



شماره ۱۱۸، بهار ۱۳۹۷

# پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

## 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 کارایی 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 صحرائی تعیین، و حجم رسوب‌ها با در نظر گرفتن 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 کارایی ندارد. میانگین نسبی مربعات خطای مدل واسنجی شده ۰/۲۴۶ محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی خطای کم مدل واسنجی شده است. نتایج برآوردشده‌ی مدل واسنجی‌شده‌ی افاسام با مقادیر رسوب‌های اندازه‌گیری شده حاکی از تطابق ۷۵٪ این مدل است، بنابراین می‌توان نتایج برآورد مدل واسنجی شده 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

مهار کردن فرسایش و رسوب حاصل از آن، یکی از مهم‌ترین هدف‌های آبخیزداری است. برآورد رسوب و اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز از دیدگاه فرسایش آبی مقدمه‌ی تصمیم‌گیری برای مهار کردن آن است. با مشخص کردن این اولویت، می‌توان اقدام‌های آبخیزداری را در حوزه‌ی آبخیزی با خطر زیاد متمرکز، و از فرسایش و تخریب خاک جلوگیری کرد. فرسایش خاک که به آن سرطان خاک گفته می‌شود، فرآیندی پیچیده

همراه با اثرهای زیست‌محیطی و اجتماعی آشکار و پنهانی، و خطری بالقوه برای حیات است (اونق ۲۰۰۳). آمار و اطلاعات رسوب‌دهی به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی نصب‌شده در رودخانه‌ها عمدتاً مربوط به حوزه‌های آبخیز بزرگ است و نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها را نمی‌توان به راحتی به حوزه‌های آبخیز کوچک تعمیم داد؛ از طرف دیگر، از میزان تطابق روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب‌دهی با شرایط حوزه‌های آبخیز کشور اطلاع کافی در دست نیست. بنابراین، ضرورت دارد که این روش‌ها برای مناطق

مقادیر رسوب معلق اندازه‌گیری شده در خروجی حوزه‌ی آبخیز مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که کارایی و دقت نسخه‌ی شامل آب‌وهوا بیشتر از مدل اولیه است.

خدماتی و همکاران (۲۰۰۵) برای اولین بار این مدل را در ایران استفاده کردند. آن‌ها با به‌کارگیری معادله‌ی استفاده‌شده در اسپانیا، نتیجه گرفتند که تطابق مقادیر برآوردشده از راه مدل افاس ام نسبت به روش ام‌پسیاک<sup>۲</sup> با مقادیر اندازه‌گیری شده در آب‌گیر بند لانتشور در محل خروجی حوزه‌ی آبخیز، مناسب‌تر است.

عطایورفرد و همکاران (۲۰۱۲)، در شمال و شمال‌غربی استان تهران با استفاده از مدل افاس ام و از راه رسوب‌سنجی آب‌گیر ۹ ایستگاه اندازه‌گیری رسوب، نتیجه گرفتند که مدل افاس ام با مقادیر اندازه‌گیری شده هم‌خوانی زیادی دارد. غلامی و همکاران (۲۰۱۳) با کاربرد مدل‌های افاس ام و ام‌پسیاک در حوزه‌ی آبخیز سراب سد نهند در شمال‌شرقی تبریز و مقایسه‌ی نتایج با مقادیر رسوب برآوردشده از آمار ایستگاه آب‌سنجی، به این نتیجه رسیدند که مدل افاس ام تطابق بیشتری نسبت به مدل ام‌پسیاک در برآورد رسوب‌دهی حوزه‌ی آبخیز دارد.

نبی‌پیشکریان و همکاران (۲۰۱۳) در استان سمنان ۹ سد کوتاه را با عمر ۱۰ سال و بی‌سرریز انتخاب کردند و مقادیر رسوب برآوردی از مدل افاس ام را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در بندها ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد معادله‌ی اصلی مدل (معادله‌ی استفاده‌شده در اسپانیا) کارایی ندارد. نتایج برآوردشده به‌وسیله‌ی مدل افاس ام و اسنجی شده با مقادیر حاصل از رسوب‌سنجی بندها، ۸۴٪ مطابقت داشت.

