

# برآورد و مقایسه پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش آبی با استفاده از مدل‌های EPM و MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آزاد رود نشتارود)

محمد رضا جوادی<sup>1</sup>، فرشاد میردادر هرجانی<sup>2</sup>، شعبانعلی غلامی<sup>1</sup>، ناصر مشهدی<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 90/1/24 تاریخ پذیرش: 90/6/1

## چکیده

مساله مهم در بررسی فرسایش خاک در یک حوزه آبخیز، ارزیابی کمی آن می‌باشد تا برنامه‌ریزی جهت حل مشکلات موجود با دقت بیشتری صورت بگیرد. حوزه آبخیز آزاد رود که در فاصله تقریبی 12 کیلومتر از شهر نشتارود قرار دارد با داشتن آمار رسوب‌سنجی سی دو ساله (88-56) در خروجی خود، حوزه آبخیز مناسبی جهت ارزیابی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب می‌باشد. به همین دلیل با انتخاب آن می‌توان علاوه بر برآورد رسوب با روش‌های رایج، مقادیر به‌دست آمده توسط آنها را با هم مقایسه نموده و به بهترین مدل، جهت برآورد فرسایش و رسوب دست یافت.

در این تحقیق در ابتدا با استفاده از اطلاعات پایه (سنگ شناسی - توپوگرافی و...)، منطقه مورد مطالعه به 4 واحد و 41 زیر واحد تقسیم گردید که تمام فاکتورهای مورد نیاز به‌منظور برآورد فرسایش و رسوب از طریق دو روش EPM و MPSIAC در محیط ArcGIS در آنها اعمال شده‌است. پس از آن، میزان رسوب تولیدی در محل ایستگاه رسوب‌سنجی با استفاده از اندازه‌گیری از جریان تعیین گردید و مقدار رسوب توسط روش MPSIAC، 1/8 و روش EPM، 2/3 برابر رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. در نهایت با مقادیر به‌دست آمده از مدل‌ها مشخص شد که، روش MPSIAC کمترین اختلاف و خطا را با رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب سنجی را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** حوزه آبخیز آزاد رود، فرسایش، رسوب، ArcGIS، مدل EPM و MPSIAC

---

1- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

2- کارشناس ارشد آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور

3- استادیار مرکز مناطق بیابانی و همزیستی با کویر دانشگاه تهران

## مقدمه

فرسایش خاک، به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری حمل می‌شود (7). فرسایش خاک به عوامل مختلفی از جمله جنس سنگ بستر، نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، میزان بارندگی و شیب و ... بستگی دارد (1).

با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت، فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات ناشی از دخالت بشر نه تنها در محل وقوع (درحوزه های آبخیز و اراضی زراعی) به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌کند، بلکه در محل خارج از وقوع آن به صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری بیش از هر زمان دیگر مشهود است (18). برآورد و بررسی قابل اطمینان مقدار و پتانسیل تخریب خاک به علت افزایش نیاز روز افزون بشر به منابع خاک جهت تولید غذا و همچنین افزایش آگاهی عمومی از عوامل تخریب و افزایش خاک روز به روز در حال توسعه است (16). دانش فنی در مورد حمل و نقل رسوب و مواد مغذی از حوزه آبخیز و عوامل ایجاد رسوب از جمله ابزارهای مورد نیاز در مدیریت حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود (18).

تخریب ناشی از فرسایش آبی یک مشکل جدی و اساسی در کاهش کیفیت خاک، زمین و منابع آبی محسوب شده که بشر جهت معاش بیش از هر چیزی به آن وابسته است (18). پیمتل و همکاران (19) هزینه‌های جهانی فرسایش خاک را حدود 400 میلیارد دلار در سال

برآورد کرده‌اند که مبلغی بیش از 70 دلار به‌ازای هر فرد در سال می‌باشد. برنامه توسعه سازمان ملل فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر نزدیک به 20 تن در هکتار تخمین زده است که نسبت به 10 سال گذشته 10 تن در هکتار افزایش یافته است (20). به‌طور مثال علیرغم مقدار پیش بینی‌شده دو میلیون مترمکعبی رسوب سالانه ورودی به سد سفیدرود، حجم سالانه رسوب آن در حدود 38 میلیون مترمکعب می‌باشد (11).

در بررسی عوامل فرسایش خاک اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به‌عنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی نمود بلکه فرسایش موجود را باید معلول تاثیر متقابل مجموعه عوامل و عناصر مؤثر در ایجاد فرسایش دانست. فرسایش خاک توسط آب یکی از مسایل مهم و اصلی بازدارنده برای تحقق توسعه اقتصادی و اجتماعی به‌دلیل تخریب منابع زیست-محیطی علاوه بر عامل بازدارنده در دستیابی به امنیت غذایی در جهان می‌باشد (12).

برای کنترل فرسایش خاک فعالیت‌های انتزاعی و مقطعی جوابگو نبوده و لازم است که استراتژی و عزم ملی آحاد مردم را در اجرای برنامه‌های آبخیزداری و حفاظت خاک مدنظر قرار داد. شناخت منابع موجود در عرصه‌های آبخیز توسط مسئولین و تعیین مناطق بحرانی از نقطه نظر منابع آب و خاک برای کنترل فرسایش خاک در کشور به‌عنوان یک اصل بایستی مورد توجه قرار گرفته، ترغیب مردم به اجرای برنامه‌های حفاظت خاک به‌عنوان یک امر مهم تلقی می‌شوند. با توجه به چنین نگرش و تفکری، لزوم آگاهی از مقدار و شدت فرسایش برای تعیین استراتژی‌های کارآمد و بهینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و تولید رسوب مورد توجه

گرفته مدل پسیاک اصلاح شده نتایج بهتری را نسبت به مدل ای.پی.ام ارائه کرده است.

سلیمی، محبی و عبقری با بررسی کارایی مدل‌های ای.پی.ام و پسیاک اصلاح شده در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز چلاو بیان نمودند که هر دو روش دارای کارایی لازم در برآورد فرسایش و رسوب می‌باشند ولی مدل ای.پی.ام کاربرد بیشتری در نواحی مختلف اقلیمی داشته و نیاز به کالیبره کردن آن نمی‌باشد (8).

