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب و P_i داده‌ی برآورد رسوب مدل افاس‌ام واسنجی‌شده است.

برای واسنجی رابطه‌ی ورستراتن در مناطق مختلف، ابتدا بین مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومترمربع) و رسوب اندازه‌گیری‌شده در بندهای ساخته‌شده در آن (تن در کیلومترمربع در سال) رابطه‌یی رگرسیونی برقرار می‌شود. سپس رسوب حاصل از مساحت از رسوب بندها کم کرده می‌شود و رسوب باقی‌مانده [5] به‌دست می‌آید. بعد از این مرحله بین شاخص افاس‌ام و باقی‌مانده‌ی رسوب رابطه‌ی رگرسیونی برقرار کرده می‌شود و معادله‌ی آن به‌دست می‌آید. در انتها میزان رسوب حاصل از معادلات دو رگرسیون قبل با هم جمع کرده، و نرخ فرسایش‌پذیری حوزه‌ی آبخیز توسط این مدل (تن در کیلومترمربع در سال) محاسبه می‌شود (که با تقسیم بر عدد ۱۰۰ به تن در هکتار در سال تبدیل می‌شود).

نتایج و بحث

معادله‌ی رسوب حاصل از مساحت در رابطه‌ی ۴ دیده می‌شود.

رابطه‌ی ۴ $$SSY = 148.41A^{0.0085}$$

بعد از امتیازبندی عوامل پنج‌گانه‌ی مدل افاس‌ام، اعداد در هم ضرب شد و مقدار شاخص افاس‌ام به‌دست آمد (جدول۴).

جدول۴- امتیاز عامل‌ها و ضریب افاس‌ام در زیرحوزه‌های آبخیز بررسی‌شده.

زیرحوزه‌ی آبخیز	پستی‌وبلندی	پوشش گیاهی	فرسایش خندقی	سنگ‌شناسی	شکل حوزه‌ی آبخیز	شاخص افاس‌ام
خاوران	۲/۶	۳	۱	۱/۵۶	۲	۲۴/۳۷
کلستان	۲/۴	۲/۱۳	۱/۱۵	۱/۹۵	۱/۸۱	۲۰/۷۵
پیست‌اسکی	۲/۸۶	۱/۷۵	۱/۰۱	۲/۰۱	۱/۰۳	۱۰/۴۹
چهل‌چشمه	۲/۸	۲/۰۳	۲/۸	۲/۸	۱	۴۴/۶۵
غرب شیراز	۲/۶	۲/۵۲	۱	۲/۹۹	۱	۱۹/۵۵

رابطه‌ی رگرسیونی بین ضریب افاس‌ام و باقی‌مانده‌ی رسوب هر کدام از بندها برقرار شد (رابطه ۵).

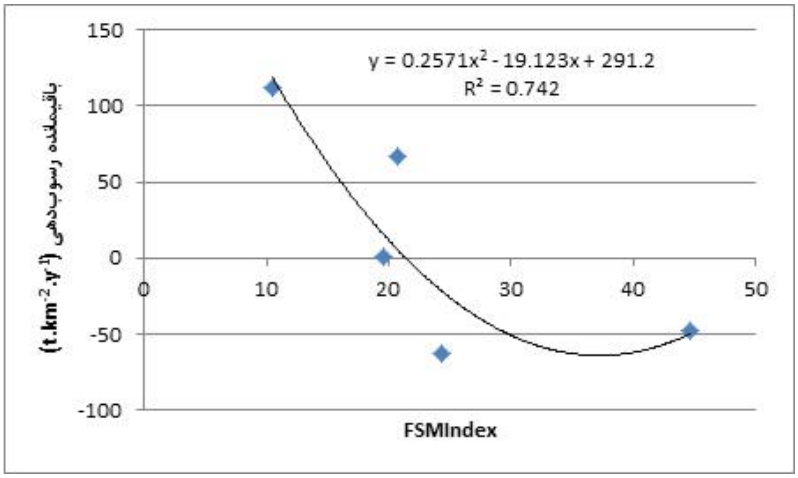
رابطه‌ی ۵ $$ResidualSSY = 0.2571 * FSMIndex^2 - 19.123FSMIndex + 291.2$$

معادله‌ی نهایی به‌شکل رابطه‌ی۶ دیده می‌شود.

رابطه‌ی ۶ $$SSY = 148.41A^{0.0085} + 0.2571 * FSMIndex^2 - 19.123FSMIndex + 291.2$$

ضریب تعیین این رابطهR^2=۰/۷۴۲ است که عددی پذیرفتنی است. رابطه‌ی رگرسیونی برقرارشده در شکل ۳ نشان داده شده است.