برای بررسی وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز سرخ‌آباد استان مازندران، رسوب ویژه‌ی مشاهده‌ی را از راه بررسی ابعاد رسوب‌های تجمع‌یافته در پشت دو بند سنگ و ملات موجود در خروجی حوزه‌ی آبخیز مذکور اندازه‌گیری، و با به‌کارگیری مدل‌های افاس ام، پسیاک و ای‌پی‌ام<sup>۴</sup> کارایی هر یک از این مدل‌ها در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب منطقه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مدل ای‌پی‌ام به‌دلیل درصد خطای نسبی کم‌تر از سایر مدل‌های به‌کاررفته، کارایی بهتری در برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز سرخ‌آباد داشته است (کاوایان و همکاران ۲۰۱۴).

حوزه‌ی آبخیز نمارستاق استان مازندران شامل ۲۴ زیرحوزه‌ی آبخیز، با استفاده از مدل افاس ام بررسی شد. برای تعیین میزان رسوب سالانه از شش ویژگی نمره‌دهی (پستی‌وبلندی، آب‌کندها، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، اقلیم و حفاظت خاک) استفاده شد. نتایج نشان داد که زیرحوزه‌های آبخیز A، R، U و I با تولید ۷۳۲۶، ۳۹۹۸۵، ۷۳۶۵، ۲۷۵۹ و ۲۲۷۹ تن در هر هکتار، بحرانی‌ترین زیرحوزه‌های آبخیز بوده‌اند (شایان و همکاران ۲۰۱۷).

زیرحوزه‌های آبخیز اوزرود شامل ۱۱ زیرحوزه آبخیز، با استفاده از تحلیل

مختلف کشور امتحان و در صورت نیاز واسنجی شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی این موضوع در استان فارس است. برای ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، رسوب‌سنجی آب‌گیر سدها و بندهای کوچک است (حکیم‌خانی و فیض‌نیا ۲۰۰۳؛ محمودزاده ۱۹۹۷). این روش را محققان مختلف توصیه کرده‌اند (هارگوین و همکاران ۲۰۰۵). اندازه‌گیری رسوب آب‌گیر روشی مناسب برای محاسبه‌ی تولید رسوب حوزه‌های آبخیز است (حکیم‌خانی و فیض‌نیا 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 رودخانه‌ی 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. شوربختانه اعداد و ارقام دقیقی از میزان فرسایش کشور 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 افاس ام<sup>۱</sup> اشاره کرد. از آن‌جا که این مدل در خارج از ایران طراحی و ابداع گردیده است، لازم است که کارایی آن در مناطق مختلف اقلیمی نیز بررسی شود. از این مدل نخستین بار در سال ۲۰۰۳ برای تعیین نرخ فرسایش‌پذیری در حوزه‌های آبخیز اسپانیا استفاده شده است. در این مدل برای تعیین نرخ فرسایش‌پذیری از پنج عامل پستی و بلندی، 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 رسوب برآوردشده با این مدل در تعدادی از زیر حوزه‌های آبخیز تطابق خوبی با رسوب‌دهی حوزه آبخیز دارد. به‌دنبال آن، دی‌ونت و همکاران (۲۰۰۴) مدل را برای همان زیرحوزه‌های آبخیز واسنجی، و اشکال‌هایی را که در بیشتر زیرحوزه‌های آبخیز برای محاسبه‌ی رسوب با استفاده از این روش وجود داشت اصلاح کردند. هارگوین و همکاران (۲۰۰۵) در منطقه‌ی تیگری اتیوپی با ارزیابی مدل‌های پسیاک<sup>۲</sup> و افاس ام از راه رسوب‌سنجی آب‌گیر هشت سد نتیجه‌گیری کردند که تطابق مدل افاس ام با مقادیر مشاهده‌ی نامناسب‌تر از مدل پسیاک است. آن‌ها این مسأله را ناشی از تعدد عوامل مؤثر در رسوب‌دهی در روش پسیاک دانسته‌اند. دی‌ونت و همکاران (۲۰۰۶) در ایتالیا عامل ششم زمین‌لغزش را به مدل افاس ام اضافه نمودند و با مقایسه‌ی نتایج این مطالعه، استنتاج کردند که رسوب‌دهی برآوردشده با این روش نسبت به روش پنج عامله، تطابق بیشتری با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی دارد. مششا و همکاران (۲۰۱۱) با تحقیق در شش حوزه‌ی آبخیز کشور اتیوپی، عامل آب‌وهوا را به مدل افاس ام اضافه کردند، و مدل جدید را همراه با نسخه‌ی اولیه‌ی آن، با

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

حاضر به دنبال تعیین سازگار بودن یا سازگار نبودن این مدل در مناطق مختلف استان فارس است.