مصلحت‌جو و بهنیا (1382) در ارزیابی کارایی مدل ای.پی.ام جهت برآورد فرسایش و رسوب در سه حوزه آبریز استان گیلان به این نکته اشاره نمودند که مدل ای.پی.ام در آبخیزهای مرطوب با بارندگی کافی از دقت زیادی برخوردار نمی‌باشد (13).

### مواد و روش‌ها:

مواد:

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:

قلمرو مطالعاتی، منطقه‌ای کوهستانی در بخش شمال کشور، با وسعتی برابر 22885/8 هکتار و در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی  $19^{\circ} 54' 50''$  تا  $18^{\circ} 04' 51''$  طول شرقی و  $44^{\circ} 26' 36''$  تا  $42^{\circ} 13' 36''$  عرض شمالی در محدوده جغرافیایی استان مازندران قرار گرفته است و فاصله تقریبی آن از شهرنشتارود حدود 12 کیلومتر می‌باشد. بلندترین نقطه منطقه مورد مطالعه با ارتفاع 4407 متر در بخش جنوبی و پست‌ترین نقطه آن در بخش شمالی حوضه با ارتفاع 37 متر قرار گرفته است. از نقطه نظر تقسیمات هیدرولوژی کل کشور حوزه آبخیز آزاد رود جزو حوزه آبریز دریای خزر با کد شناسایی 1 می‌باشد که تحت حوزه آبخیز رودخانه‌های سفیدرود و هراز با کد 4، تحت واحدهای

پژوهشگران قرار گرفته تا براساس آن بتوانند موقعیت مکانی و میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی نمایند (21). در ارتباط با برآورد مقادیر فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز و تعیین روش مناسب برآورد آنها مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است که برخی از آنها به شرح زیر می‌باشد.

در تحقیقی که در کشور آمریکا توسط آنونیمس<sup>1</sup> در زمینه پتانسیل رسوبدهی فرسایش آبی با استفاده از مدل پسیاک اصلاح شده (MPSIAC)<sup>2</sup> صورت گرفت به این نتیجه اشاره شده است که نحوه ارزیابی برخی از عوامل موثر در فرسایش آبی در مدل پسیاک اصلاح شده با اشکالاتی مواجه بوده و بایستی با توجه به شرایط اقلیمی، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرند (15).

خدا رحیمی (5) با بررسی کارایی روش‌های ای.پی.ام (EPM)<sup>3</sup> و پسیاک اصلاح شده در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز خارستان فارس به این نتیجه رسید که مدل پسیاک اصلاح شده نسبت به مدل ای.پی.ام در برآورد فرسایش و رسوب حوزه مذکور برتری دارد.

راستگو، قهرمانی، ثنایی‌نژاد، داوری و خداشناس (6) در مطالعه‌ای تحت عنوان برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز تنگ کنشت در شمال شهر کرمانشاه با مدل‌های تجربی ای.پی.ام و پسیاک اصلاح شده به کمک GIS نشان دادند که کلاس فرسایشی مدل پسیاک اصلاح شده متوسط و کلاس فرسایشی مدل ای.پی.ام در گروه شدید قرار گرفت که با مشاهدات صحرائی چندان منطبق نبوده است. با توجه به تحقیقات صورت

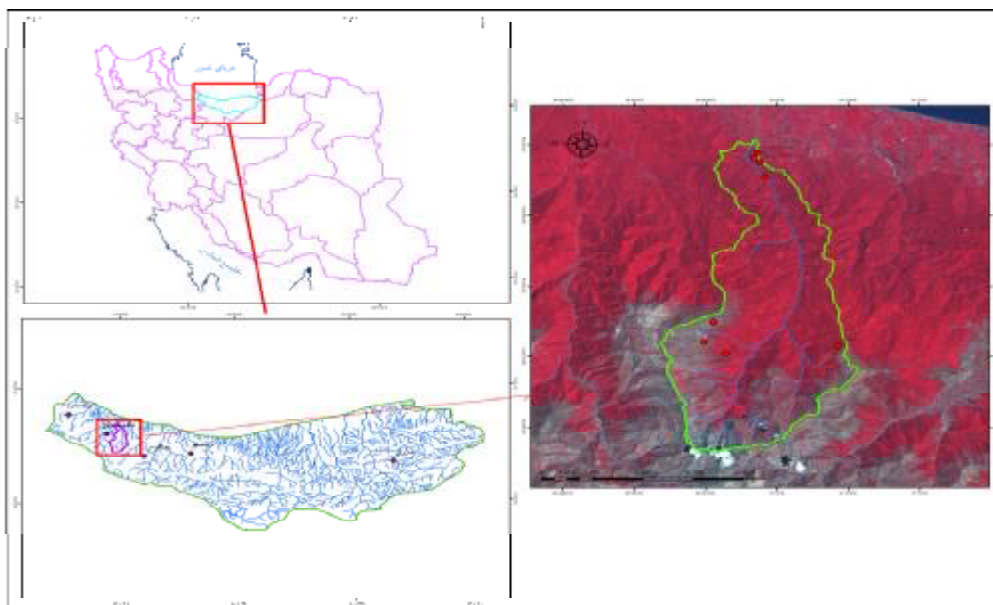
<sup>1</sup> - Anonymous

<sup>2</sup> - Modified Pacific southwest inter - Agency

<sup>3</sup> - Erosion Potential Method

حوضه دارای اقلیم سرد مرطوب، دمای متوسط 9 درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه 848 میلی‌متر می‌باشد. شیب متوسط وزنی حوضه 30/29 درصد و ارتفاع متوسط حوضه 1870 متر می‌باشد. شکل شماره 1 موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و مازندران را نشان می‌دهد.

هیدرولوژیک غرب مازندران از صفا رود تا حد شرقی حوزه آبریز رودخانه چالوس با کد 142 و حوزه رودخانه‌های بین آزارود و سردآب‌رود با کد 1427 و در نهایت در محدوده آبریز رودخانه-های بین آزارود و کاظم‌رود با نام اختصاری نشتارود با کد شناسایی 14271 قرار می‌گیرد. این



شکل 1- موقعیت منطقه در ایران و استان مازندران

مقایسه فرسایش و رسوب برآوردی این مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی از طریق اطلاعات موجود در ایستگاه رسوب‌سنجی دینار سرا گردید که در زیر به آن پرداخته شده‌است.

