

## بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه آبخیز ایوانکی با استفاده از مدل‌های MPSIAC، FSM و ایستگاه رسوب‌سنجی

**شیرین محمدی‌ها، دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات\***  
**حمیدرضا پیروان، استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی**  
**رضا موسوی حرمی، استاد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد**  
**سادات فیض‌نیا، استاد، گروه منابع طبیعی دانشگاه تهران**  
**رضا بیات، عضو هیئت علمی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی**

### چکیده

فرسایش خاک و رسوب‌زایی یکی از مسائل مهم زیست محیطی مطرح در جهان است و خسارات زیادی برای حیات و اکوسیستم بر جا می‌گذارد. به منظور حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی در حوزه آبخیز ایوانکی و به علت عدم وجود آب‌بند و مخزن در حوزه که بتوان حجم کل رسوبدهی سالانه را بر اساس آن تعیین نمود، برای برآورد میزان فرسایش خاک و رسوب‌زایی از مدل‌های نیمه کمی FSM (Factor Scoring Method) و MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency) استفاده شد. حوزه آبخیز ایوانکی با مساحت ۸۰۰ کیلومتر مربع، در جنوب شرقی استان تهران واقع شده است که رودخانه اصلی آن (ایوانکی) دارای طولی در حدود ۵۰ کیلومتری باشد. با بررسی نقشه‌های پایه از جمله نقشه‌های توپوگرافی و سنگ‌شناسی منطقه که در محیط Arc GIS رقومی گردیدند و با بازدیدهای صحرائی در مدل FSM، پنج عامل محیطی: پستی و بلندی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی، سنگ‌شناسی و شکل حوضه و دو عامل تکمیلی این مدل یعنی اقلیم و حفاظت خاک بررسی و امتیازدهی شدند. به هر کدام از این عوامل، امتیازی بین ۱ تا ۳ (فرسایش کم تا زیاد) داده شد. در روش MPSIAC، نه عامل محیطی: زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، اقلیم، پستی و بلندی، رواناب، پوشش زمین، کاربری اراضی، فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند و نمره دهی شدند. در این تحقیق با استفاده از مدل شبیه‌ساز باران، میزان رسوبدهی سازندهای فرسایش‌پذیر بررسی و دسته‌بندی گردیدند. با در نظر گرفتن ارزش‌های کمی برای هر یک از عوامل و وارد نمودن آن در رابطه مربوط به مدل FSM و MPSIAC در محیط GIS، میزان رسوب بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع و تن در هکتار در این حوضه

آبخیز به دست آمد. میزان رسوبزایی برای مدل FSM برابر ۰/۹۱ تن در هکتار در سال و برای مدل MPSIAC به میزان ۳/۲۱ تن در هکتار در سال برای کل حوزه برآورد گردید که در کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد. در نهایت ارقام برآوردی با میزان بار رسوبی محاسباتی ۲۲ ساله اخیر ایستگاه رسوب‌سنجی ایوانکی یعنی ۰/۹۳ تن در هکتار در سال مقایسه و مشخص گردید مدل FSM نتیجه نزدیکتری با برآورد رسوب از ایستگاه رسوب‌سنجی نسبت به MPSIAC نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش و رسوب، مدل FSM، مدل MPSIAC، شبیه سازان باران، GIS، ایوانکی.

## مقدمه

فرسایش شامل تمام موادی است که در نتیجه هوازدگی سنگ ها و یا هدررفت خاک ایجاد می‌شود (فیض نیا ۱۳۸۷). فرسایش خاک از مسائل و مشکلات مهم محیط زیست به شمار می‌رود و همه ساله میلیون‌ها تن رسوب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن و سدها انباشته می‌شود و هزینه سنگینی صرف لایروبی دریاچه‌ها و مخازن و سدها می‌شود (Goldman et al. 1968). همچنین سیلاب‌های مکرر و از بین بردن و شستن جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی و آلوده نمودن آب شرب، ضررهای جبران‌ناپذیری به انسان و اکوسیستم وارد می‌نماید. فرسایش خاک امری اجتناب‌ناپذیر است که فعالیت‌های بشری می‌تواند آن را کاهش و یا افزایش دهد.

حوزه آبخیز ایوانکی در جنوب شرقی تهران (شکل ۱)، به دلیل شرایط طبیعی، وجود سازندهای فرسایش‌پذیر، فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و دامپروری دارای پتانسیل رسوبدهی بالایی می‌باشد. برآورد میزان تولید رسوب و پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش به منظور حفاظت خاک در این منطقه لازم به نظر می‌رسد. به علت عدم وجود مخازن یا مسیل در حوزه آبخیز ایوانکی، اطلاعات و آمار مربوط به دبی آب و میزان حجم رسوب سالانه به طور دقیق و کامل وجود نداشت، لذا کاربرد روش‌های تجربی مناسب برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوب‌زایی لازم به نظر رسید.

## روش مطالعه

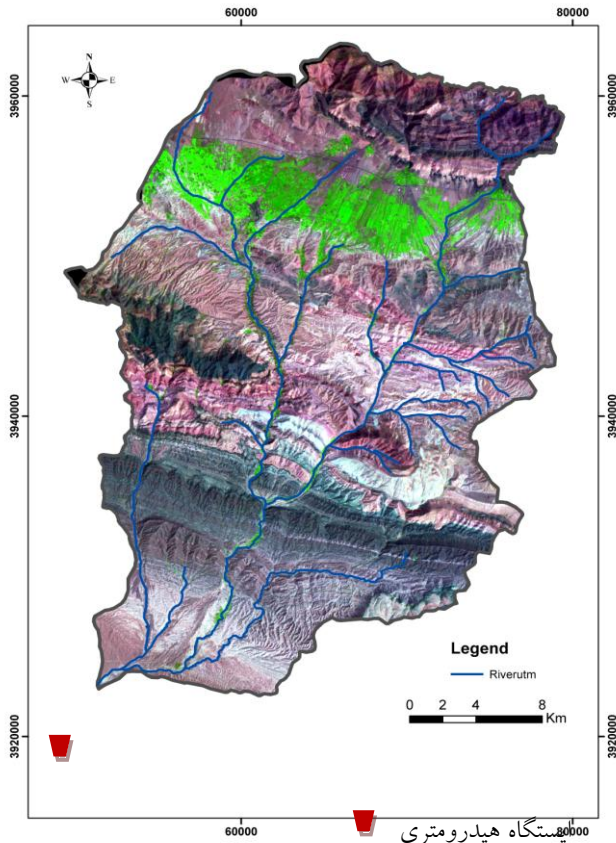
مدل‌های انتخاب شده بر اساس شرایط آب و هوای منطقه مورد مطالعه، سادگی و عملی بودن روش مورد نظر و قابل استفاده بودن آن‌ها می‌باشند (رفاهی ۱۳۸۸). مدل PSIAC در سال ۱۹۶۸ توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا ارائه گردید با ۹ عامل فرسایش معرفی گردید و از آن هنگام در ایران استفاده می‌گردد. در سال ۱۹۸۲ عوامل محیطی ۹ گانه پسپاک به صورت معادلات عددی و اصلاح ضریب فرسایش در آمد که این مدل اصلاح شده به MPSIAC شهرت یافت (Johnson and Gebharad) 1982. این مدل به دلیل آنکه بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک را برای محاسبه فرسایش و تولید رسوب در نظر گرفته، جامع‌تر از روش‌های دیگر است. (جدول ۱).