### مواد و روش ها

برای بررسی رسوب آب گیر بندهای کوتاه با استفاده از بررسی های میدانی، پنج زیرحوزهی آبخیز که بندهای کوتاهی با شرایط مورد نیاز در آن ها بود، انتخاب شد. انتخاب بندهایی با مساحت کم حوزهی آبخیز، با عمر حدود ۱۰ سال، بی سرریز و بی هیچ عملیات ساختمانی در مسیر آبراه بالادست (همگن بودن حوزهی آبخیز بالادست)، مهم ترین معیارهای انتخاب بندها بوده است.

### منطقه ی پژوهش

موقعیت بندهای منتخب در استان فارس و محل های نمونه برداری در آب گیر بندها در جدول ۱، برخی از ویژگی های حوزهی آبخیز در جدول ۲ و تصاویری منتخب از موقعیت بندها در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

ریخت سنجی (مورفومتری) و روش افاس ام بررسی شد. در روش افاس ام برای تعیین میزان رسوب سالانه از شش ویژگی نمره دهی (پستی و بلندی، آب کندها، پوشش گیاهی، سنگ شناسی، 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 می توان نتیجه گرفت کرد که این روش به دلیل سادگی کاربرد روشی مناسب است. اما این روش برای اسپانیا طراحی شده و مدل اصلی آن در بعضی از نقاط کشور سازگاری نداشته است. بنابراین برای ارزیابی آن در شرایط و ویژگی های ایران بررسی صحت سنجی، و در صورت لزوم واسنجی آن در مناطق مختلف کشور از جمله استان فارس ضروری است. با توجه به نبودن ایستگاه های رسوب سنجی در حوزه های آبخیز کوچک، اجرای این تحقیق و پژوهش های مشابه در نقاط مختلف کشور الزامی است. پژوهش

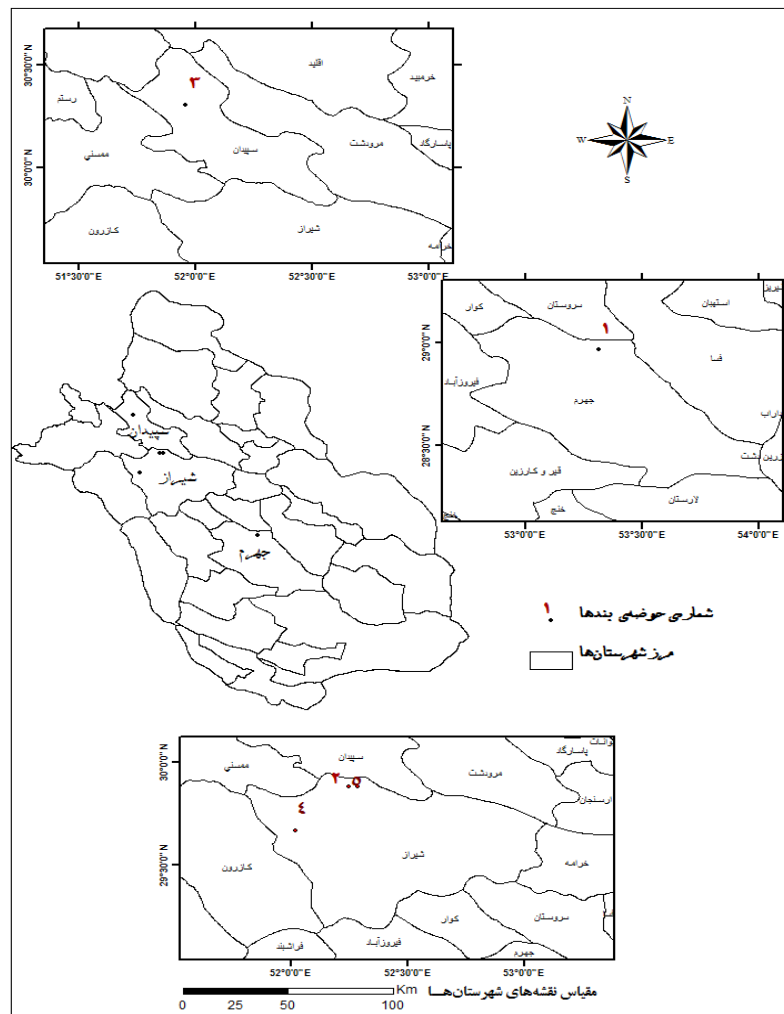
جدول ۱- مشخصات بندهای کوتاه منتخب در استان فارس.