### روش پسیاک اصلاح شده

در سال 1968 توسط کمیته مدیریت آب آمریکا برای برآورد رسوبدهی مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب آمریکا ارایه شده و در حوضه Walnut Gulch در جنوب شرقی آریزونا و در مقایسه با سه روش دیگر به‌عنوان مناسب‌ترین روش معرفی گردید. برای اولین بار در ایران مدل پسیاک

### روش‌ها

همان‌طورکه شرح آن گذشت کلیه ارزیابی‌ها در ارتباط با هر یک از روش‌های ذکر شده با استفاده از GIS و در غالب 4 واحد و 41 زیر واحد انجام گرفت به‌طوری‌که در ابتدا با استفاده از اطلاعات نظیر سنگ‌شناسی، توپوگرافی و... منطقه به 41 واحد همگن تقسیم گردید و در هر یک از واحدهای همگن به کمک توانایی GIS و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی مختلف در هر یک از مدل‌ها تهیه گردید و سپس با توجه به ساختار هر مدل اقدام به برآورد مقدار فرسایش و رسوب و همچنین

عوامل 9 گانه مؤثر در فرسایش خاک تخصیص می‌یابد. از این رو پس استفاده از این روش برای محاسبه میزان فرسایش و تولید رسوب در یک حوزه آبخیز نیاز به تجربه علمی و عملی دارد تا بتوان نقش هر کدام از عوامل را به درستی ارزیابی نمود، لذا استفاده از دیگر علوم مرتبط با مدیریت حوزه‌های آبخیز که توسط گروه‌های مطالعاتی متخصص و خبره انجام می‌پذیرد، ضرورت دارد. در عین حال سطح مطالعات نیز می‌تواند به دقت و صحت بیشتر کاربرد این روش کمک نماید.

مراحل مختلف این روش به شرح زیر است:

#### ۱) تعیین امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی (سنگ‌شناسی):

امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی از رابطه  $Y_1 = X_1$  حاصل می‌شود که:  
 $X_1$ : شاخص فرسایش زمین‌شناسی سطحی که بر اساس نوع سنگ، سختی و مقاومت آن نسبت به فرسایش تعیین می‌گردد (2).

#### ۲) تعیین امتیاز عامل فرسایش‌پذیری خاک:

برای تعیین عامل خاک از رابطه

$$Y_2 = 16.67X_2$$

استفاده می‌شود که:

$X_2$ : شاخص فرسایش‌پذیری خاک‌ها می‌باشد (7).

#### ۳) تعیین امتیاز عامل اقلیم:

برای تعیین عامل آب‌وهوا از رابطه  $Y_3 = 0.2 X_3$  استفاده می‌شود که:

$X_3$ : شاخص مقدار بارندگی 6 ساعته با دوره بازگشت 2 سال بر حسب میلی‌متر است (7).

#### ۴) تعیین امتیاز جریان سطحی (هرزآب یا رواناب):

در روش پسیاک اصلاح‌شده برای برآورد امتیاز عامل رواناب از رابطه ذیل استفاده شده است  $Y_4 = 0.006R + 10Q_p$  که در آن: R:

(PSIAC)<sup>1</sup> توسط مهندسین مشاور D&R در حوضه سد دز مورد استفاده قرار گرفت و باتوجه به نتایج خوب آن به سرعت در دستگاه‌های اجرایی مرتبط با فرسایش و رسوب بکارگرفته شد.

در مقایسه با سایر مدل‌های تجربی، پسیاک یکی از مدل‌هایی است که بیشترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک را در نظر می‌گیرد. عوامل 9 گانه مؤثر در این مدل تجربی بسته به شدت و ضعف تأثیرشان، عددی را به خود اختصاص داده که با در نظر گرفتن مجموع این اعداد، رسوبدهی حوضه مطالعاتی برآورد می‌گردد.

در سال 1982 در روش تعیین امتیاز عوامل 9 گانه مدل پسیاک تغییراتی ایجاد شد، به طوری که در مدل اصلاح شده پسیاک اصلاح شده عوامل 9 گانه مؤثر در فرسایش و رسوبدهی به صورت کمی قابل برآورد هستند (17).

برای استفاده از روش پسیاک اصلاح شده در برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از واحدهای کاری و نهایتاً واحد هیدرولوژیک، 9 عامل مؤثر در فرسایش و رسوبزایی برحسب شدت و ضعف نقش آن‌ها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. حاصل نهایی نمره مربوط به 9 عامل فوق‌الذکر در هر یک از واحدهای کاری بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوبزایی در آن واحد می‌باشد.

برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در یک حوزه آبخیز و یا واحدهای هیدرولوژیک تابعه آن بستگی کامل به امتیازاتی دارد که به هر یک از

<sup>1</sup> - Pacific southwest inter - Agency

در حوزه آبخیز آزاد رود به استناد آمار دریافتی از سایر بخش‌های مطالعاتی (زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، خاک‌شناسی، اقلیم، هیدرولوژی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی) و همچنین از نتایج حاصله از مشاهدات صحرایی (بررسی وضعیت فرسایش موجود) و با استفاده از سیستم GIS امتیازبندی عوامل 9 گانه روش تجربی پسیاک اصلاح‌شده به تفکیک زیرحوضه‌ها، مورد بررسی قرار گرفته‌است و نتیجه حاصل شده در جدول (1) ارایه شد.