مدل امتیازدهی FSM (جدول ۲) که یکی از جدیدترین مدل‌های محاسبه حجم رسوبدهی سالانه است، این مدل برای نخستین بار در سال ۲۰۰۳ برای تعیین نرخ فرسایش‌پذیری در حوضه‌های آبخیز اسپانیا مورد استفاده قرار گرفت (Verstraeten et al. 2003) و در سال ۲۰۰۵ اصلاح شد (De Vente and Poesen 2005). در سال ۱۳۸۴، برای اولین بار در ایران از این مدل برای برآورد میزان رسوبدهی حوضه آبخیز لاتشور استفاده نمودند (خدای و همکاران ۱۳۸۴). با استفاده از این روش در اتیوپی و مطالعه داده‌های مخازن سدها، با افزودن دو عامل عملیات حفاظتی و اقلیم به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش به مدل FSM این مدل تکمیل شد (Haregeweyn et al. 2005).

### موقعیت جغرافیایی منطقه

حوزه آبخیز رودخانه ایوانکی با وسعت ۸۰۰ کیلومتر مربع بخشی از حوزه آبخیز کویر مرکزی ایران است در جنوب شرقی استان تهران واقع شده است (شکل ۱). این حوزه دارای طول خاوری ۵۲،۱' تا ۵۲،۲۱' و عرض شمالی ۳۵،۲۰' تا ۳۵،۴۳' می باشد. بخش شمالی آن رشته

کوه‌های البرز مرکزی و بخش جنوبی آن به شهرستان ایوانکی منتهی می گردد. رودخانه اصلی آن به همین نام از شمال به جنوب به طول ۵۰ کیلومتر در جریان است. به طور عمده سازندهای زمین شناسی قدیم تر و سخت تر در قسمت شمالی حوزه و سازندهای فرسایش پذیر نئوژن در بخش میانی تا انتهایی حوضه دیده می شوند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز ایوانکی در ایران

فاکتورهای فرسایش و بازدید صحرائی برای شناسایی منطقه و وضعیت حوزه آبخیز، از تصاویر ماهواره‌ای (Landsat 2001/Aster 2006) و تصاویر Google Earth 2009 استفاده گردید (شکل ۱). به منظور تعیین محدود حوزه، نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ چهار گوش- های: ارادان، سربندان، دماندو ایوانکی (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۸۲) منطقه و نقشه‌های سنگ شناسی با

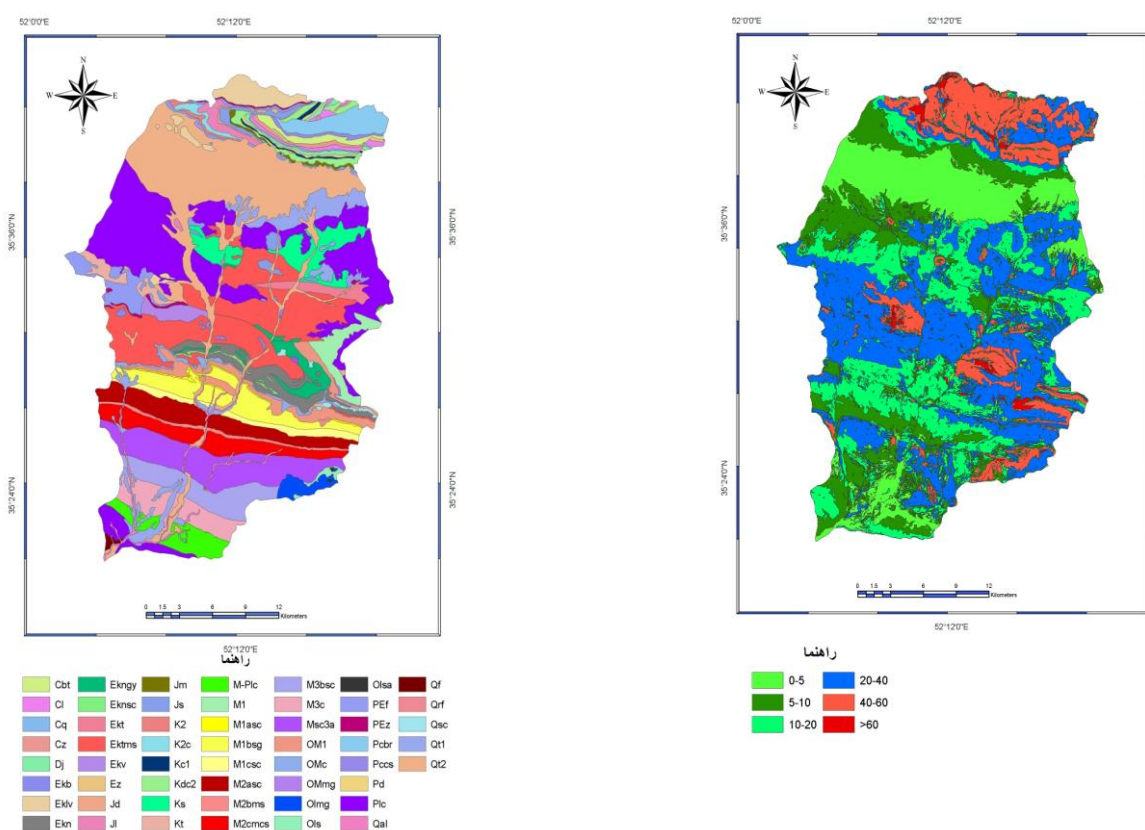
در این تحقیق برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌زایی حوزه آبخیز ایوانکی از دو مدل برآورد فرسایش و رسوب MPSIAC و FSM استفاده گردید و بین نتایج این دو مدل با برآورد رسوب سالانه توسط ایستگاه رسوب‌سنجی مقایسه انجام گرفت. در سازندهای حساس به فرسایش نیز تلفات خاک به کمک شبیه‌ساز باران بدست آمد و نتایج آن با دو مدل یاد شده مقایسه شد. در این راستا قبل از امتیازدهی به

بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، کاربری اراضی در محیط Arc GIS به صورت یک لایه ضبط گردید.

از خاک سطحی واحدهای کاری، نمونه برداری و بافت نمونه‌های خاک برای استفاده در مدل MPSIAC (فاکتور فرسایش پذیری خاک) در آزمایشگاه تعیین شد. در آنالیز بافتی نمونه‌های خاک درصد سیلت، رس و ماسه هر نمونه خاک تعیین گردید که برای امتیاز دهی به عامل خاک از آن استفاده گردید.

مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (گرمسار ۱۳۸۳ و دماوند ۱۳۸۲) مورد مطالعه قرار گرفتند و رقومی گردیدند (شکل ۲). به منظور نمره دهی به عوامل فرسایش در این دو مدل در مواردی که خود فاکتور فرسایش، دارای نقشه و لایه مستقل برای مطالعه و امتیاز دهی در محیط Arc GIS بود از خود آن لایه اطلاعاتی استفاده گردید و در غیر این صورت از نقشه واحد اراضی (سیمای فرسایش کشور ۱۳۸۲) به عنوان واحد کاری و نمره دهی به عنوان نقشه پایه استفاده شد.

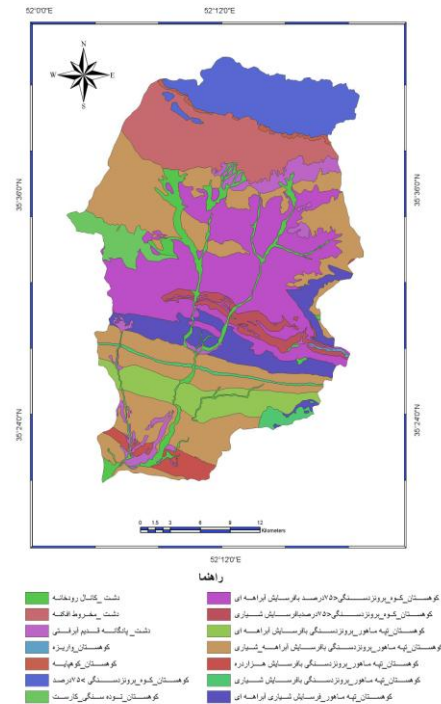
امتیازات داده شده برای هر واحد با توجه با استفاده از اطلاعات حاصل از پیمایش‌های صحرایی و تلفیق آنها با



شکل ۲- نقشه شیب (سمت راست). نقشه لیتولوژی حوزه آبخیز ایوانکی (سمت چپ). حروف اختصاری واحدهای سنگ شناسی، برگرفته شده از راهنمای نقشه‌های گرمسار و دماوند با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۸۲-۱۳۸۳).