شماره ی زیرحوزه ی آبخیز در نقشه	نام زیرحوزه ی آبخیز	تعداد بند	موقعیت جغرافیایی		شهرستان	سال احداث	طول عمر بند	مساحت حوزه ی آبخیز (هکتار)	ارتفاع بند
			عرض	طول					
۱	خاوران	۱	۲۸°۵۸'۰۲"	۵۳°۱۹'۰۱"	چهرم	۱۳۸۴	۹	۲۴۴۴/۲	۱۲/۵
۲	کلستان	۱ و ۶۰	۲۹°۵۳'۰۵"	۵۲°۱۷'۲۸"	شیراز	۱۳۸۲	۱۱	۲۸۴۰/۸۷	۱۴/۳۵
۳	سپیدان پیست اسکی	۱	۳۰°۱۸'۲۶"	۵۱°۵۷'۳۱"	سپیدان	۱۳۸۲	۱۱	۴۹۳/۵	۴
۴	چهل چشمه	۴	۲۹°۴۰'۰۴"	۵۲°۰۱'۲۵"	شیراز	۱۳۸۴	۹	۲۶۲/۹	۲*
۵	غرب شیراز	۳	۲۹°۵۳'۰۶"	۵۲°۱۵'۰۴"	شیراز	۱۳۸۴	۹	۷۷/۲۴	۲*

\* حوزه های آبخیز که از چند بند متوالی تشکیل شده، میزان رسوب در پشت هر بند، جداگانه محاسبه شده و آب از روی بند انتهایی آن ها عبور نکرده است.

جدول ۲- ویژگی های حوزه های آبخیز پژوهش شده در استان فارس.

نام زیرحوزه ی آبخیز	شیب متوسط حوزه ی آبخیز (%)	پوشش گیاهی (%)	وضعیت خندق	ضریب گراولیوس	سنگ شناسی 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



شکل ۱- موقعیت بندهای منتخب در استان فارس.



شکل ۲- محل‌های نمونه‌برداری در آب‌گیر بندهای حوزه آبخیز کلستان (خلیلی ۲۰۱۳).



## روش پژوهش

حوزهی آبخیز استفاده شده است (جدول ۳). امتیاز هر عامل به صورت کم، متوسط و زیاد به ترتیب با اعداد ۱، ۲ و ۳ است که با استفاده از پیمایش های صحرائی و تلفیق آن ها با نقشه های زمین شناسی، پستی و بلندی، و مانند آن ها به دست می آید (نبی پی لشکریان ۲۰۱۳).

در مدل تجربی افاس ام از پنج عامل سنگ شناسی، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوزهی آبخیز برای محاسبه ی رسوب دهی

جدول ۳- نحوه ی امتیاز بندی عوامل مدل افاس ام، (هارگوین و همکاران ۲۰۰۵).