#### ۱۰) برآورد تولید فرسایش و رسوب:

پس از تعیین امتیاز 9 عامل در نظر گرفته شده در مدل پسیاک اصلاح‌شده و به منظور تعیین میزان رسوبزایی در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک، از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب به شرح (معادله 1)  $Q_s = 0.253e^{0.036R}$  استفاده گردید که در آن:

$Q_s$ : میزان تولید رسوب بر حسب تن در هکتار و  $R$ : درجه رسوبدهی یا مجموع نمرات عوامل نه گانه با روش پسیاک اصلاح شده. در این رابطه، جرم مخصوص ظاهری رسوبات برابر 1360 کیلوگرم در مترمکعب فرض شده و  $e$ : عدد نپر تقریبی برابر 2/718 می‌باشد. با استفاده از رابطه فوق میزان رسوب ویژه زیرحوضه‌ها محاسبه و در جدول شماره (2) ارایه گردیده‌است.

#### ۱۱) نسبت تحویل رسوب (SDR):

نسبت تحویل رسوب ضریبی است که نشان می‌دهد چه درصدی از فرسایش تبدیل به رسوب می‌گردد و چون همیشه تنها

ارتفاع رواناب سالانه (میلی‌متر)  $Q_P$ : دبی ویژه پیک (مترمکعب بر ثانیه در کیلومتر مربع) می‌باشد (7).

#### ۵) تعیین امتیاز عامل شیب یا پستی و بلندی:

برای تعیین امتیاز عامل پستی و بلندی از رابطه  $Y_5 = 0.33X_5$  استفاده می‌شود که  $X_5$ : شاخص شیب متوسط است (7).

#### ۶) تعیین امتیاز عامل پوشش زمین:

برای تعیین امتیاز عامل پوشش زمین از رابطه  $Y_6 = 0.2X_6$  استفاده می‌شود که در آن  $X_6$ : شاخص درصد اراضی لخت و فاقد پوشش<sup>1</sup> می‌باشد (7).

#### ۷) تعیین امتیاز عامل کاربری اراضی:

برای تعیین امتیاز عامل کاربری اراضی از رابطه  $Y_7 = 20 - 0.2X_7$  استفاده می‌شود که در آن  $X_7$ : شاخص مقدار تاج پوشش گیاهی بر حسب درصد می‌باشد (7).

#### ۸) تعیین امتیاز عامل وضعیت فرسایش خاک سطحی (S.S.F):

برای تعیین امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش از رابطه  $Y_8 = 0.25X_8$  استفاده می‌شود که در آن  $X_8$ : امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش به استناد برداشت‌ها و مشاهدات میدانی، و جدول BLM است (7).

#### ۹) تعیین امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های و انتقال رسوب:

برای تعیین امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های و انتقال رسوب از رابطه  $Y_9 = 1.67X_9$  استفاده می‌شود که در آن  $X_9$ : نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک S.S.F.g در روش BLM است (7).

<sup>2</sup> -Sediment Delivery Ratio

<sup>1</sup> - Bare ground

کاری تهیه گردید. در روش ای.پی.ام برای تخمین متوسط سالانه فرسایش ویژه در حوضه از فرمول  $W_{sp} = T \cdot H \cdot \pi \cdot Z^{1.5}$  (معادله 4) استفاده می‌شود (4) که در آن:

$W_{sp}$ : متوسط سالانه فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال.

$T$ : ضریب درجه حرارت که از رابطه  $T = (t/10 + 0.1)$  (معادله 5) به دست می‌آید که در آن  $t$  میانگین دمای سالانه حوضه بر حسب سانتی‌گراد می‌باشد (4).

$H$ : ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوضه بر حسب میلی‌متر.

$\Pi$ : عدد پی می‌باشد.

برای تعیین متوسط سالانه تولید فرسایش ویژه برای حوضه ابتدا متوسط وزنی  $Z$  را به دست آورده و سپس از فرمول بالا استفاده می‌شود. مقدار فرسایش سالانه حوضه از رابطه:

$$V_p = F \times W_{sp} \quad (6) \text{ معادله 6}$$

که در آن  $V_p$ : رسوب حوضه بر حسب مترمکعب در سال

$F$ : مساحت حوضه بر حسب کیلومتر-مربع می‌باشد. نتایج حاصل از فاکتورهای روش EPM در جداول 3 و 4 آمده است.

بخشی از خاک فرسایش یافته به رسوب تبدیل می‌شود لذا همواره مقدار نسبت تحویل رسوب کوچکتر از یک می‌باشد. برای به دست آوردن این ضریب علاوه بر رسوب، بایستی میزان فرسایش را نیز در دست داشت در روش پسیاک اصلاح شده میزان نسبت تحویل رسوب از روی نمودار باتوجه به مساحت حوضه یا واحدهای هیدرولوژیک و غیر هیدرولوژیک و بافت خاک مشخص می‌گردد البته این نمودار به صورت لگاریتمی به شرح زیر نیز ارائه شده است. (4)

معادله

$$\text{Log } SDR = 1.876 - 0.14191 \text{ Log } (10^A)$$

$A$ : مساحت حوضه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب مایل مربع

نسبت تحویل رسوب و میزان فرسایش به تفکیک زیر حوضه‌ها تعیین و در جدول (2) ارائه گردید:

### روش ای.پی.ام

در این روش 4 مشخصه ضریب فرسایش حوزه آبخیز: ( $\Psi$ ) ضریب استفاده از زمین ( $X_a$ ) ضریب حساسیت سنگ و حساسیت خاک به فرسایش ( $Y$ ) و شیب متوسط حوضه ( $I$ ) در واحدهای کاری مورد بررسی قرار گرفت. سپس در هر واحد کاری مقدار ضریب شدت فرسایش ( $Z$ ) بر اساس این 4 عامل از رابطه:  $Z = Y \cdot X_a (\Psi + 0.5)$  (معادله 3) محاسبه شد (4).

با قرار دادن مقدار  $Z$  در جدول شماره (2) که بر اساس شدت فرسایش و  $Z$  تنظیم شده است کلاس فرسایش برای هر واحد کاری تعیین می‌گردد. نقشه فرسایش حوضه بر اساس کلاس‌های فرسایش واحدهای

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت فرسایش

شدت فرسایش	مقادیر متوسط Z	مقادیر حد Z	طبقه‌بندی فرسایش
خیلی شدید	$Z = 1/25$	$Z > 1$	I
شدید	$Z = 0/85$	$1 > Z > 0/71$	II
متوسط	$Z = 0/55$	$0/7 > Z > 0/41$	III
کم	$Z = 0/3$	$0/4 > Z > 0/2$	IV
خیلی کم	$Z = 0/1$	$0/19 > Z$	V

## نتایج

پس از تعیین عوامل 9 گانه در فرسایش حوزه آبخیز آذرود، اعداد نهایی در هر زیر حوزه آبخیز با هم جمع و درجه رسوبدهی برای هر کدام تعیین گردید. سپس با استفاده از معادله شماره ۱، درجه رسوبدهی به مقادیر رسوب ویژه تبدیل، که نتایج استفاده از معادله (۱) در جدول (۲) ارزیابی شده است.