در منطقه که موقعیت جغرافیایی آنها بر روی نقشه واحدهای اراضی از قبل تعیین گردیده، و در دامنه‌های با شیب کمتر از ۳۰ درصد صورت گرفت. رواناب و رسوب نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید و میزان متوسط حجم رواناب و وزن رسوب به دست آمد. بر اساس مقادیر میانگین تولید رسوب و انحراف معیار بین داده‌ها (حجم رواناب) در محیط SSPS میزان حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی به ۵ رده: بسیار کم-کم-متوسط-زیاد و بسیار زیاد تقسیم گردید (جدول ۱). ذکر این نکته ضروری است که آزمایش شبیه‌ساز باران فقط بر روی سازندهای فرسایش پذیر و آبرفت‌ها که دارای شیب ملایم کمتر از ۳۰ درصد بوده و امکان دسترسی به آنها مقلدور بود، انجام گردید. با مقایسه متوسط مقادیر رسوب به دست همچنین هر واحد زمین شناسی موجود در منطقه بر اساس درجه حساسیت نسبت به فرسایش کم به زیاد با تلفیق روش پیشنهادی (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۸۵ و فیض‌نیا ۱۳۷۴) و از نتایج حاصل از باران‌ساز در محیط GIS رتبه‌ای بین اعداد ۱ تا ۱۰ داده شد (جدول ۲، ردیف ۱).

رتبه‌بندی واحدهای سنگی بر اساس میزان فرسایش پذیری آنها، با توجه به این که بررسی سنگ شناسی یک حوزه آبخیز از اهمیت خاصی در میزان فرسایش و تولید رسوب برخوردار است، در هر دو مدل MPSIAC و FSM، بر آورد رسوب به عنوان یک عامل مهم در امتیازدهی عامل فرسایش پذیری مطرح است. به دلیل آنکه در هر دو مدل مطالعه این عامل توصیفی بوده و از جامعیت لازم برخوردار نبود، لذا علاوه بر باز دیدهای صحرائی از روش پیشنهادی (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۸۵) و (فیض‌نیا ۱۳۷۴) استفاده گردید. همچنین در سازندهای حساس به فرسایش موجود در منطقه (واحدهای مارنی) به کمک-آزمایش شبیه‌ساز باران در هر واحد سنگی میزان فرسایش خاک و تولید متوسط رسوب هر واحد، اندازه‌گیری شد و نتایج آن در طبقه بندی نهایی سازندها منظور گردید (جدول ۱). به منظور بررسی حساسیت سازندهای موجود در منطقه نسبت به فرسایش و تولید رسوب و رواناب از دستگاه شبیه‌ساز باران قابل حمل (ابعاد سطح بارش ۲۵×۲۵ سانتی‌متر) استفاده گردید. آزمایش شبیه‌ساز باران در ۹ واحد کاری با ۳ تکرار (در مجموع ۲۷ پلات آزمایشگاهی)



شکل ۳- نقشه ژئومرفولوژی حوزه آبخیز ایوانکی

جدول ۱- مقایسه میانگین رواناب و رسوب به دست آمده در واحدهای لیتولوژی عمده در حوزه آبخیز ایوانکی حاصل از نتایج آزمایش شبیه ساز باران ورتبه بندی آنها. (سطح بارش  $25 \times 25$  سانتی متر و میزان بارش ۸ دقیقه)

امتیاز عامل سنگ شناسی مدل MPSIAC	حساسیت سازند	مقدار متوسط رسوب (g)	حجم متوسط رواناب (cc)	سنگ شناسی	نام واحد لیتولوژی	نام سازند
۵	کم	۳۲/۵۷	۴۱۰	آبرفت	Q	پادگانه آبرفتی قدیمی
۲	بسیار کم	۳/۳	۲۸۳	کنگلو مریا-ماسه سنگ	Plc	کهریزک
۱۰	بسیار زیاد	۷۵/۶۲	۸۲۰	مارن-شیل	M3	بخش بالای قرمز بالایی
۸	زیاد	۵۳/۵۸	۶۵۰	مارن - ماسه سنگ	M2	بخش میانی قرمز بالایی
۵	کم	۲۷/۰۶	۶۰۳	مارن- ماسه سنگ- شیل	M1	بخش پایین قرمز بالایی
۴	کم	۲۷/۵۲	۶۲۰	سنگ گچ - مارن دریایی	Omgm	سازندقم
۹	بسیار زیاد	۶۹/۶۱	۶۹۰	گچ- مارن	Ekngy	سازند کند
۲	بسیار کم	۱۱/۰۴	۳۶۶	توف	Ektms	سازند کرج
۹	بسیار زیاد	۷۰/۶۵	۸۵۵	شیل قرمز	Ks	کرتاسه (شیل)

**مدل MPSIAC<sup>1</sup>**

در مدل نیمه کمی MPSIAC، نه عامل در فرسایش بررسی و بستگی به میزان فرسایش پذیری آن‌ها امتیازدهی صورت می‌گیرد. سپس با استفاده از معادلات تعیین شده برای هر عامل (Johnson and Gebhardt 1982)، تصحیح ضرایب صورت می‌گیرد (جدول ۲). عوامل نه‌گانه‌ی فرسایش به شرح زیر می‌باشند

- زمین‌شناسی سطحی: با بازدیدهای صحرایی و آزمایش شبیه‌سازباران در هر واحد سنگی، میزان هدر رفت خاک و تولید رسوب هر واحد فرسایش پذیر اندازه‌گیری شد. با مقایسه متوسط مقادیر رسوب به دست آمده در واحد لیتولوژی و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن (جدول ۱) فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی در چهار رده کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شدند. همچنین هر واحد زمین‌شناسی موجود در منطقه بر اساس درجه حساسیت نسبت به فرسایش کم به زیاد باتلفیق روش پیشنهادی (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۸۵ و فیض‌نیا ۱۳۷۴) و نتایج حاصل از باران‌ساز در محیط GIS رتبه‌ای بین اعداد ۱ تا ۱۰ داده شد (جدول ۱ و جدول ۲، ردیف ۱).

- خاک: برای امتیازدهی به این عامل، از خاک واحدهای کاری تعیین‌شده منطقه نمونه‌برداری شد و همگی آن‌ها مورد آنالیز بافت قرار گرفتند. در این آزمایش درصد سیلت، رس و ماسه هر نمونه خاک تعیین گردید، سپس با استفاده از مثلث بافت خاک (Goldman et al. 1986)، ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K) برای هر نمونه به دست آمد که با استفاده از رابطه  $Y_2 = 16/67 X_2$  (رفاهی ۱۳۸۸) این ضریب اصلاح گردید (جدول ۲، ردیف ۲).

- اقلیم (آب و هوا): برای بدست آمدن این عامل نیاز به میزان بارش ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله است که با استفاده از اطلاعات آماری ایستگاه هواشناسی نزدیک به

حوزه آبخیز ایوانکی (تماب ۱۳۸۶)، وبا استناد به روابط به- دست‌آمده توسط (وزیری ۱۳۶۹، ۱۳۷۶) این میزان برآورد شد (جدول ۲، ردیف ۳).

- **رواناب:** برای به دست آوردن امتیاز رواناب (X4) با توجه به فرمول ضریب اصلاح شده (۱):

$$X_4 = 0.2 / (0.3R + 5.0Qp) = 0.06R + 1.0Qp \quad (1)$$

نیاز به ارتفاع سالانه (R) بر حسب میلی‌متر، دبی ویژه اوج سیلاب (Qp) بر حسب متر مکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع می‌باشد برای محاسبه میزان ارتفاع رواناب سالانه از آمار دبی روزانه میزان حجم آب خروجی از حوزه محاسبه گردید. از جمع احجام آب خروجی روزانه در مدت یک سال و تقسیم آن‌ها بر مساحت حوضه میزان ارتفاع رواناب برآورد گردید.