ردیف	عامل	امتیاز	تشریح عوامل
۱	پستی و بلندی	۱	دامنه های با شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانه ی اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
۲		۲	دامنه های با شیب ملایم و نزدیک به رودخانه ی اصلی با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
۳		۳	دامنه های با شیب تند و نزدیک به رودخانه ی اصلی با اختلاف ارتفاع بیشتر از ۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
۲	پوشش گیاهی	۱	پوشش سطحی خوب (۷۵٪ سطح حوزه ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
۳		۲	پوشش سطحی متوسط (۲۵ تا ۷۵٪ سطح حوزه ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
۱		۳	پوشش سطحی فقیر (کم تر از ۲۵٪ سطح حوزه ی آبخیز دارای پوشش گیاهی)
۳	خندق ها	۱	فرسایش کناری و خندقی نادر
۲		۲	فرسایش کناری و خندقی کم
۳		۳	فرسایش کناری و خندقی زیاد
۴	سنگ شناسی	۱	آهک، ماسه سنگ و جوش سنگ (درجه ی هوازدگی پایین)
۲		۲	نهشته های رسوبی نئوژن (ریگ و غیره)
۳		۳	مواد با درجه ی هوازدگی بالا (خاک بادرفت یا آهک رس)
۱	شکل	۱	حوزه ی آبخیز کشیده با یک رودخانه ی اصلی به سمت آبگیر، سهم روان آب مستقیم دامنه های مشرف به آبگیر
۵	حوزه ی	۲	سد کم
۳	آبخیز	۳	حوزه ی آبخیز با شکلی بین دایره یی و کشیده
			حوزه ی آبخیز شبه دایره یی با چند رودخانه به سمت آبگیر، سهم روان آب مستقیم دامنه های مشرف به آبگیر
			زیاد

می شود. در مدل افاس ام، این نوع فرسایش عامل دانسته می شود. امتیاز ۳ برای حوزه ی آبخیز با خندق های فراوان است. در حوزه ی آبخیزی که شمار خندق های آن محدود باشد، امتیاز ۲، و برای حوزه ی آبخیزی که هیچ خندقی در آن ها نیست امتیاز ۱ داده می شود. برای عامل شکل، حوزه ی آبخیز کشیده امتیاز ۱، حوزه ی آبخیز دایره یی شکل با رودخانه های متعدد امتیاز ۳، و حوزه های آبخیز با شکلی میان کشیده و دایره یی امتیاز ۲ داده می شود. بعد از امتیاز بندی عوامل پنج گانه ی مدل افاس ام، آن اعداد در هم ضرب می شود و مقدار شاخص افاس ام به دست می آید. با استفاده از این شاخص و براساس رابطه ی ۱ نرخ فرسایش پذیری به دست می آید (ورستران و همکاران ۲۰۰۳). براساس تحقیقات دی و تنه و همکاران (۲۰۰۴) برای به دست آوردن نرخ فرسایش پذیری صحیح در مناطق مختلف، باید این رابطه واسنجی شود.

$$\text{رابطه ی ۱} \quad \text{SSY} = 4193A^{-0.44} + 7.77(\text{FSMI}) - 310.99$$

پس از تعیین نرخ فرسایش پذیری، برای ارزیابی کارایی مدل از روش نش-سانکلیف (۱۹۷۰) استفاده شد (رابطه ۲). از رابطه ی ۳ برای تعیین میانگین

عامل پستی و بلندی در این مدل، براساس شیب دامنه ها و اختلاف ارتفاع میان پست ترین و بلندترین نقطه ی منطقه، امتیاز بندی شد. امتیاز ۱ برای دامنه های کم شیب (اختلاف بلندی کم تر از ۲۰۰ متر یا شیب کمتر از ۴٪)، امتیاز ۲ برای حوزه ی آبخیز با پستی و بلندی تپه ماهوری (اختلاف بلندی ۲۰۰-۵۰۰ متر یا شیب بین ۴ و ۱۰٪) و امتیاز ۳ برای حوزه ی آبخیز با شیب و بلندی زیاد (اختلاف بلندی بیش از ۵۰۰ متر یا شیب بیش از ۱۰٪) داده می شود (نبی پی لشکریان ۲۰۱۳).

