

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۱۱، تابستان ۱۳۹۶، صص ۱۰۳-۸۳

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۸

برآورد بار رسوب ماهانه ایستگاه‌های حوضه آبی‌چای با استفاده از مدل MPSIAC و ریزمقیاس‌نمایی آبشاری

وحید نورانی^۱
صالح محسن‌زاده^{۲*}

چکیده

در این مقاله جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌های حوضه آبی‌چای با توجه به نبود آمار کافی بار رسوب - که یکی از مسائل اساسی حوضه‌های کشور می‌باشد - از مدل تجربی پسیاک اصلاح شده استفاده شده است. از آنجائی که میزان رسوب حاصل از این مدل متوسط سالانه می‌باشد، لذا در مرحله اول جهت محاسبه رسوب برای هر سال چگونگی تغییرات فاکتورهای نه‌گانه مدل فوق نسبت به زمان مورد بررسی قرار داده شده است. فاکتورهای که ماهانه (مثل بارش و رواناب) و یا سالانه (مثل پوشش گیاهی و کاربری اراضی) دستخوش تغییر هستند، نقش مستقیمی در محاسبه رسوب برای هر سال دارند. در مرحله دوم برای ریزمقیاس کردن رسوب سالانه حاصل از مدلسازی مرحله اول و با توجه به اینکه نمی‌توان رسوب سالانه را به نسبت مساوی برای تمام ماه‌های سال توزیع کرد، با استفاده از روش آبشاری میزان رسوب سالانه به ماهانه ریزمقیاس گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد بین بار رسوب برآورد شده با مدل پسیاک اصلاح شده و ریزمقیاس شده با مدل آبشاری، با نتایج مشاهداتی و ثبت شده همبستگی بالایی وجود

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز، تبریز

۲- کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه تبریز، تبریز (نویسنده مسئول)

E-mail: saleh.mohsenzadeh@gmail.com

دارد. از طرفی همانطوری که انتظار می‌رفت از بین عوامل نه گانه مدل، دو عامل فرسایش رودخانه‌ای و فرسایش سطحی به ترتیب ۱۳/۶ و ۱۳/۴ بیشترین امتیاز را دارند همچنین کاربری اراضی و پوشش گیاهی با امتیازهای ۱۳/۴ و ۱۱/۵ نقش خود را در تولید و یا مهار رسوب به خوبی نشان می‌دهند. میزان رسوبدهی سالانه در کل حوضه ۱/۹۲ تن در هکتار می‌باشد که زیرحوضه ۲۲ با توجه به شیب تند و پوشش گیاهی کاملاً ضعیف با ۳/۸۸ تن در هکتار در سال بیشترین و زیرحوضه ۱-۱۴ با ۱/۰ تن در هکتار در سال کمترین مقدار تولید رسوب را در حوضه به خود اختصاص دادند.

کلمات کلیدی: رسوبدهی، مدل پسیاک اصلاح شده، ریزمقیاس کردن آبشاری، آجی‌چای

مقدمه

مدل PSIAC برای هر عامل حدود تغییراتی را مشخص کرده است که تا حدودی انتخابی بوده و متناسب با عامل رسوبدهی نیاز به قضاوت کارشناسی دارد. در سال ۱۹۸۲ طی تحقیقی جانسون و گمبهارت عوامل نه‌گانه این روش را به صورت معادلات عددی درآورده و مدل اصلاح شده MPSIAC را ارائه نمودند (رفاهی، ۱۳۸۲).

دی ونته^۱ و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای بر روی یک منطقه به این نتیجه رسیدند که به علت کمبود ایستگاه رسوب سنجی در حوضه‌های بزرگ، آمار و اطلاعات رسوب با استفاده از مدل MPSIAC قابل برآورد می‌باشد و این مدل در مقایسه با روش‌های اندازه‌گیری شده از طریق آزمون آماری با درجه‌ی همبستگی حدود ۰/۸ درصد بهترین روش شناخته شده است. صحرارو و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی خود به این نتیجه رسیدند که اختلاف اندکی (۷درصد) بین نتایج حاصله

از مدل و آمار ایستگاه هیدرمتری ملاحظه می‌شود که این مسئله بیانگر این است که مدل MPSIAC از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و بنابراین استفاده از این مدل در ارزیابی فرسایش و رسوب حوضه‌های فاقد آمار پیشنهاد می‌شود.