به دلیل آنکه آمار ایستگاه هیدرومتری در این منطقه کامل نبود با استناد به اطلاعات واحد اراضی و اقلیم، برای محاسبه دبی ویژه (Qp) اوج رواناب ماکزیمم از روش SCS استفاده شده است (علیزاده ۱۳۸۶). (نمودار ۱، جدول ۲، ردیف ۴).

- **توپوگرافی:** برای امتیازدهی به عامل توپوگرافی از نقشه شیب تهیه شده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده گردید. با استناد به این نقشه و بازدیدهای صحرایی، شیب متوسط حوضه آبخیز در محیط Arc GIS به دست آمد. سپس با استفاده از ضریب اصلاح MPSIAC این عامل تصحیح گردید (جدول ۲، ردیف ۵).

- **پوشش سطح زمین:** با بررسی وضعیت پوشش گیاهی در نقشه رقومی شده واحد اراضی حوزه آبخیز ایوانکی، تصاویر ماهواره ای ASTER، LANDSAT و تصاویر Google Earth منطقه و بازدید صحرایی، درصد اراضی فاقد پوشش گیاهی (pb) تعیین گردید و با قراردادن آن در معادله اصلاح ضریب،  $Y_6 = 0.2 X_6$  این مقدار اصلاح شد (جدول ۲، ردیف ۶).

<sup>1</sup> Modified Pacific Southwest Inter Agency

جدول ۲- عوامل موثر در فرسایش و روابط ارائه شده در مدل MPSIAC در حوزه آبخیز ایوانکی  
(Johnson and Gebharadt 1982; فیض نیا ۱۳۸۷)

ردیف	عوامل موثر در فرسایش	رابطه ضریب اصلاح شده	شرح پارامترها
۱	زمین شناسی سطحی	$Y_1 = X_1$	X1: شاخص فرسایش زمین شناسی
۲	خاک	$Y_2 = 16/67 X_2$	X2: ضریب فرسایش پذیری خاک
۳	اقلیم	$Y_3 = 0/2 X_3$	X3: میزان بارندگی ۶ ساعته و دور بازگشت ۲ سال
۴	رواناب	$Y_4 = X_4 = 0/006 R + 10 Q_p$	X4: cms/km دبی ویژه پیک سالانه Qp: ارتفاع رواناب (mm) :R
۵	پستی و بلندی زمین	$Y_5 = 0/33 X_5$	X5: درصد شیب متوسط حوضه
۶	پوشش گیاهی	$Y_6 = 0/2 X_6$	X6: درصد اراضی فاقد پوشش گیاهی
۷	کاربری اراضی	$Y_7 = 200/2 X_7$	X7: درصد تاج پوشش گیاهی
۸	فرسایش سطح حوضه آبخیز	$Y_8 = 2/25 X_8$	X8: مجموع امتیاز عامل سطحی خاک در مدل BLM
۹	فرسایش رودخانه‌ای	$Y_9 = 1/67 X_9$	X9: امتیاز فرسایش خندقی در مدل BLM

ضریب اصلاح  $x = SSF$  این عامل تصحیح شد (جدول ۲، ردیف ۸).

- **فرسایش رودخانه‌ای:** برای نمره دهی به این عامل از بررسی فرسایش خندقی و تعیین میزان  $X = S.S.Fg$  با توجه به روش BLM در منطقه استفاده و نمره دهی شد (رفاهی ۱۳۸۸). سپس بر اساس فرمول  $Y_9 = 1/67 X_9$  این نمره تصحیح و امتیاز آن برای کل حوزه آبخیز تعیین شد. در مرحله آخر به منظور برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با تلفیق ستون امتیازات عوامل نه گانه این مدل در محیط GIS، میانگین جمع امتیازات داده شده تعیین گردید و سپس با استفاده از معادله (۲) برآورد میزان رسوب در مدل MPSIAC (Johnson and Gebharadt 1982):

$$Q_s = 0/253 e^{R^{0/36}} \quad (2)$$

- **کاربری اراضی:** این عامل بر اساس نقشه کاربری اراضی حوزه و بازدیدهای صحرایی در هر واحد کاری امتیازدهی شد و میانگین متوسط درصد تاج پوشش در این حوزه آبخیز به دست آمد. سپس اصلاح ضریب، صورت گرفت (جدول ۲، ردیف ۷).

- **فرسایش سطحی:** با استفاده از روش BLM که توسط اداره مدیریت اراضی آمریکا ابداع شده است، ۷ عامل ارزیابی می‌گردد که عبارتند از: حرکت خاک، لاشبرگ، پوشش سنگی سطح زمین، قطعات سنگی تحکیم یافته، شیارهای سطحی، فرم آبراهه‌ها و وجود فرسایش خندقی (رفاهی ۱۳۸۵). در صحرا به هر کدام از این عوامل در هر واحد کاری امتیاز داده شد. با جمع این امتیازات، عامل سطحی خاک (SSF) برای هر واحد کاری به دست آمد که در محیط Arc GIS به ثبت رسید. با توجه به



- **خندق:** در بین انواع فرسایش‌های شیاری، بین شیاری، بدلند و خندقی که در یک حوزه شکل می‌گیرد، فرسایش خندقی در مجموع، مقدار رسوب بیشتری تولید می‌کند. این نوع فرسایش، بیشتر در بین واحدهای مارنی و واحدهای به سن نئوژن ایجاد می‌شود (Verstraeten et al. 2003; De Vente and Poesen 2005). با بازبینی‌های صحرائی و استفاده از تلفیق اطلاعات حاصل از مطالعه عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (سازمان نقشه برداری ایران ۱۳۴۸) و تصاویر ماهواره‌ای (Landsat 2001/Aster 2006)، امتیاز داده شد (جدول ۴، ردیف ۳).

- **عامل لیتولوژی:** توصیف و بررسی واحدهای سنگی سازندهای موجود در حوزه آبخیز که در هر دو مدل نیمه کمی MPSIAC و FSM بررسی می‌گردد را می‌توان به عنوان مهمترین عامل موثر در فرسایش حوزه آبخیز معرفی کرد. این عامل با تمامی عوامل دیگر، به نحوی در ارتباط است. عامل لیتولوژی بر اساس جنس و ترکیب واحدهای سنگی یک حوزه تقسیم و امتیازبندی می‌شود در مدل FSM، امتیاز ۱ برای حوزه‌هایی که از سنگ‌های آهکی، کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند و دارای مقاومت بیشتری در برابر فرسایش و هوازدگی می‌باشند، در نظر گرفته می‌شود. در حوزه‌های پوشیده از واحدهای نئوژن، امتیاز ۲ و حوزه‌هایی که دارای واحدهای سست و رسوبات شامل سیلت و رس (مارن) فراوان هستند، امتیاز ۳ داده می‌شود (Verstraeten et al. 2003; De Vente and Poesen 2005). مطالعات مختلفی نشان داده‌اند که حوزه‌های با لیتولوژی مارن، دارای بار رسوبی بیشتری نسبت به شیست، سنگ آهک و ماسه‌سنگ می‌باشند (فیض نیا ۱۳۷۴ و ۱۳۸۲؛ Lahlou 1988; Woodward J.C. 1995). آزمایش شبیه سازان در منطقه نیز این مسئله را تایید نمود (محمدی‌ها ۱۳۸۸).

بر حسب تن در هکتار در سال برآورد گردید. برای برآورد تولید رسوب سالانه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع از معادله (۳) استفاده شد.

$$Q_s = 18 / e^{0.36R} \quad (3)$$

### مدل FSM<sup>۲</sup>

در مدل FSM از پنج عامل سنگ‌شناسی، توپوگرافی، پوشش گیاهی، فرسایش خندقی و شکل حوزه برای امتیازدهی و محاسبه رسوبدهی حوزه استفاده می‌شود، به-ترتیبی که امتیاز ۱ مربوط به فرسایش‌پذیری کم، امتیاز ۲ مربوط به فرسایش‌پذیری متوسط و امتیاز ۳ مربوط به فرسایش‌پذیری زیاد برای هر عامل فرسایشی موثر در حوزه می‌باشد (Verstraeten et al. 2003; De Vente and Poesen 2005).