در مدل افاس ام برای تشریح پوشش خاک و مقاومت آن در برابر بارندگی از نقشه ی پوشش گیاهی استفاده شد. عامل سنگ شناسی براساس جنس و ترکیب واحدهای سنگی حوزه ی آبخیز است. مطالعات مختلفی نشان داده اند که حوزه ی آبخیز با سنگ شناسی آهک رس، بار رسوبی بیشتری از شیست، سنگ آهک و ماسه سنگ دارد. در میان انواع فرسایش هایی که در یک حوزه ی آبخیز شکل می گیرد (شیاری، بین شیاری، هزاردره، خندقی و غیره) فرسایش خندقی در مجموع مقدار رسوب بیشتری تولید می کند. این نوع فرسایش بیشتر در میان واحدهای آهک رسی و واحدهای به سن نئوژن ایجاد

نسبی مربعات خطا استفاده شده است.

$$ME = 1 - \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / \sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2]}{2} \quad \text{رابطه ی ۲}$$

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i}} \quad \text{رابطه ی ۳}$$

در آن (تن در کیلومتر مربع در سال) رابطه‌ی رگرسیونی برقرار می‌شود. سپس رسوب حاصل از مساحت از رسوب بندها کم کرده می‌شود و رسوب باقی مانده<sup>۵</sup> به دست می‌آید. بعد از این مرحله بین شاخص افاس ام و باقی مانده‌ی رسوب رابطه‌ی رگرسیونی برقرار کرده می‌شود و معادله‌ی آن به دست می‌آید. در انتها میزان رسوب حاصل از معادلات دو رگرسیون قبل با هم جمع کرده، و نرخ فرسایش پذیری حوزه‌ی آبخیز توسط این مدل (تن در کیلومتر مربع 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.

$$SSY = 148.41A^{0.0085} \quad \text{رابطه ی ۴}$$

بعد از امتیاز بندی عوامل پنج گانه‌ی مدل افاس ام، اعداد در هم ضرب شد و مقدار شاخص افاس ام به دست آمد (جدول ۴).

که در آن SSY نرخ فرسایش پذیری حوزه‌ی آبخیز (تن در کیلومتر مربع)، A مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع)، شاخص افاس ام حاصل ضرب امتیاز عوامل پنج گانه، ME شاخص ارزیابی کارایی، RRMSE میانگین نسبی مربعات خطا،  $O_i$  اندازه‌ی رسوب،  $O_m$  میانگین مقادیر مربوط به اندازه‌گیری رسوب و  $P_i$  داده‌ی برآورد رسوب مدل افاس ام و اسنجی شده است.

برای واسنجی رابطه‌ی ورستراتن در مناطق مختلف، ابتدا بین مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع) و رسوب اندازه‌گیری شده در بندهای ساخته شده

جدول ۴- امتیاز عامل‌ها و ضریب افاس ام در زیرحوزه‌های آبخیز بررسی شده.

شاخص افاس ام	شکل حوزه‌ی آبخیز	سنگ شناسی	فرسایش خندقی	پوشش گیاهی	پستی و بلندی	زیرحوزه‌ی آبخیز
۲۴/۳۷	۲	۱/۵۶	۱	۳	۲/۶	خاوران
۲۰/۷۵	۱/۸۱	۱/۹۵	۱/۱۵	۲/۱۳	۲/۴	کلستان
۱۰/۴۹	۱/۰۳	۲/۰۱	۱/۰۱	۱/۷۵	۲/۸۶	پیستاسکی
۴۴/۶۵	۱	۲/۸	۲/۸	۲/۰۳	۲/۸	چهل چشمه
۱۹/۵۵	۱	۲/۹۹	۱	۲/۵۲	۲/۶	غرب شیراز

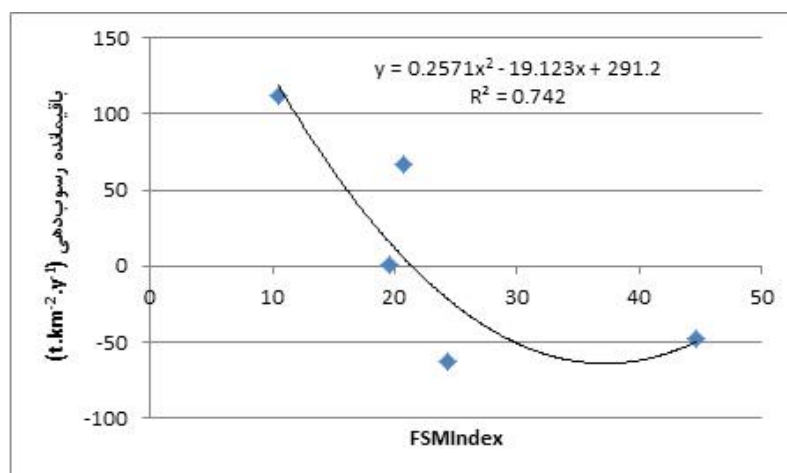
رابطه‌ی رگرسیونی بین ضریب افاس ام و باقی مانده‌ی رسوب هر کدام از بندها برقرار شد (رابطه ۵).