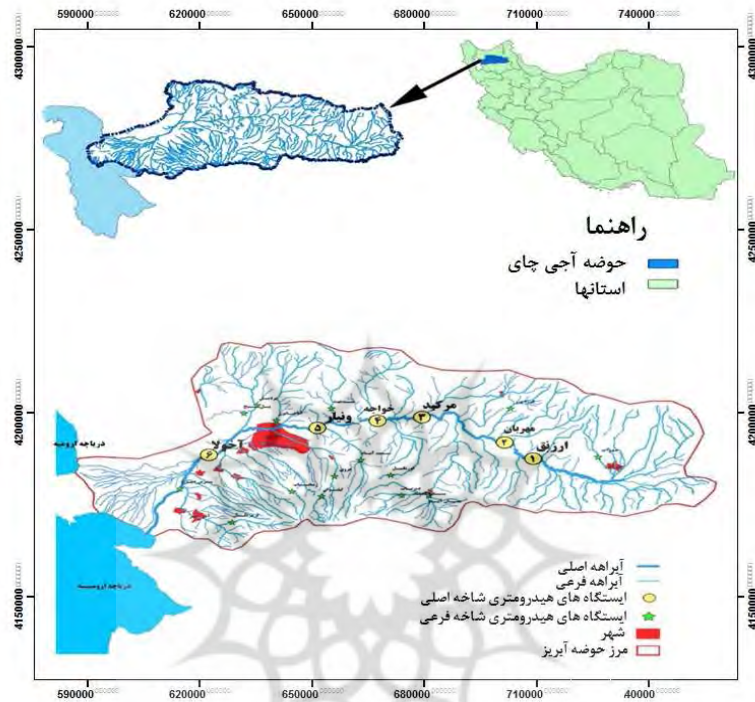
تاکنون مطالعات محدودی در ارتباط با مدل ریزمقیاس کردن آبشاری که بر اساس تئوری فرکتال بنا شده است، در راستای مدلسازی رسوب صورت گرفته است. سیووکومار^۱ و همکاران (۲۰۰۲)، با بررسی رفتار دینامیکی بار رسوبات معلق به این نتیجه رسیدند که بار رسوبی دارای خصوصیات غیرخطی قطعی می‌باشد. در مطالعه دیگر سیووکومار و همکاران (۲۰۰۴)، به بررسی رفتار دینامیکی انتقال بار رسوب در پنج مقیاس زمانی پی‌درپی در مقیاس‌های روزانه، ۲ روز، ۴ روز، ۸ روز و ۱۶ روز برای رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی پرداخت. سیووکومار (۲۰۰۶)، تحت مطالعه‌ای برآورد بار رسوب معلق را با دقت بالا کار دشواری دانسته که اولاً عدم دسترسی به تخلیه‌ی آب با وضوح بالا و اندازه‌گیری غلظت رسوبات معلق. ثانیاً هرگونه خطا در اندازه‌گیری این دو مؤلفه به طور قابل توجهی می‌تواند دقت برآورد بار معلق رسوب را تحت تأثیر قرار دهد (ثالثاً) اندازه‌گیری مستقیم بسیار گران‌قیمت می‌باشد. بنابراین به دلیل دشواری تخمین رسوبات معلق رودخانه در مقیاس‌های ریزتر، امکان وجود رفتار مقیاس‌گذاری رسوب معلق رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. شانگ^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ی خود مدلسازی سری زمانی غیرخطی را جهت تحلیل داده‌های رسوب معلق بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های آشوب به وضوح در پدیده‌ی انتقال رسوب دیده می‌شود.