- **توپوگرافی:** در این مدل، بر اساس شیب دامنه‌ها و اختلاف ارتفاع بین پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقطه موجود، امتیازبندی انجام می‌شود. برای امتیازدهی به این عامل، علاوه بر پیمایش صحرائی نیاز به نقشه درصد شیب حوزه آبخیز ایوانکی بود. به این منظور از DEM این منطقه استفاده و نقشه درصد شیب رسم گردید. بر اساس تقسیم‌بندی شیب در مدل FSM، نقشه درصد شیب به سه رده در این حوزه آبخیز تفکیک گردید (جدول ۳، ردیف ۱).

- **پوشش گیاهی:** عامل پوشش گیاهی نیز از جمله عواملی است که بر روی نرخ فرسایش‌پذیری حوزه تاثیر بسزایی دارد. برای امتیازدهی به این عامل از نقشه کاربری اراضی و واحدهای کاری استفاده گردید. در بازبینی‌های صحرائی، و بررسی تصاویر ماهواره‌ای، وضعیت و میزان پوشش گیاهی هر واحد کاری مورد بررسی قرار گرفت.

<sup>2</sup> Factor Scoring Model

جدول ۳- تفسیر عوامل مدل FSM (Verstraeten et al, 2003; De Vente and Poesen 2005).

عامل	امتیاز	شرح عامل
توپوگرافی	۱	شیب بسیار ملایم و نزدیک به رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
	۲	شیب ملایم و نزدیک به رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع ۲۰۰-۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
	۳	شیب تند و نزدیک به رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر
پوشش گیاهی	۱	خوب، بیش از ۷۵٪ از سطح حوزه دارای پوشش گیاهی
	۲	متوسط، ۲۵-۷۵٪ از سطح حوزه دارای پوشش گیاهی
	۳	فقیر، کمتر از ۲۵٪ از سطح حوزه دارای پوشش گیاهی
خندقها	۱	بسیار کم و یا بدون خندق
	۲	کم با عمق قابل مشاهده
	۳	زیاد با عمق قابل مشاهده
لیتولوژی	۱	آهک، ماسه سنگ یا کنگلومرا، هوازدگی کم
	۲	نهشته های رسوبی نئوژن، گراول و غیره
	۳	مواد با هوازدگی زیاد، لس و یا مارن
شکل حوزه	۱	کشیده با یک رودخانه اصلی
	۲	بین دایره ای و کشیده، نیمه گرد
	۳	دایره ای شکل با چندین رودخانه اصلی

آبخیز، بررسی و امتیازدهی شدند (Haregeweyn et al. 2008).

- **حفاظت خاک:** با ساخت سازه هادرمسیر آبراهه ها به منظور حفاظت خاک تا حدودی می توان از فرسایش جلوگیری نمود. با بازدیدهای صحرائی انجام گرفته در این حوزه آبخیز در مسیر آبراهه ها و دامنه های پر شیب، جدول امتیازدهی به این عامل نمره داده شد. (جدول ۵).

- **اقلیم:** آب و هوای منطقه به خصوص بارش از جمله عواملی است که می تواند نقش زیادی در میزان فرسایش پذیری یک منطقه داشته باشد. بابررسی شرایط آب و هوایی منطقه و آمار ۲۲ ساله ایستگاه هواشناسی مربوط به منطقه

- **شکل حوزه آبخیز:** از جمله عواملی است که بر روی زمان تمرکز روان آب و تولید رسوب حوزه تاثیر می گذارد. در حوزه های کشیده مسافت حمل و نقل طولانی تر و تاخیر در وقوع سیلاب و در نهایت رسوب کمتری تولید می گردد. (جدول ۴، ردیف ۵).

علاوه بر ۵ عامل امتیازدهی شده برای مدل FSM اولیه (ورثرائنت و همکاران، ۲۰۰۳) و اصلاح شده آن (De Vente et al. 2005) ، در این تحقیق دو عامل تکمیلی در مدل FSM یعنی عملیات حفاظتی خاک و اقلیم به منظور مطالعه دقیق تر این حوزه

می‌باشد (Frattaruolo et al. 2008) به این ترتیب اندیس فورنیه برابر با ۱۷/۱ تعیین گردید (محمدی‌ها ۱۳۸۹) که در رتبه منطقه خشک قرار گرفت و لذا به این عامل در مدل FSM امتیاز ۱ داده شد (جدول ۵).

گرمسار (تماب ۱۳۵۲-۱۳۷۴) میزان بارش ماهانه و سالانه محاسبه گردید و از معادله اصلاح شدم فورنیه (۴):

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pm_i}{P} \quad (4)$$

به منظور طبقه بندی اقلیم استفاده شد، که  $Pm$  میانگین ۱۲ ساله بارش ماهانه و  $Pa$  میانگین ۱۲ ساله بارش سالانه

جدول ۴- تفسیر دو عامل عملیات حفاظتی و اقلیم (Haregeweyn et al. 2008)

مدل FSM و امتیاز داده شده در حوزه آبخیز ایوانکی

عامل	شرح عامل و نحوه امتیازدهی
اقلیم	خشک (اندیس فورنیه زیر ۷۵) - امتیاز ۱
	نیمه خشک (اندیس فورنیه بین ۷۵-۱۵۰) - امتیاز ۲
	مرطوب (اندیس فورنیه بیش از ۱۵۰) - امتیاز ۳
حفاظت خاک	سازه حفاظت خاک زیاد (بیش از ۷۰٪) - امتیاز ۱
	سازه حفاظت خاک متوسط (۳۰-۷۰٪) - امتیاز ۲
	سازه حفاظت خاک کم (کمتر از ۳۰٪) - امتیاز ۳

$SSY =$  نرخ فرسایش پذیری حوزه بر حسب تن در کیلومتر مربع

ایستگاه (رسوب سنجی) ایوانکی

در نهایت به دلیل نبودن مخزن یا آب بند در خروجی حوزه آبخیز ایوانکی به عنوان شاهد که بتوان میزان رسوب تولید سالیانه این حوزه آبخیز را با نتایج به دست آمده از مدل‌های استفاده شده سنجید، سعی گردید از اطلاعات ایستگاه نیدرومتری ۲۲ ساله اخیر موجود در خروجی حوزه آبخیز ایوانکی (تماب ۱۳۸۷؛ جاماب ۱۳۸۲) استفاده شود

بعد از امتیاز بندی عوامل مدل FSM، آن اعداد در هم ضرب شده و مقدار ضریب FSM برابر با ۱۳/۲۴ بدست آمد. که با جایگزینی این مقدار در معادله (۵)، میزان رسوب تولید شده برای حوزه آبخیز ایوانکی برابر با ۰/۹۵ تن در هکتار در سال محاسبه گردید. (جدول ۶).