5- RSSY

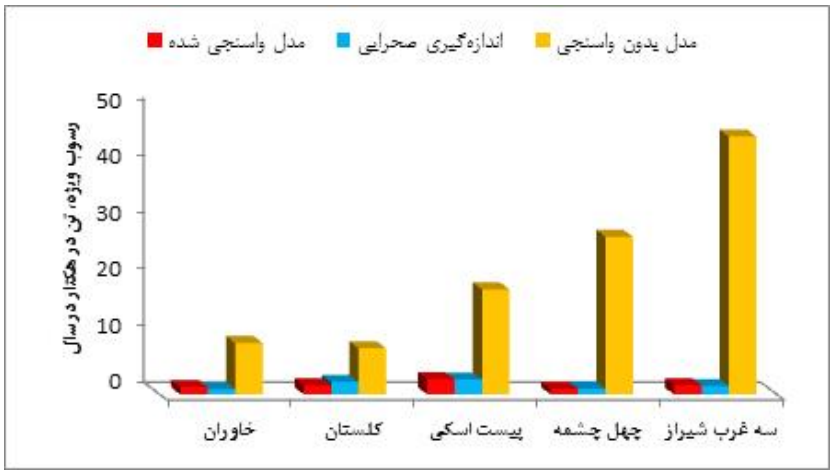


شکل ۳- رابطه‌ی رگرسیونی بین مقادیر ضریب اف‌اس‌ام و باقی‌مانده‌ی رسوب در بندهای بررسی‌شده.

مقایسه‌ی توصیفی نتایج اندازه‌گیری رسوب زیرحوزه‌های آبخیز از راه رسوب‌سنجی آب‌گیر بندها در مقایسه با مقادیر برآوردشده از راه مدل اف‌اس‌ام قبل از واسنجی، بسیار متفاوت است و نشان از بیش‌برآوردی زیاد مدل واسنجی‌نشده دارد (جدول ۵ و شکل ۴). این درحالی‌است که مقدار رسوب حاصل از برآورد مدل اف‌اس‌ام واسنجی‌شده با نتایج اندازه‌گیری‌شده در بندها تطابق بسیار زیادی دارد. حداقل و حداکثر اندازه‌گیری رسوب بندها ۱/۷۳ تا ۲/۶۲ تن در هکتار در سال تغییر کرده، و میزان رسوب برآوردی مدل واسنجی‌شده ۱ تا ۲/۶۹ تن در هکتار در سال متغیر است، که نشان از تطابق مدل واسنجی‌شده با رسوب واقعی زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش دارد. چولگی داده‌ها در هر دو مورد رسوب بندها و مدل واسنجی‌شده مثبت و به‌ترتیب ۰/۴۳ و ۱/۳۵ است، که نشان‌دهنده‌ی تجمع مقادیر رسوب‌دهی کمتر از مقدار میانگین است.

جدول۵- مقایسه‌ی رسوب ویژه حاصل از مدل (قبل و بعد از واسنجی) و اندازه‌گیری‌شده در آب‌گیر بندهای مورد تحقیق.

نام زیرحوزه‌ی آبخیز	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)		
	مدل واسنجی‌شده	اندازه‌گیری‌شده	مدل بدون واسنجی
بندخاکی خاوران	۱/۳	۰/۸۹	۹/۱
بندخاکی کلستان	۱/۵۸	۲/۱۹	۸/۱
بندسنگ و سیمانی پیست اسکی سپیدان	۲/۶۹	۲/۶۲	۱۸/۵
بندسنگ و سیمانی چهل چشمه	۱	۱/۰۲	۲۷/۸
غرب شیراز	۱/۶۴	۱/۴۹	۴۵/۴
حداقل	۱	۱/۷۳	۳۷/۲۸
حداکثر	۲/۶۹	۲/۶۲	۴۵/۴
دامنه	۱/۶۹	۱/۷۳	۳۷/۲۸
میانگین	۱/۶۴	۱/۶۴	۲۱/۷۶
میانه	۱/۵۸	۱/۴۹	۱۸/۴۸
چولگی	۱/۳۵	۰/۴۳	۱
انحراف معیار	۰/۶۴	۰/۷۵	۱۵/۴۳