1- Sivakumar bellie

2- Shang pengjian

– موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

رودخانه‌ی آجی‌چای در ناحیه شمال‌غربی ایران در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته و شهرهای تبریز، آذرشهر، سراب، بستان‌آباد، هریس و اسکو نقاط مهم شهری این حوضه بشمار می‌آیند. این حوضه در محدوده $۴۵^{\circ}۳۰'$ تا $۴۷^{\circ}۴۵'$ طول شرقی و $۳۷^{\circ}۴۵'$ تا $۳۸^{\circ}۳۰'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه‌ی آبریز آجی‌چای از شمال به حوضه‌ی آبریز اهر چای، از جنوب به حوضه‌ی آبریز شهر چای از شرق به حوضه‌ی آبریز بالخواجای و از غرب به دریاچه‌ی ارومیه محدود می‌شود. رودخانه‌ی آجی‌چای در دره‌ای که مابین کوه‌های ارسباران، قوشه‌داغ و سبلان از شمال و کوه‌های بزقوش‌داغ و سهند از جنوب قرار گرفته است در جهت عمومی شرقی-غربی جریان می‌یابد. میانگین سالانه‌ی دمای متوسط روزانه در حوضه‌ی مطالعاتی از حدود ۱۰ درجه در مناطق اطراف دریاچه‌ی ارومیه تا کمتر از $۲/۵$ درجه در سال در ارتفاعات سهند و سبلان متغیر است. در ایستگاه‌های حوضه‌ی مورد مطالعه‌ی داده‌های رسوب دارای نواقصی می‌باشد که این داده‌ها بعضاً هر ماه یک یا دو بار در شرایط خاص مثل موقع سیلاب و بارش شدید اندازه‌گیری شده است و در بعضی ایستگاه‌ها داده‌های نسبتاً کاملی وجود دارد. دوره‌ی آماری در ایستگاه‌ها متفاوت می‌باشد طوری که در بعضی ایستگاه‌ها اخیراً ثبت آمار و اطلاعات رسوب و دبی شروع شده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آجی چای

مواد و روشها

در این پژوهش ابتدا با تلفیق داده‌ها و نقشه‌ها در محیط GIS عوامل مؤثر در مدل MPSIAC محاسبه و رسوب متوسط سالانه برآورد گردید، سپس رسوب سالانه با در نظر گرفتن تغییرات عوامل مدل نسبت به زمان محاسبه و در نهایت با مدل آبخاری رسوب سالانه حاصل از مدل MPSIAC به رسوب ماهانه ریزمقیاس گردید.

– مدل MPSIAC

در مدل PSIAC تاثیر و نقش نه عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز ارزیابی می‌گردد. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل عددی به آن نسبت داده می‌شود، سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به دست آمده برای عوامل مختلف میزان رسوبدهی حوضه برآورد می‌شود. هر یک از عوامل نه‌گانه فرسایش خاک و تولید رسوب در اجزای واحد اراضی یا واحد هیدرولوژیکی یا هر واحد دیگر مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند.

پس از تعیین امتیاز عوامل در نظر گرفته شده در مدل PSIAC و به دست آوردن مجموع نمرات آنها در هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی، برای برآورد تولید رسوب از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید به صورت رابطه‌ی (۱) استفاده می‌گردد (رفاهی، ۱۳۸۲).

$$Q_s = 38.77e^{0.0353R} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

Q_s : میزان رسوبدهی سالانه بر حسب مترمکعب در کیلومترمربع R : درجه رسوبدهی

$$\text{LogSDR} = 1.8768 - 0.1491 \text{Log } 10 A \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$SDR = \frac{S_y}{E_r} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

SDR = نسبت تولید رسوب بر حسب درصد، A = مساحت حوضه بر حسب مایل مربع، S_y = میزان رسوبدهی بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال، E_r = میزان فرسایش ناخالص بر حسب تن در کیلومترمربع در سال

مدل PSIAC برای هر عامل حدود تغییراتی را مشخص کرده است که تا حدودی انتخابی بوده و متناسب با عامل رسوبدهی نیاز به قضاوت کارشناسی دارد.

جانسون و گمبهارت^۱ (۱۹۸۲)، عوامل نه گانه این روش را به صورت معادلات عددی درآورده (جدول ۱).