نتایج حاصل از محاسبه فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های پسیاک اصلاح شده - ای.پی.ام و ایستگاه رسوبسنجی به شرح زیر است:  
(۱) روش پسیاک اصلاح شده:

جدول ۲- تعیین درجه رسوبدهی، رسوب ویژه و نسبت تحویل رسوب در واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز آذرود

واحد هیدرولوژیکی	زمین شناسی	خاک	آب و هوا	رواناب	شیب	پوشش زمین	استفاده از اراضی	وضعیت فعلی فرسایش	فرسایش رودخانه ای	مجموع امتیازات (R)	رسوب ویژه (تن در هکتار)	نسبت تحویل رسوب
A <sub>1T</sub>	4/01	4/29	5/51	8/45	11/31	1/23	6/35	3/65	2/47	47/27	1/33	0/5
A <sub>2T</sub>	4/05	5/73	9/25	7/17	7/62	1/30	2/04	2/04	2/45	46/39	1/28	0/57
A <sub>3T</sub>	3/8	5/59	9/08	8/42	8/35	1/25	1/97	1/97	2/42	47/79	1/35	0/65
A <sub>4T</sub>	4/42	5/13	12/05	6/85	8/47	1/04	2/23	2/23	2/53	49/16	1/42	0/69
کل حوزه	4/1	4/73	6/88	8/00	10/00	1/22	3/01	3/01	2/48	47/02	1/31	0/55

معادلات شماره ۳، ۴ و ۵ مقادیر فرسایش ویژه روش ای.پی.ام تعیین شد (جدول ۴).

## (۲) روش ای.پی.ام:

پس از تعیین عوامل موثر روش ای.پی.ام در فرسایش حوزه آبخیز آذرود و با استفاده از



جدول 3- شدت فرسایش واحدهای هیدرولوژیکی به روش ای.پی.ام در منطقه مورد مطالعه

واحد هیدرولوژیکی	ضریب فرسایش (φ)	ضریب استفاده از زمین (Xa)	ضریب حساسیت خاک (Y)	شیب متوسط (I%)	ضریب شدت فرسایش (Z)	شدت فرسایش
A <sub>1T</sub>	0/31	0/35	0/95	34/27	0/28	کم
A <sub>2T</sub>	0/1	0/27	0/69	23/1	0/1	خیلی کم
A <sub>3T</sub>	0/1	0/27	0/53	25/31	0/09	خیلی کم
A <sub>4T</sub>	0/11	0/33	0/46	25/64	0/09	خیلی کم
کل حوضه	0/22	0/32	0/8	30/29	0/17	خیلی کم

جدول 4- فرسایش ویژه به روش ای.پی.ام در منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه	ضریب شدت فرسایش (Z)	بارندگی سالانه (mm)	ضریب حرارتی T	فرسایش ویژه M <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /Yr
A <sub>1T</sub>	0/28	604/0	0/74	207/94
A <sub>2T</sub>	0/1	995/0	1/19	117/57
A <sub>3T</sub>	0/09	982/0	1/18	108/24
A <sub>4T</sub>	0/09	1220/0	1/47	122/38
کل حوزه آبخیز	0/17	848/0	0/96	257/77

L: طول حوضه به کیلومتر  
 P: محیط حوضه به کیلومتر  
 D: متوسط اختلاف ارتفاع حوضه به کیلومتر، که از رابطه  $D = D_{av} - D_0$  به دست می آید. که در آن پارامترها عبارتند از:  
 $D_{av}$ : ارتفاع متوسط حوضه و  $D_0$ : ارتفاع نقطه خروجی حوضه  
 پس از اعمال آن در مقدار فرسایش به دست آمده از زیرحوضه‌ها،  $G_{SP} = R_U * W_{sp}$  معادله شماره (8) میزان رسوب برحسب واحد حجم در هکتار به دست آمده که نتایج حاصل در جدول شماره 5 نشان داده شده است:

در ادامه، جهت برآورد میزان رسوب ویژه در حوضه آزاد رود با استفاده از روش ای.پی.ام، نیاز به محاسبه ضریب رسوبدهی ( $R_U$ ) حوضه بوده است. باتوجه به این که بخشی از خاک فرسایش یافته از سطح حوضه در نقاط دیگری در داخل حوضه نسبت به محل برداشت شده، رسوب می کند و بخشی دیگر توسط نیروی حمل آب از حوضه خارج می شود. لذا رسوب خارج شده با دخالت دادن ضریب رسوبدهی از طریق رابطه ذیل به دست می آید:

$$R_U = 4(P*D)^{0.5} / L + 10 \quad (7)$$

که در آن:

جدول 5- مقادیر رسوب ویژه به دست آمده به روش ای.پی.ام در منطقه مورد مطالعه

واحد هیدرولوژیکی	محیط (کیلومتر)	ارتفاع خروجی (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (کیلومتر)	طول حوضه (کیلومتر)	ضریب رسوبدهی*	فرسایش ویژه (تن در هکتار)	رسوب ویژه (تن در هکتار)
A <sub>1T</sub>	49/25	0/89	2/43	15/71	1/35	2/70	1/93
A <sub>2T</sub>	34/11	0/49	1/28	1/11	1/87	1/53	0/90
A <sub>3T</sub>	21/51	0/49	1/32	7/41	0/97	1/41	0/97
A <sub>4T</sub>	27/65	0/09	0/59	9/72	0/76	1/59	1/77
کل حوضه	82/26	0/08	1/87	28/83	1/25	2/22	1/64