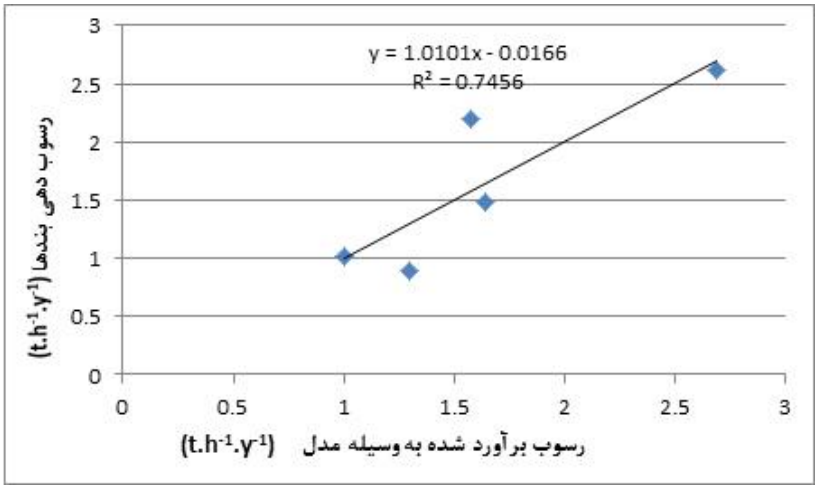


شکل ۴- مقادیر رسوب ویژه‌ی اندازه‌گیری‌شده و حاصل از مدل قبل و بعد از واسنجی.

برای ارزیابی کارآیی مدل از روش نش- ساتکلیف (۱۹۷۰) استفاده شد. اعداد نزدیک به ۱ در این شاخص نشان‌دهنده‌ی اعتبار بیشتر این شاخص است، و هرچه اعداد از ۱ فاصله بگیرند اعتبار شاخص کم‌تر می‌شود. در این پژوهش این شاخص ۰/۷۵۵ محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی کارآیی زیاد این مدل است. برای نشان‌دادن توانایی این مدل از میانگین نسبی مربعات خطای مدل آر.آر.ام‌اس‌ای[8] استفاده شد. هرچه این مقدار به عدد صفر نزدیک باشد، اعتبار مدل بیشتر است. در این پژوهش، این مقدار ۰/۲۴۶ محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی خطای کم است، بنابراین، مدل واسنجی‌شده توان خوبی برای تخمین رسوب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش دارد.

نتیجه‌گیری

برای تعیین میزان کارآیی مدل اف‌اس‌ام در برآورد رسوب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش در استان فارس و دادن مدل پیش‌بینی رسوب‌دهی، از این مدل نیمه‌کمی استفاده شد. در این روش پنج عامل پستی‌وبلندی، شکل حوزه‌ی آبخیز، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و عامل خندق برای برآورد رسوب‌دهی با درنظرگرفتن عامل مساحت استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که استفاده از مدل اصلی اف‌اس‌ام برای زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش، بیش‌برآوردی بسیار زیادی دارد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های خدامی و همکاران (۲۰۰۵)، محمدی‌ها و همکاران (۲۰۰۹)، و محمدی‌ها و همکاران (۲۰۱۱) که از مدل اصلی استفاده‌شده در اسپانیا بی‌اعمال واسنجی بهره‌گرفتند و این مدل را تأیید کردند، مغایرت دارد. رابطه‌ی میان رسوب‌دهی برآوردشده با مدل واسنجی‌شده و رسوب‌دهی اندازه‌گیری‌شده‌ی بندها نشان‌دهنده‌ی ضریب تعیین زیاد است R^2=۰/۷۴۵۶ (شکل ۵).



شکل ۵- رابطه‌ی رسوب برآوردی مدل واسنجی‌شده و رسوب اندازه‌گیری‌شده.

8- RRMSE

این نتیجه با نتیجه‌گیری پژوهش‌های دی‌ونته و همکاران (۲۰۰۴)، هارگوین و همـــکاران (۲۰۰۵)، دی‌ونته و همـــکاران (۲۰۰۶)، عطاپورفرد و همکاران (۲۰۱۲)، و نبی‌پی‌لشکریان و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. این پژوهشگران بعد ازاین‌که مشـــاهده کردند که مدل اصلی جوابی پذیرفتنی نمی‌دهد آن را واسنجی کردند، و به جوابی پذیرفتنی دست یافتند. بنابراین، برای کاربرد این مدل در جایی جز محل اصلی آن یعنی اســـپانیا، باید واسنجی صورت پذیرد. به‌علت اهمیت واسنجی مدل‌های فرســـایش و رسوب در اقلیم‌های مختلف استان، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با مدل‌های جدیدتر انجام شود، و مدل‌ها با هم و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شوند.