جدول (۱) عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در مدل MPSIAC و PSIAC (جانسون و گمبهارت، ۱۹۸۲)

ردیف	عامل	نمرات مشخص‌کننده	معادله‌ی پارامترها
۱	زمین‌شناسی سطحی	۰ - ۱۰	$X_1 = Y_1$
۲	خاک	۰ - ۱۰	$X_2 = 16 / 67K$
۳	آب وهوا	۰ - ۱۰	$X_3 = 0 / 2P_1$
۴	رواناب	۰ - ۱۰	$X_4 = 0 / 006R + 10Q_p$
۵	پستی و بلندی	۰ - ۲۰	$X_5 = 0 / 33S$
۶	پوشش زمین	۱۰ - تا ۱۰+	$X_6 = 20 - 0 / 2P_b$
۷	کاربرای اراضی	۱۰ - تا ۱۰+	$X_7 = 20 - 0 / 2P_c$
۸	وضعیت فعلی فرسایش	۰ - ۲۵	$X_8 = 0 / 25 S. S. F$
۹	فرسایش رود خانه‌ای	۰ - ۲۵	$X_9 = 1 / 67 S. S. F. g$

– ریزمقیاس کردن

میزان رسوب برآورد شده با استفاده از روش MPSIAC متوسط سالانه بوده و از طرفی با توجه به وسعت حوضه‌ها و عدم وجود کافی آمار رسوب بخصوص در مقیاس‌های کوچک‌تر، از اینرو در گام اول مقاله‌ی حاضر برآورد رسوب برای هر سال با تکیه بر چگونگی تغییرات فاکتورهای مدل MPSIAC نسبت به زمان مورد بررسی قرار گرفت. از میان عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC عواملی از جمله بارش و رواناب تغییرات روزانه داشته، لیکن وضعیت پوشش گیاهی و کاربری اراضی سالانه و یا در مدت زمانی نسبتاً طولانی دستخوش تغییر می‌باشند. ولی تغییرات عواملی

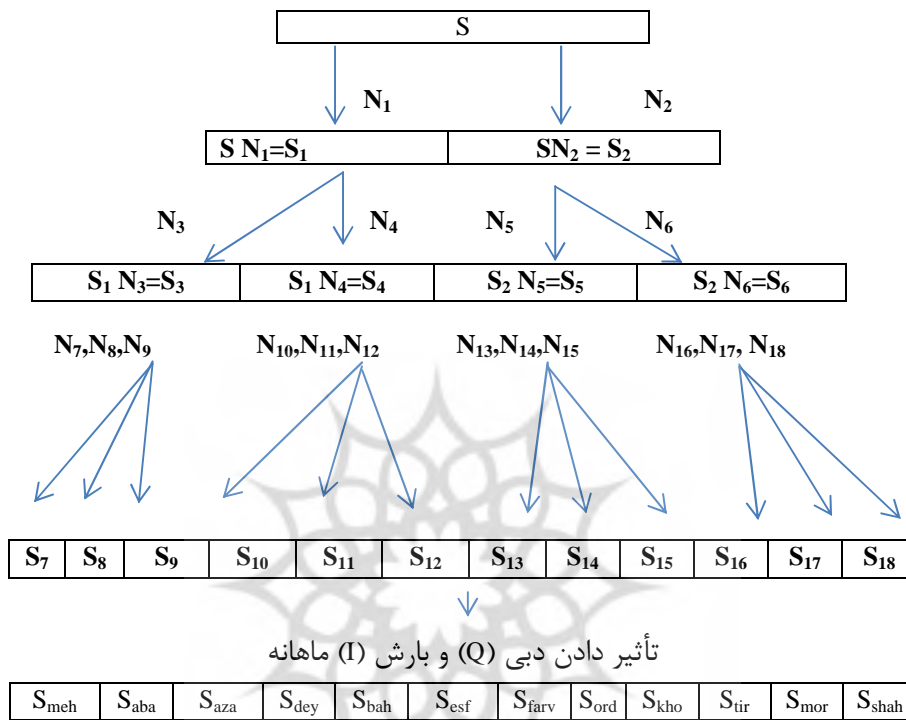
1- Johnson & Gebhardt

همچون زمین‌شناسی و یا خاک در طول مدت زمان خیلی طولانی صورت می‌گیرد که برای مدلسازی این تحقیق قابل صرف‌نظر بود. بنابراین برای عواملی که در طول زمان دستخوش تغییرات زیادی هستند، مقادیر این عوامل برای هر سال محاسبه شد و برای پوشش گیاهی و کاربری اراضی میانگین وضعیت این عوامل در حوضه برای طول دوره آماری در نظر گرفته شد. در نتیجه میزان رسوب هر زیرحوضه برای هر سال آماری جداگانه محاسبه گردید.