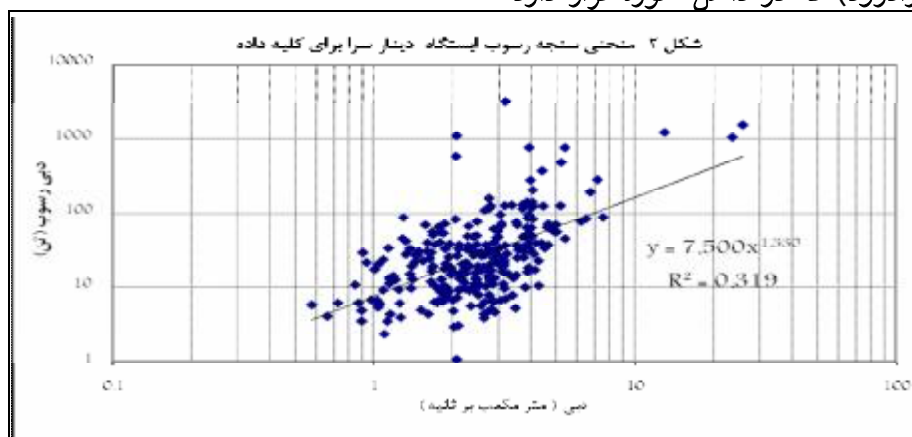
مورد تحلیل آماری قرار گرفته که نتیجه حاصل در جدول شماره 6 آمده است. برای محاسبه وزن مواد معلق سالانه از روش اداره عمران ایالات متحده (USBR) استفاده گردید (14):

\* مراحل محاسبه رسوب معلق در این روش:  
الف) رسم منحنی دبی رسوب و دبی جریان آب:  
این منحنی با در نظر گرفتن آمار دبی جریان و دبی رسوب اندازه گیری شده در طی دوره آماری و بر روی یک کاغذ لگاریتمی به دست می آید.

باتوجه به این که ضریب رسوبدهی  $R_U$  در بعضی موارد بیشتر از 1 شده و این امر غیرممکن می باشد بنابراین در این مقاله از ضریب SDR به منظور تعیین رسوب ویژه استفاده گردید.

### ۳- مطالعه رسوبدهی رودخانه آزاد رود

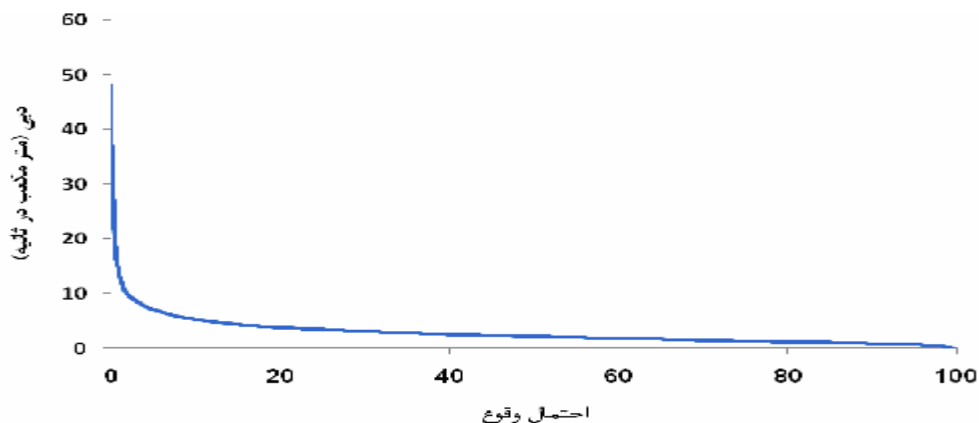
در منطقه مورد مطالعه از مجموع ایستگاههای هیدرومتری متعلق به وزارت نیرو که بالغ بر 5 ایستگاه می باشد تعداد چهار ایستگاه رسوب سنجی در اطراف و آمار یک ایستگاه دینار سرا (آزاد رود) که در داخل حوزه قرار دارد



شکل 2- منحنی دبی رسوب و دبی جریان

احتمال وقوع آنها (به درصد) در زمانهای مختلف به دست می آید.

ب) رسم منحنی جریان:  
این منحنی با در نظر گرفتن آمار دبی جریان در طی دوره آماری مورد نظر و تعیین



شکل 3- منحنی تداوم جریان

جدول 6- تحلیل آمار رسوب در ایستگاه هیدرومتری دینار سرابه روش USBR

رسوب روزانه به تن	دبی رسوب به ازای دبی ستون 4 (تن در روز)	دبی روزانه m <sup>3</sup> /sec	دبی با احتمال وقوع حد وسط دسته ها (متر مکعب در ثانیه)	حد وسط دسته های احتمال (درصد)	فواصل دسته ها (درصد)	حدود دسته ها (درصد)
0/000	0/07	0/000	0/030	0/025	0/0005	0/00-0/05
0/000	0/07	0/000	0/030	0/075	0/0005	0/05-0/10
0/000	0/07	0/000	0/030	0/15	0/001	0/10-0/20
0/000	0/07	0/000	0/030	0/35	0/003	0/20-0/50
0/002	0/35	0/001	0/100	0/75	0/005	0/50-1
0/010	1/00	0/002	0/22	1/5	0/01	1-2
0/114	3/8	0/018	0/600	3/5	0/03	2-5
0/255	5/76	0/041	0/820	7/5	0/05	5-10
0/851	8/51	0/110	1/1	15	0/1	10-20
2/572	12/86	0/300	1/5	30	0/2	20-40
4/281	21/40	0/44	2/200	50	0/2	40-60
2/964	29/64	0/281	2/810	65	0/1	60-70
3/924	39/24	0/347	3/470	75	0/1	70-80
3/541	50/58	0/294	4/200	83/5	0/07	80-87
2/606	65/14	0/203	5/080	89	0/04	87-91
1/554	77/70	0/116	5/800	92	0/02	91-93
1/860	93/01	0/133	6/640	94	0/02	93-95
2/269	113/46	0/154	7/710	96	0/02	95-97
1/419	141/86	0/091	9/120	97/5	0/01	97-98
1/776	177/63	0/108	10/800	98/5	0/01	98-99
1/394	278/63	0/076	15/160	99/25	0/005	99-99/5
1/422	473/99	0/068	22/590	99/65	0/003	99/5-99/8
0/816	816/45	0/034	34/000	99/85	0/001	99/8-99/9
0/192	959/89	0/008	38/400	99/91	0/0002	99/90-99/92
0/207	1033/72	0/008	40/600	99/93	0/0002	99/92-99/94
0/222	1108/87	0/009	42/800	99/95	0/0002	99/94-99/96
0/251	1255/89	0/009	47/000	99/97	0/0002	99/96-99/98
0/259	1294/42	0/010	48/080	99/99	0/0002	99/98-100
34/79		2/086				جمع روزانه