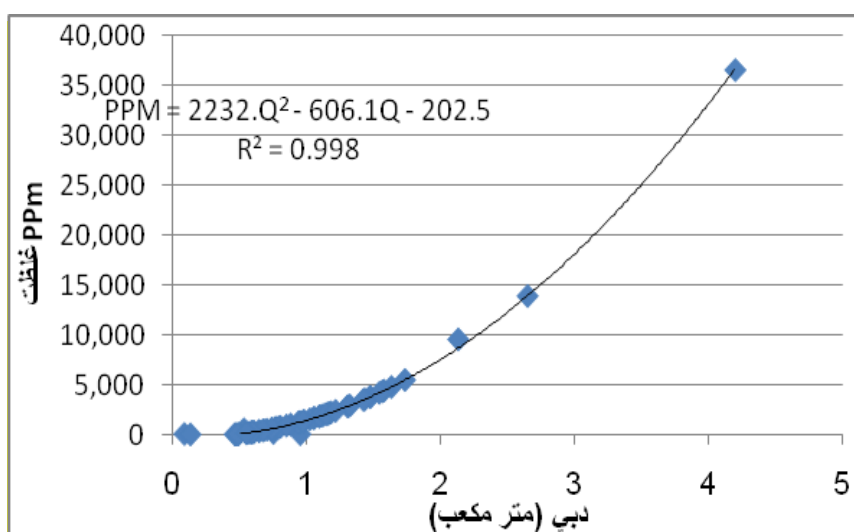
$$SSY = 4139 \quad (5) \quad A^{-0.44} + 7.77 * FSM \text{ index}$$

$A =$  مساحت حوزه آبخیز که در حوزه ایوانکی برابر با ۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد.

$FSM \text{ index} =$  ضریب FSM

است. ولی با توجه به اینکه این مدل در ایستگاه ایوانکی رابطه‌ی خوبی ارائه نمی‌داد از مدل درجه ۲ استفاده گردید (شکل ۴). برای محاسبه میزان ارتفاع رواناب از آمار دبی روزانه میزان حجم آب خروجی از حوزه محاسبه گردید. در این حالت بار رسوبی با انتگرال گیری از حاصل ضرب غلظت و دبی جریان نسبت به زمان برای این حوزه به دست آمد (جدول ۷).

جمع آوری گردید (شکل ۱). براساس بررسی‌های به عمل آمده، بهترین روش برای برآورد بار رسوبی یک رودخانه اندازه گیری مستقیم می‌باشد (Walling 1994). در این روش از آمار مفصلی از تغییرات غلظت که معرف طول دوره زمانی مورد نظر بوده و دبی جریان متناظر می‌باشد استفاده می‌شود بر این اساس آمار دبی-رسوب ایستگاه ایوانکی از سال ۱۳۶۲ الی ۱۳۸۴ تهیه گردید. USBR مدل توانی برای پیش بینی میزان رسوب بر اساس دبی ارائه نموده



شکل ۴- منحنی دبی- غلظت ایستگاه نمارک (دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۶۲)

(رفاهی ۱۳۸۸) این ضریب اصلاح و نمره عامل خاک برابر با ۶/۱۶ تعیین گردید (جدول ۵، ردیف ۲).  
۳- عامل اقلیم برای کل حوزه آبخیز برابر با ۱۹/۹۲ میلی متر تعیین گردید. سپس با جایگزینی در معادله اقلیم (Johnson and Gebharadt 1982) و اصلاح ضریب، مقدار امتیاز به عامل اقلیم برابر با ۳/۹۸ به دست آمد (جدول ۵، ردیف ۳).  
۴- دبی ۰/۷۵ متر مکعب در ثانیه در کیلومتر و امتیاز رواناب برای کل حوزه برابر با ۷/۴۸ = X۴ تعیین گردید (شکل ۴، جدول ۵، ردیف ۴).

## نتایج

نتایج بدست آمده از مدل MPSIAC به شرح زیر می‌باشد (جدول ۲):  
۱- میزان هدر رفت خاک و تولید رسوب هر واحد فرسایش پذیر اندازه گیری شد که میانگین این امتیاز (X1) برابر با ۶/۵۹ تعیین گردید و در محیط GIS به منظور تحلیل نهایی ثبت شد (جدول ۲، ردیف ۱).  
۲- با استفاده از مثلث بافت خاک (Goldman et al. 1986) (۱۹۸۶)، میانگین ضریب فرسایش پذیری خاک (K) برابر با ۰/۳۷ به دست آمد که با استفاده از رابطه  $Y2 = 16/67 X2$

توجه به ضریب اصلاح  $x=SSF$  این عامل  
۱۱/۴۷ محاسبه شد (جدول ۵، ردیف ۸).

۹- فرسایش رودخانه‌ای آخرین عامل فرسایشی در مدل  
MPSIAC است که امتیاز آن برای کل حوزه آبخیز برابر با  
۶/۷۸ تعیین شد.

در مرحله آخر میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با  
تلفیق ستون امتیازات عوامل نه گانه این مدل در محیط GIS،  
میانگین جمع امتیازات داده شده برابر با  $70/84(R)$  تعیین  
شد. میزان رسوب در مدل MPSIAC (Johnson and  
Gebhardt 1982) میزان رسوبزایی سالانه ( $Q_s$ ) برابر با  
۳/۲۱ تن در هکتار در سال و  $236/5$  مترمکعب  
در کیلومتر مربع در سال محاسبه شد (جدول ۶). این میزان  
بیانگر آن است که حوزه آبخیز ایوانکی در طبقه فرسایش  
(III) یعنی نرخ فرسایش متوسط قرار می‌گیرد (رفاهی  
۱۳۸۸).

۵- شیب متوسط حوزه آبخیز در محیط Arc GIS برابر  
با  $20/73$  درصد به دست آمد. که با اصلاح ضریب آن  
MPSIAC امتیاز عامل توپوگرافی برابر با  $6/84$  تعیین گردید  
(جدول ۵، ردیف ۵).

۶- وضعیت پوشش گیاهی در نقشه رقومی شده واحد  
اراضی برابر با  $42/38$  تعیین گردید و با قرارداد آن  
در معادله اصلاح ضریب،  $Y6=0/2 \times 6$  این مقدار برای کل  
حوزه برابر با  $8/47$  به دست آمد (جدول ۵، ردیف ۶).

۷- میانگین متوسط درصد تاج پوشش در این حوزه  
برابر با  $35/29$  به دست آمد که بعد از اصلاح ضرایب، امتیاز  
امتیاز پوشش گیاهی در مدل MPSIAC برابر با  $12/92$   
تعیین گردید (جدول ۵، ردیف ۷).

۸- امتیاز عامل سطحی خاک (SSF) در محیط  
Arc GIS به ثبت رسید و میزان متوسط آن  
برای کل حوزه برابر با  $46/31$  به دست آمد. با

**جدول ۵- امتیازات داده شده به عوامل فرسایشی مدل MPSIAC در حوزه آبخیز ایوانکی**

ردیف	عوامل موثر در فرسایش	امتیاز ضریب اصلاح شده	امتیاز داده شده
۱	زمین شناسی سطحی	$X1=6/59$	$Y1=6/59$
۲	خاک	$X2=0/37$	$Y2=6/16$
۳	اقلیم	$X3=19/92$	$Y3=3/98$
۴	رواناب	$X4=7/48$	$Y4=7/48$
۵	پستی و بلندی زمین	$X5=20/73$	$Y5=6/84$
۶	پوشش گیاهی	$X6=42/38$	$Y6=8/47$
۷	کاربری اراضی	$X7=35/29$	$Y7=12/92$
۸	فرسایش سطح حوزه آبخیز	$X8=46/31$	$Y8=11/57$
۹	فرسایش رودخانه‌ای	$X9=4/06$	$Y9=6/78$

**جدول ۶- طبقه فرسایش و تولید رسوب سالانه به دست آمده با استفاده از مدل MPSIAC**

حوزه آبخیز	مساحت (هکتار)	جمع امتیازات عامل ۹	طبقه فرسایش	میزان فرسایش	تولید رسوب سالانه (تن در هکتار)	تولید رسوب سالانه (مترمکعب در کیلومتر مکعب)
ایوانکی	۸۰۰۰۰	۷۰/۸۴	III	متوسط	۳/۲۱	۲۳۶/۵

نتایج حاصل از استفاده از مدل در FSM حوزه آبخیز

ایوانکی به شرح زیر تعیین گردید:

- توپوگرافی که به عنوان عامل فرسایش هم در مدل MPSIAC و هم در مدل FSM مطرح است و میانگین شیب با توجه به معیارهای مدل اخیر برابر با ۲/۳ برای کل حوزه آبخیز مطرح است تعیین گردید (جدول ۷، ردیف ۱).  
- با تلفیق اطلاعات حاصل در هر واحد کاری، به فاکتور پوشش گیاهی در محیط Arc GIS امتیاز ۲/۵ داده شد (جدول ۷، ردیف ۲).  
- همانطور که در جدول ۷ مشاهده می شود به عامل خندق امتیاز ۱/۵ داده شد.