با توجه به شرایط جوی، میزان بارش‌ها و استفاده از آب در اراضی کشاورزی و غیره، در نتیجه میزان تولید رسوب در تمام فصل‌های سال یکسان نبوده لذا نمی‌توان رسوب سالانه را به نسبت مساوی برای تمام ماه‌های سال در نظر گرفت، از این رو برای ریزمقیاس کردن رسوب سالانه به ماهانه با صحت‌سنجی داده‌های موجود و پر کردن نواقص داده‌ها، مدل ریزمقیاس کردن آبخاری مورد استفاده قرار گرفت.

در فرآیند گسسته‌سازی رسوب در زمان مطابق (شکل ۲ و رابطه‌های ۴ و ۵) بازه‌ی اولیه مورد نظر که رسوب سالانه (S_1) می‌باشد به صورت متوالی و آبخاری با ضرایب مشخص (N_i) به سطح‌های کوچک‌تر شکسته می‌شود. به منظور کالیبره کردن و بالا بردن دقت ضرایب، ابتدا رسوب سالانه برای دو بازه‌ی شش ماهه سپس برای چهار بازه‌ی سه ماهه ریزمقیاس می‌گردد طوری که مقدار ضرایب متعلق به هر بازه متأثر از میزان تولید رسوب در هر فصل می‌باشد. به عنوان مثال میزان تولید رسوب در سه ماه اول سال نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر می‌باشد در نتیجه مقادیر N_i برای این فصل‌ها حداکثر خواهد بود. سپس با توجه به تاثیر مستقیم دبی (Q) و بارش (R) در تولید رسوب مقادیر N_i نسبت به تغییرات دبی ماهانه‌ی کالیبره می‌گردد.

$$\text{رابطه‌ی (۴)} \quad SN_{ij} = S_{ij} \quad \text{و} \quad \text{رابطه‌ی (۵)} \quad S_{ij} N_{ky} = S_{ky}$$



شکل (۲) فرآیند ریزمقیاس کردن مقدار رسوب سالانه به ماهانه

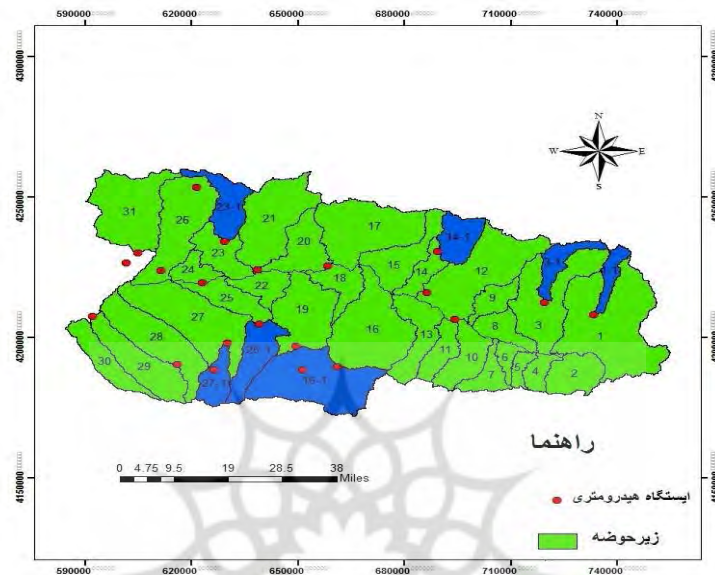
بحث و نتایج

در این مقاله ابتدا برآورد میزان رسوب سالانه با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و اعمال مدل تجربی MPSIAC در واحدهای هیدرولوژیکی و پهنه‌بندی آن در وسعت صورت گرفت. جهت انجام این مهم، ارزیابی محیطی هر یک از واحدها ضروری بود. از این‌رو تهیه داده‌های مورد نیاز مدل MPSIAC برحسب واحدهای کاری صورت گرفت تا اولاً، نقش هر یک از عوامل موثر در میزان رسوبزایی زیرحوضه‌ها مشخص گردد ثانیاً، بحرانی‌ترین زیرحوضه‌ها از نظر فرسایش پذیری و تولید رسوب معین شود، ثالثاً بعد از برآورد رسوب سالانه در زیرحوضه‌ها