$$ResidualSSY = 0.2571 * FSMIndex^2 - 19.123FSMIndex + 291.2 \quad \text{رابطه ی ۵}$$

معادله‌ی نهایی به شکل رابطه‌ی ۶ دیده می‌شود.

$$SSY = 148.41A^{0.0085} + 0.2571 * FSMIndex^2 - 19.123FSMIndex + 291.2 \quad \text{رابطه ی ۶}$$

ضریب تعیین این رابطه  $R^2 = 0.742$  است که عددی پذیرفتنی است. رابطه‌ی رگرسیونی برقرار شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- رابطه‌ی رگرسیونی بین مقادیر ضریب افاس ام و باقی مانده‌ی رسوب در بندهای بررسی شده.

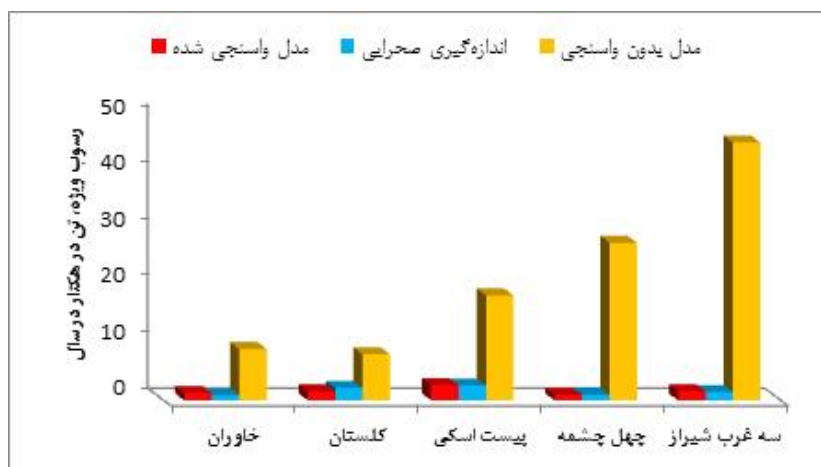
۱/۷۳ تا ۲/۶۲ تن در هکتار در سال تغییر کرده، و میزان رسوب برآوردی مدل واسنجی شده ۱ تا ۲/۶۹ تن در هکتار در سال متغیر است، که نشان از تطابق مدل واسنجی شده با رسوب واقعی زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش دارد. چولگی داده‌ها در هر دو مورد رسوب بندها و مدل واسنجی شده مثبت و به ترتیب ۰/۴۳ و ۱/۳۵ است، که نشان دهنده‌ی تجمع مقادیر رسوب دهی کمتر از مقدار میانگین است.

مقایسه‌ی توصیفی نتایج اندازه‌گیری رسوب زیرحوزه‌های آبخیز از راه رسوب‌سنجی آب‌گیر بندها در مقایسه با مقادیر برآورد شده از راه مدل افاس ام قبل از واسنجی، بسیار متفاوت است و نشان از بیش‌برآوردی زیاد مدل واسنجی نشده دارد (جدول ۵ و شکل ۴). این درحالی است که مقدار رسوب حاصل از برآورد مدل افاس ام واسنجی شده با نتایج اندازه‌گیری شده در بندها تطابق بسیار زیادی دارد. حداقل و حداکثر اندازه‌گیری رسوب بندها

جدول ۵- مقایسه‌ی رسوب ویژه حاصل از مدل (قبل و بعد از واسنجی) و اندازه‌گیری شده در آب‌گیر بندهای مورد تحقیق.