- مطالعات مختلفی لیتولوژی نشان داده اند که حوزه های با لیتولوژی مارن، دارای بار رسوبی بیشتری نسبت به شیست، سنگ آهک و ماسه سنگ می باشند (فیض نیا ۱۳۷۴ و ۱۳۸۲؛ Woodward 1995; Lahlou 1988). آزمایش شبیه ساز باران در منطقه نیز این مسئله را تایید نمود

(محمدی ها ۱۳۸۸). به عامل لیتولوژی، میانگین امتیاز ۲/۱ داده شد که به صورت یک لایه در محیط Arc GIS ثبت شد. (جدول ۷، ردیف ۴).

- امتیاز فاکتور فرسایشی شکل حوزه آبخیز ایوانکی برابر با ۱/۳ تعیین گردید.

- حفاظت خاک: با بازدیدهای صحرائی انجام گرفته و با توجه به جدول امتیازدهی (Haregeweyn et al. 2005) به این عامل نمره ۱ داده شد. (جدول ۷).

- اقلیم: برای نمره دهی به این عامل، اندیس فورنیه برابر با ۱۷/۱ تعیین گردید (محمدی ها ۱۳۸۹) که در رتبه منطقه خشک قرار گرفت و لذابه این عامل در مدل FSM امتیاز ۱ داده شد (جدول ۷).

بعد از امتیازدهی عوامل مدل FSM، آن اعداد در هم ضرب شده و مقدار ضریب FSM برابر با ۲۴/۱۳ و میزان رسوب تولید شده برای حوزه آبخیز ایوانکی برابر با ۰/۹۱ تن در هکتار در سال محاسبه گردید. (جدول ۸).

**جدول ۷- امتیاز داده شده به عوامل فرسایش مدل FSM در حوزه آبخیز ایوانکی (ضریب FSM)**

عوامل فرسایش	توپوگرافی	پوشش گیاهی	خندقها	لیتولوژی	شکل حوزه	اقلیم	حفاظت خاک
امتیاز در حوزه ایوانکی	۲/۳	۲/۵	۱/۵	۲/۱	۱/۳	۱	۱

**جدول ۸- نتایج به دست آمده از فیزیوگرافی حوزه و امتیازدهی مدل FSM**

نام حوزه	رسوب تولید شده (y/ton/km)	ضریب F	مساحت حوزه (km <sup>۲</sup> )	طول حوزه (km)
ایوانکی	۰/۹۱	۲۳/۵	۸۰۰۰	۴۵/۶۳

حاصل ضرب غلظت و دبی جریان نسبت به زمان برای این حوزه آبخیز برابر با ۰/۷۸ تن در هکتار در سال بدست آمد (جدول ۹).

در آخر تولید رسوب سالانه با استفاده از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری ۲۲ ساله اخیر موجود در خروجی حوزه آبخیز ایوانکی (تماب ۱۳۸۷، جاماب ۱۳۸۲) وانتگرال گیری از

**جدول ۹- برآورد میزان تولید رسوب سالانه حوزه آبخیز ایوانکی با استفاده از ایستگاه رسوب سنجی ۲۲ ساله (سالهای ۱۳۸۴-۱۳۶۲).**

بارمعلق (تن در هکتار در سال)	باربستر (تن در هکتار در سال)	بارکل حوزه آبخیز ایوانکی (تن در هکتار در سال)
۰/۷۸	۰/۱۵	۰/۹۳

کارشناسی این میزان در کشورما بین ۱۵ تا ۳۰ درصد در نظر گرفته می شود (حکیم خانی و فیض نیا ۱۳۸۲). با توجه به شرایط حاکم بر حوزه ایوانکی و نظرات کارشناسی، نسبت بار کف به بارمعلق برای این حوزه ۲۰ درصد تعیین گردید. با افزودن این میزان به بارمعلق به دست آمده از ایستگاه تیدرومتری (رسوب سنجی)، میزان تولید رسوب سالیانه در حوزه آبخیز ایوانکی برابر با ۰/۹۳ تن در هکتار در سال تعیین گردید. لازم به ذکر است که این مقدار می تواند کمتر از میزان واقعی باشد زیرا در حوضه های وسیع، بر جا ماندن و به تله افتادن رسوبات در پشت سدهای رسوبی و در مناطقی که شیب کم می شود زیاد اتفاق می افتد. لذا میزان رسوبی که به خروجی حوضه می رسد کم تر از میزان واقعی می باشد.

### بحث و نتیجه گیری

با تحلیل نتایج حاصل از این تحقیق، مشخص گردید که:

همان طور که مشاهده شد، میزان بار رسوبی به دست آمده از ایستگاه رسوب سنجی کمتر از میزان قابل انتظار از مدل های نیمه کمی استفاده شده در این تحقیق می باشد (جدول ۱۰). ذکر این نکته ضروری است که مقدار تعیین شده توسط ایستگاه رسوب سنجی فقط میزان بارمعلق را نشان می دهد اما آنچه از مدل رسوبی MPSIAC و FSM به دست می آید بار رسوبی کل (بارمعلق و بار بستر) است. وجود مشکلات متعدد در اندازه گیری بار بستر موجب کمبود اطلاعات در مورد آن شده است (Webb and Walling 1987). بسیاری از محققان بر اساس خصوصیات هیدرولیکی هر رودخانه روابطی ارائه داده اند که از دقت کافی برخوردار نیست و دارای تقریب زیاد است. لذا بر اساس نظرات کارشناسی و مطالعاتی که در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است، محققان به طور متوسط نسبت بار بستر به بار معلق را در رودخانه های دشتی ۷ درصد و در رودخانه های کوهستانی ۲۳ درصد اعلام کرده اند (Walling and Webb 1987). با توجه به شرایط اقلیمی و جغرافیایی ایران و نظرات

هاهم خوانی نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک ابزار در این گونه مطالعات مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مشخص شد که فرسایش از قسمت میانی به سمت پایین دست بیشتر از بالادست حوزه ایوانکی است. ۲- با مقایسه برآورد تولید رسوب سالانه با استفاده از مدل رسوبی FSM و MPSIAC و ایستگاه ئیدرومتری مشخص شد که نتیجه حاصل از مدل FSM نتیجه نزدیکتری را با میزان تولید رسوب سالانه حاصل از ایستگاه رسوب سنجی (بعد از اضافه نمودن بار بستر به آن) نسبت به مدل MPSIAC نشان می‌دهد (جدول ۱۰).

۱- آبخیز ایوانکی از نظر تولید رسوب سالانه با استفاده از مدل نیمه کمی MPSIAC در کلاس فرسایش III و میزان فرسایش و تولید رسوب متوسط قرار می‌گیرد. ۲- در مدل FSM وارد نمودن دو عامل تراکم سازه حفاظت خاک و اقلیم تاثیری در نتیجه حاصل از این مدل در حوضه آبخیز ایوانکی ندارد و می‌توان بیان داشت که در مناطق حفاظت شده با اقلیم خشک- نیمه خشک می‌توان از این دو عامل صرف نظر نمود. ۳- نتایج حاصل از انجام آزمایش شبیه ساز باران بر روی واحدهای سنگی در این حوزه با روش پیشنهادی (شریعت جعفری و همکاران ۱۳۸۵ و فیض نیا ۱۳۷۴)، میزان فرسایش پذیری قابل انتظار واحدهای سازند-

**جدول ۱۰- برآورد رسوب سالانه در حوزه آبخیز ایوانکی با استفاده از مدل FSM و MPSIAC و ایستگاه رسوب سنجی (دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۸۴).**

روش‌های مورد استفاده برای برآورد رسوب سالانه	رسوب تولید شده در سال (تن در هکتار در سال)
ایستگاه رسوب سنجی (بار معلق + بار کف)	۰/۹۳
مدل FSM	۰/۹۱
مدل MPSIAC	۳/۲۱

طور جداگانه و هم در عامل فرسایش خاک لحاظ می‌گردد. (حکیم خانی و فیض نیا ۱۳۸۲). لذا این مدل نیازمند تصحیحات تکمیلی است. پیشنهاد شده است که دو عامل خاک و زمین شناسی در هم ادغام شوند و فرسایش رودخانه‌ای (کانالی) با دو عامل خصوصیات رسوبی و هیدرولیک کانال جایگزین شود (Strand and Pemberton 1987).