2/86	دبی متوسط روزانه	m <sup>3</sup> /sec
12699/73	مقدار مواد رسوب معلق	Ton
2539/95	مواد رسوبی بستر	Ton
15239/67	کل مواد رسوبی سالانه	Ton
210/00	مساحت حوزه آبریز	Km <sup>2</sup>
73/00	رسوب ویژه	Ton/Km <sup>2</sup> /y

## بحث و نتیجه‌گیری

تکرار آزمون، کاهش یابند اما هرگز برابر با صفر نخواهند شد. از طرفی دیگر مدل‌های فرسایش و رسوب دارای محدودیت‌هایی می‌باشند که برای هر منطقه‌ای لازم است تا ابتدا واسنجی گردند. با توجه به این‌که در هر منطقه‌ای انجام چنین مواردی نیاز به زمان زیادی دارد، لذا در برآورد فرسایش و رسوب از چند روش استفاده می‌شود تا مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شوند. برای آزمون نتایج، روش‌های آماری مختلفی وجود دارد که متداولترین آن‌ها روش آزمون t استیودنت، روش آزمون حداقل مربعات میانگین و همچنین روش آماری رگرسیون می‌باشد (14) که در این بررسی از روش‌های دوم و سوم استفاده شده است. (جدول 7)

در رابطه با تعیین مناسبترین روش برآورد فرسایش و رسوب منطقه می‌بایستی تحلیل‌های آماری بر اساس نتایج و روش‌های متداول انجام پذیرد. بدین ترتیب که نتایج برآورد فرسایش در ایستگاه مورد نظر و مدل‌های برآوردی با هم مقایسه شوند. معمولاً در ارتباط با روش‌های تجربی به‌منظور برآورد فرسایش و رسوب دو خطا وجود خواهد داشت که موجب انحراف داده‌ها از میانگین شده و در نتیجه از دقت روش‌های محاسباتی کاسته می‌شود. خطاهای ایجاد شده در برآورد فرسایش و رسوب ممکن است سیستماتیک و یا غیرسیستماتیک باشند. به هر حال ممکن است که این خطاها با افزایش و

جدول 7- آزمون حداقل مربعات برای تعیین نتایج بهترین روش برآورد رسوب

واحدهای هیدرولوژیکی	رسوب ویژه به روش EPM (تن در هکتار)	$(P_i - O_i)^2$	رسوب ویژه به روش MSIAC (تن در هکتار)	$(P_i - O_i)^2$
A <sub>1T</sub>	1/93	1/44	1/33	0/36
A <sub>2T</sub>	0/90	0/03	1/28	0/30
A <sub>3T</sub>	0/97	0/06	1/35	0/38
A <sub>4T</sub>	1/77	1/08	1/42	0/48
کل محدوده	1/64	0/83	1/31	0/34
Std	0/47		0/05	
Max	1/93		1/42	
Min	0/90		1/28	
R.S.S	-	0/83	-	0/61

حوزه آبخیز مورد نظر از دیدگاه این پارامتر آماری نیز مناسبتر بوده و مشکلی در این رابطه وجود ندارد. در مجموع می‌توان گفت که مدنظر قراردادن مقادیر به‌دست‌آمده از روش پسیاک اصلاح شده برای محاسبه رسوب تولیدی حوزه آبخیز مورد مطالعه پیشنهاد بهتری است. همان‌گونه که مشخص است، میزان رسوب ویژه با مدنظر قراردادن روش ای.پی.ام حدود 2/3 برابر و با روش

همان‌طور که از اعداد و ارقام ذکر شده در جدول شماره 7 مشخص است، روش پسیاک اصلاح‌شده برای حوزه آبخیز آزاد رود باتوجه به آزمون مجموع حداقل مربعات میانگین R.S.S، جهت برآورد مقادیر رسوب ویژه مناسب‌تر تشخیص داده شده است. از طرف دیگر باتوجه به آزمون رگرسیون خطی و انحراف معیار کمتر، کاربرد نتایج روش پسیاک اصلاح شده برای

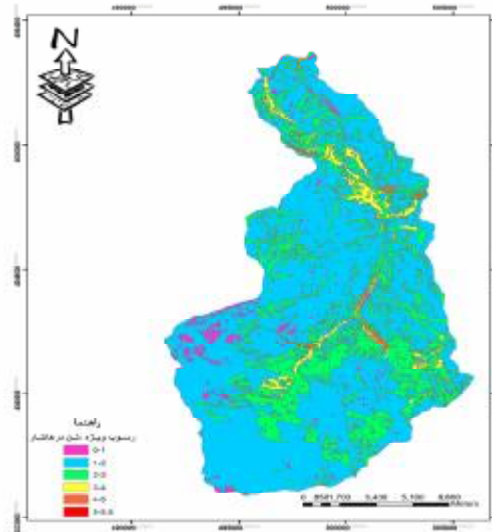
بررسی‌های انجام‌شده در مورد اختلاف‌های موجود بیانگر این واقعیت است که تا زمانی که کالیبره کردن مدل‌های تجربی از طریق اصلاح نارسایی‌های موجود در آن‌ها در تطبیق با شرایط خارج از محل ابداع آن‌ها صورت نپذیرد، واسنجی این مدل‌ها نمی‌تواند پاسخگوی نیاز کامل در این زمینه باشد.