منابع

Atapour Fard A, Moradi Sharaf M, Shoaei GR. 2012. The application of FSM model for the prediction of sediment yield in Tehran basin.Nature and Science. 10(9): 105–112.

De Vente J, Poesen J, Bazzoffi P, Van Rompaey A, Verstraeten G. 2006. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: The importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. Earth Surface Processes and Landforms. 31: 1017–1034.

De Vente J, Poesen J, Verstraeten G. 2004.The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. Journal of Hydrology. 305: 63–86.

Gholami A, Mesri Alamdari P. 2013. The Sensitivity analysis and efficiency of FSM and MPSIAC models for estimating sediment load. 3rd International Conference on Civil, Transport and Environment Engineering (ICCTEE›2013), Dec. 25–26, 2013 Bangkok, Thailand.

Hakimkhani S, Feiznia S. 2003. Investigation of methods of using MPSIAC in studies. Soil Conservation and Watershed Management Institute. Final Report of Research Plan. 120 pp . (In Persian).

Haregeweyn N, Poesen J, Nyssen G, Verstraeten J, De Vente G, Govers S, Deckers Moeyersons J. 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi-quantitative modeling. Geomorphology. 69: 315–331.

Kavian A, Askarian R, Nateghi T, Jafarian Joloudar Z, Safari A. 2014. Performance evaluation of FSM, PSIAC and EPM models to estimate sediment yield in the rangelands (Case study: Sorkh Abad Watershed, Mazandaran province). Journal of Geographic Space. 14(48): 57–79. (In Persian).

Khalili A. 2013. Evaluation of the Efficiency of MPSIAC and FSM Models in Determination of Sediment Deviation Compared to Direct Measurement (Case Study: Kelestan Dam Watershed). M.Sc. thesis, Islamic Azad University Arsenjan Branch. 138 p.

Khoddami M, Mahbubi A, Herami R, Feiznia S. 2005. Analysis of rock facies and latshour river sediment model. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad. 141 p. (In Persian).

Mahmoudzadeh A. 1997. The use of farm dams to determination the effects of land use and lithology on cathment sediment yields. Ph.D Thesis. University of New South Wales.

Meshesha DT, Tsunekawa A, Tsubo M, Haregeweyn N. 2011. Spatial analysis and semi-quantitative modeling of specific sediment yield in six catchments of the central rift valley of Ethiopia. Journal of Food, Agriculture & Environment. 9(3–4): 784–792.

Mohamadiha S, Peyrowan HR, Mousavi Harami R, Feiznia S, Bayat R. 2009. Evaluation of erosion and sediment rate using FSM model and rainfall simulator in Evanaki Basin and its subbasins. The 6th Iranian Engineering Geology and the Environment. Tarbiat Modares University. 1089–1096. (In Persian).

Mohamadiha S. Peyrowan HR. Mousavi Harami R. Feiznia S. 2011. Evaluation of soil erosion and sediment yield using semi quantitative models: FSM and MPSIAC in Eivaneki Watershed and the sub-basins (Southeast of Tehran/Iran). Journal of American Science. 7(7): 234–239.

Mousavi SM, Gholamnia Kh, Mamashli M, Rustaei Sh. 2017. Integration of the FSM method and morphometric analysis for ranking sub-basins using RS and GIS techniques, case study :Ozroud Basin. Iranian Journal of Eco Hydrology. 4(1): 247–257. (In Persian).

Nabipay Lashkarian S,Hashemi SAA, Shadfar S. 2013. FSM model efficiency for sediment yield estimation in Semnan province. Watershed Engineering and Management. 5(1): 51–58. (In Persian).

Nash JE, Sutcliffe JE. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1, A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10: 282–290.

Owengh M. 2003. Landuse planning and integrated management of natural hazards in Golestan province. Seminar on Floods Hazards prevention and Mitigation Gorgan, Iran, Abstract . 9 pp.

Shayan S, Sharifikia M, Amounia H. 2017. Preference of sub basin erosion with FSM model, case study: Namarostagh Watershed, Mazandaran Province. The First Conference of

Modern Thought and Technology in geographic Sciences. (In Persian).
Verstraeten G, Poesen J, De Vente J, Koninckx X. 2003. Sediment yield variability in Spain: A quantitative and semiqualitative analysis using reservoir sedimentation rates. Geomorphology. 50 (4): 327– 348.
Walling DE, Webb BW. 1988. The reliability of rating curve estimate of suspended sediment yield: Some further comment. In: Sediment Budgets (Proc. of Porto Symp.Dec.1988) IAHS Pub. 1 (174): 337–350.