نام زیرحوزه‌ی آبخیز	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)		
	مدل واسنجی شده	اندازه‌گیری شده	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





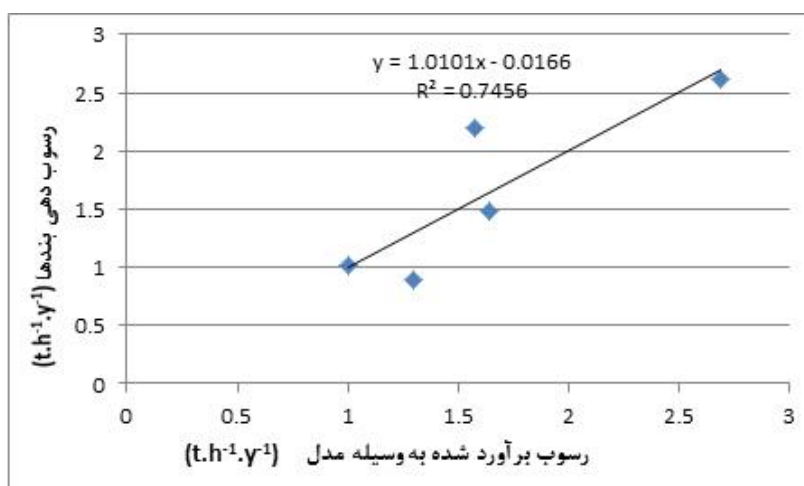
شکل ۴- مقادیر رسوب ویژه اندازه‌گیری شده و حاصل از مدل قبل و بعد از واسنجی.

آبخیز پژوهش در استان فارس و دادن مدل پیش‌بینی رسوب‌دهی، از این مدل نیمه کمی استفاده شد. در این روش پنج عامل پستی و بلندی، شکل حوزه‌ی آبخیز، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و عامل خندق برای برآورد رسوب‌دهی با در نظر گرفتن 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 استفاده شده در اسپانیا بی‌اعمال واسنجی بهره‌گرفتند و این مدل را تأیید کردند، مغایرت دارد. رابطه‌ی میان رسوب‌دهی برآورد شده با مدل واسنجی شده و رسوب‌دهی اندازه‌گیری شده‌ی بندها نشان‌دهنده‌ی ضریب تعیین زیاد است  $R^2 = 0.7456$  (شکل ۵).

برای ارزیابی کارایی 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  $0.755$  محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی کارایی زیاد این مدل است. برای نشان دادن توانایی این مدل از میانگین نسبی مربعات خطای مدل آر.آر.ام.اس.ای<sup>۱</sup> استفاده شد. هرچه این مقدار به عدد صفر نزدیک باشد، اعتبار مدل بیشتر است. در این پژوهش، این مقدار  $0.246$  محاسبه شد، که نشان‌دهنده‌ی خطای کم است، بنابراین، مدل واسنجی شده توان خوبی برای تخمین رسوب‌دهی زیرحوزه‌های آبخیز پژوهش دارد.

#### نتیجه‌گیری

برای تعیین میزان کارایی مدل افاسام در برآورد رسوب‌دهی زیرحوزه‌های



شکل ۵- رابطه‌ی رسوب برآوردی مدل واسنجی شده و رسوب اندازه‌گیری شده.

مدل در جایی جز محل اصلی آن یعنی اسپانیا، باید واسنجی صورت پذیرد. به علت اهمیت واسنجی مدل های فرسایش و رسوب در اقلیم های مختلف استان، پیشنهاد می شود پژوهش های آینده با مدل های جدیدتر انجام شود، و مدل ها با هم و با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه شوند.

این نتیجه با نتیجه گیری پژوهش های دی ونته و همکاران (۲۰۰۴)، هارگوین و همکاران (۲۰۰۵)، دی ونته و همکاران (۲۰۰۶)، عطاپور فرد و همکاران (۲۰۱۲)، و نبی پی لشکریان و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. این پژوهشگران بعد از این که مشاهده کردند که مدل اصلی جوابی پذیرفتنی نمی دهد آن را واسنجی کردند، و به جوابی پذیرفتنی دست یافتند. بنابراین، برای کاربرد این

## منابع

- Atapour Fard A, Moradi Sharaf M, Shoaee 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 Moeeyersons 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 catchment 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, Ruštai 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 semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates. Geomor-

phology. 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.