طهماسبی‌پور (1373) با مقایسه مقدار محاسبه‌شده از روش پسیاک اصلاح‌شده با میزان واقعی اندازه‌گیری‌شده در مخزن سد لتیان که در حدود 85 درصد دقت داشته، اظهار می‌دارد که استفاده از GIS در این زمینه مفید بوده و نقشه به‌دست‌آمده از این روش دقیق‌تر و مطابقت زیادی با مقدار واقعی دارد (10).

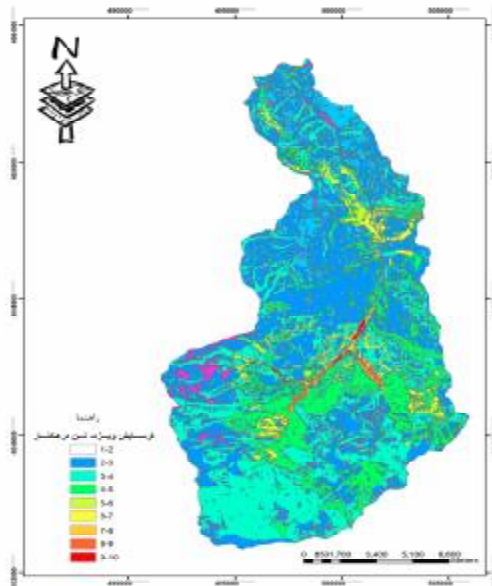
صادقی (1372) در مطالعه فرسایش و رسوب حوزه آبخیز اوزون دره (یکی از زیرحوضه‌های رودخانه قزل اوزن) از روش‌های داگلاس، فورنیه، کرک بای، پسیاک و ای.پی.ام استفاده نموده و روش پسیاک را مناسب‌ترین روش برای تخمین فرسایش و رسوب حوضه سفیدرود تشخیص داده است (7).

باقرزاده کریمی (1372) نیز در مطالعه خود در بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز اوزون دره دریافته است که روش پسیاک بیشترین مطابقت را با مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد (3).

پسیاک اصلاح‌شده حدود 1/8 برابر رسوب ویژه اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه رسوب-سنجی می‌باشد.



شکل 4- نقشه رسوب ویژه درحوضه آبخیز آزاد رود با استفاده از مناسب‌ترین روش (MPSIAC)



شکل 5- فرسایش ویژه درحوضه آبخیز آزاد رود با استفاده از مناسب‌ترین روش (MPSIAC)

## منابع

- 9- صادقی، ح. (1372). - مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب درحوزه اوزون دره - مجموعه مقالات سمینار ملی بررسی سیاست‌ها و روش‌های بهره‌برداری بهینه از اراضی.
- 10- طهماسبی‌پور، محمد. (1373). - کاربرد و ارزیابی مدل پسیاک اصلاح شده برای تهیه نقشه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز جاجرود با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- 11- غلامی، ش. (1379). - گزارش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه‌های کوهستانی. دومین همایش ملی فرسایش و رسوب. دانشگاه فردوسی مشهد، صفحه 185-204
- 12- قدوسی، جمال، (1382). - مدل‌سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجانرود)، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، 368 صفحه.
- 13- مصلحت جو، ع و بهنیا، ح. (1382). - ارزیابی کارایی مدل ای.پی.ام جهت برآورد فرسایش و رسوب در سه حوضه آبریز گیلان، اولین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک.
- 14- مهدوی، م. (1386). - هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم) انتشارات دانشگاه تهران، 437 صفحه
- Dez - Anonymus (1974) - watershed resource management plan, Iran- 241 pages.
- 16-EL.Swaify, S.A. (1994).Stat-of-the art for assessing soil and water conservation nedds.PP:13-27.In:T.L.Napier, S.M.Camboni, and EL.Swaify (eds)., Adopting conservation on the farm .Soil and water conservation Society ,Ankeny , IA.215pp
- 1- احمدی، ح. (1374). - ژئومورفولوژی کاربردی (جلد 1) - انتشارات دانشگاه تهران - 614 صفحه.
- 2- احمدی، حسن و فیض‌نیا، سادات، (1378)، سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، 557 صفحه.
- 3- باقرزاده کریمی، م. (1372) بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در مطالعات فرسایش خاک - پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس - 76 صفحه
- 4- بهنیا، ح. (1380). - اصول مهندسی آبخیزداری. انتشارات آستان قدس رضوی.
- 5- خدارحیمی، ر. (1384). - بررسی کارایی روش‌های تجربی ای.پی.ام و پسیاک اصلاح شده در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیزخارستان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران
- 6- راستگو، س. قهرمانی، ب. ثنائی‌نژاد، ح. داوری، ک و خدائشناس، س. (1385) برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز تنگ کنشت درشمال شهر کرمانشاه با مدل‌های تجربی ای.پی.ام و پسیاک اصلاح شده به کمک GIS، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. جلد 10.
- 7- رفاهی، ح. (1382). - فرسایش آبی و کنترل آن - انتشارات دانشگاه تهران - 551 صفحه.
- 8- سلیمی، ع. محبی، ر. و عبقری، ه. (1385). - بررسی کارایی مدل‌های ای.پی.ام و پسیاک اصلاح شده در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز چلاو (مطالعه موردی ضلع شرقی حوزه آبخیز هراز)، همایش خاک - محیط زیست و توسعه پایدار.

17-Johnson.C.W.Gebhardt. K.A (1982).Predicting sediment yields from sage brush rangeland in,proceeding of the workshop on estimating erosion and sediment yield on rangeland .Tucson Aritong , March 1972.V.5.Department of agriculture ARM-W-26.P.145-156.

18- Lai, R., Bium.W.H. Valentie, C., andStewart,B.A(1998).Methods forassessment of soil degradation. Advances in soil Sciences.558PP.

19- Pimental, D., Harvey, C., Resosudarmo,P.,Sinclair,K.Kurz, D., McNair,M.,Crist,S.,shpritz,L.,Saffou ri,R.,and Blair, R. (1995). Environmental costs of soil erosion and conservation benefits. Science. 267:1117-1123.

20- UNEP. (1999). Human Development Report of the Islamic Republic of IRAN.Chapter 8, PP: 109-121

21-Morgan, R.P.C., (1995), "Soil erosion and conservation". Second edition. Silsoe College, Cranfield University. 198 pp.