#### منابع

۱- تماب، گزارشات ایستگاه ئیدرومتری استان تهران و سمنان بین سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۷۴.

همانطور که مشاهده می‌شود (جدول ۱۰) در مدل MPSIAC برآورد میزان رسوب بسیار بیشتر از میزان قابل انتظار است. با وجود تصحیحات انجام گرفته در مدل (Johnson and Gebharadt 1982) این مدل همچنان دارای خطا می‌باشد. از جمله آنکه وزن مخصوص ظاهری در تمام حوزه‌ها ۱۳۶۰ کیلوگرم در متر مکعب فرض می‌شود که توصیه می‌شود برای هر منطقه با توجه به نوع خاک سطحی جداگانه تعیین شود، همچنین به دلیل آنکه در این مدل عوامل نه گانه مستقل از هم در نظر گرفته شده است و حاصل جمع امتیازات میزان تولید رسوب را مشخص می‌نماید با میزان تاثیر در طبیعت متفاوت بوده و بسیار بیش از میزان واقعی است. به عنوان مثال فرسایش خندقی هم به



- ۲- جاماب، مهندسین مشاور، ۱۳۸۲، طرح جامع آب کشور، حوزه آبریز دریاچه نمک، وزارت نیرو، ۲۴۳ ص.
- ۳- حسن زاده نفوتی، م.، س.، فیض‌نیا، ح.، پیروان، ج.، غیومیان، ۱۳۸۷، بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان رسوب دهی با استفاده از مدل فیزیکی باران‌ساز، نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران جلد اول، ص ۳۵-۴۸.
- ۴- حکیم‌خانی، ش.، س.، فیض‌نیا ۱۳۸۲، بررسی نحوه استفاده از مدل پسیاک در مطالعات و پایان‌نامه‌ها، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸ ص.
- ۵- خدای، م.، ا.، محبوبی، ر.حرمی، س. فیض‌نیا ۱۳۸۴، تجزیه رخساره‌های سنگی و مدل رسوبی رودخانه لاتشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۱۴۱-۱۶۳.
- ۶- رفاهی، ح.، ۱۳۸۸، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۰ ص.
- ۷- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۲، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش دماوند.
- ۸- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش گرمسار.
- ۹- سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۷۶، نقشه‌های توپوگرافی چهارگوش آرادان، دماوند، ایوانکی و سربندان با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- ۱۰- سازمان نقشه‌برداری ایران، ۱۳۴۸، عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰.
- ۱۱- شریعت جعفری، م.، ج. غیومیان، ح. پیروان، ۱۳۸۵، حساسیت ذاتی سازندهای زمین‌شناسی به هوازدهی و فرسایش درحوضه‌های واقع درپهنه رسوبی- ساختاری خرده ایران مرکزی، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم، جلد ۶، ص ۷۰۹-۷۳۴، ۷۶۱-۷۷۱.
- ۱۲- طرح ملی تهیه نقشه سیمای فرسایش خاک کشور، وزارت جهادسازندگی، معاونت آبخیزداری، ۱۰۲ ص.
- ۱۳- عرب خدری، م.، ش.، حکیم‌خانی، ج.، خوجینی، ۱۳۷۷، ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوب‌دهی معلق رودخانه. مجموعه مقالات سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۴۲۹-۴۳۸.
- ۱۴- علیزاده، ا.، ۱۳۸۵، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا، ص ۴۴۷-۵۰۰.
- ۱۵- فیض‌نیا، س.، ۱۳۸۷، رسوب‌شناسی کاربردی، دانشگاه گرگان، ص ۱۵۸-۱۶۰.
- ۱۶- فیض‌نیا، س.، م.، زارع خوش اقبال، ۱۳۸۲، بررسی حساسیت سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش و تولید رسوب درحوزه آبخیز لتیان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، ش ۴، ص ۳۶۵-۳۸۲.
- ۱۷- فیض‌نیا، س.، ۱۳۷۴، مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم‌های مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ش ۴۷، ص ۹۵-۱۱۶.
- ۱۸- محمدی‌ها، ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی میزان فرسایش و رسوب‌زایی با استفاده از مدل FSM و شبیه‌ساز باران در حوزه آبخیز ایوانکی و زیرحوضه‌های آن، ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۰۸۹-۱۰۹۶.
- ۱۹- وزیری، ف.، ۱۳۷۶، تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت- مدت در نقاط مختلف ایران: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، جهاددانشگاهی، ص ۶۰-۸۹.
- ۲۰- وزیری، ف.، و همکاران، ۱۳۶۹، تعیین الگوی زمان بارندگی ۲۴ و ۴۸ ساعته در جنوب غرب ایران: دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، جهاددانشگاهی، ص ۲۴-۳۸.
- 21-De Vente, J., J. Poesen, and G. Verstraeten, 2005, The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the

Porto Alegre Symposium. IAHS, Porto Alegre, p. 71-77.

29-PSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency committee), 1968, Factors affecting sediment yield and measures for the reduction of erosion and sediment yield: Report of the water management subcommittee, 13p.

30-Strand, R. I, and E. I, Pemberton, 1987, Reservoir sedimentation in resources u.s.a design of small dams: US bureau of reclamation, Denver, p.184-252.

31-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*, v. 50, no.4, p. 327-384.

32-Walling, D.E., 1994, Measuring sediment yield from river basins in: Rial (Ed.), *Soil erosion Research Methods: Soil and Water conservation Society publication*, 2nd edition, p. 39-83.

33-Walling, D. E and B. W. Webb, 1987, Material transport by the world's rivers: Rome symposium, April 1987 IAHS Publ, p. 313-329.

34-Woodward, J.C., 1995, Patterns of erosion and suspended sediment yield in Mediterranean river basins, In: Foster, I.D.L., A.M Gurnell, and B.W. Webb, p.365-389.

prediction of basin sediment yield in Spain: *Journal of Hydrology*, v. 305, p.63-86.

22-De Vente, J., and J. Poesen, 2005, Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and semi-quantitative models: *Earth Science and Reviews*, v.71, p.95-125.

23-Frattaruolo, F., L. Penneta, M. Piccarreta, 2008, Desertification vulnerability Map of Tavoliere, Apulia (Southern Italy): Blackwell p.117-125.

24-Goldman, S., K. Jakson, P. Ebursztynsky, 1986, *Erosion and sediment handbook*, p. 1-47.

25-Haregeweyn, N., G. Poesen, G. Verstreten, J. De vente, G. Govers, D. Deckers, and J. Moeyersons, 2005, Specific sediment yield in Tigary-northern Ethiopia: Assessment and semi quantitative modeling: *Geom*, v.69, p.315-331.

26-Jansson, M.B., 1996, Estimating a sediment rating curves of the Reventazan River at Palomo using logged mean loads within: *Journal of Hydrology*, v.83, no.4, p. 224-241.

27-Johnson, C. W. and K. A., Gebhardt, 1982, Predicting sediment yield from Sagebrush Rangeland: U.S. Agricultural Research Service, AEW Western Series, n. 26, p. 145-156.

28-Lahlou, A., 1988, The silting of Moroccan dams in: M.P, Bordas, and D.E.Walling, (Eds.),