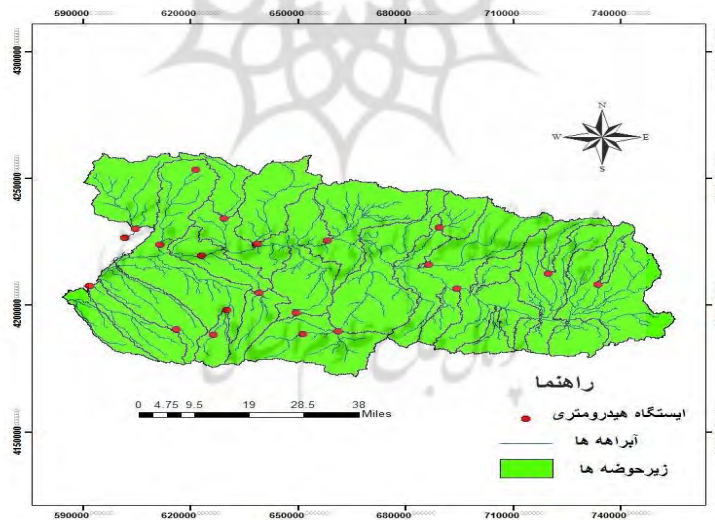
اقدام به ریزمقیاس نمودن و صحت‌سنجی با داده‌های موجود، نواقص داده‌های آماری آنها پر شود.

– برآورد رسوب سالانه با مدل MPSIAC

با واردکردن DEM به محیط GIS و با اصلاح پستی و بلندی و ناهمواری‌های غیرمتعارف DEM، جهت جریان، تراکم جریان، شبکه‌ی آبراهه‌ها و زیر حوضه‌ها تولید گردید. با توجه به موقعیت بعضی از ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه جهت استفاده و مقایسه داده‌های دبی، رسوب و رواناب در این ایستگاه‌ها، زیرحوضه‌های منتهی به این ایستگاه‌ها استخراج شد (شکل ۳، الف و ب). در نتیجه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی، پوشش گیاهی، کاربری زمین و... استخراج و پس از تلفیق این نقشه‌ها و سایر داده‌ها، هر یک از عوامل مؤثر در تولید میزان رسوب و فرسایش در واحدهای کاری مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت با میانگین‌گیری به صورت وزنی، امتیاز هر یک از عوامل در منطقه و زیرحوضه‌ها با استفاده از معادلات ارائه شده در مدل MPSIAC محاسبه شد. در ادامه برای هر واحد کاری درجه رسوبدهی حاصل، جمع امتیازات عوامل نه‌گانه محاسبه و برای هر یک از واحدهای هیدروژئوژیک می‌تواند میزان تولید رسوب و شدت فرسایش‌پذیری محاسبه شد (شکل ۴ و جدول ۲). نتایج حاصل نشان می‌دهد بین بار رسوب برآورد شده با مدل MPSIAC و نتایج مشاهداتی و ثبت شده همبستگی بالایی وجود دارد (شکل ۵).

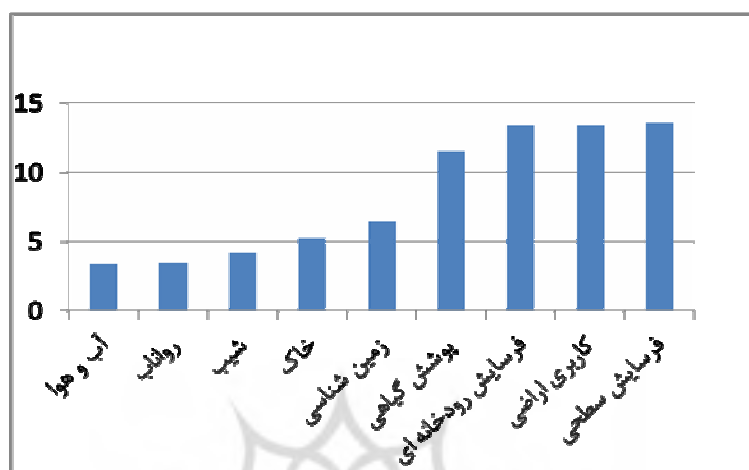


(الف)

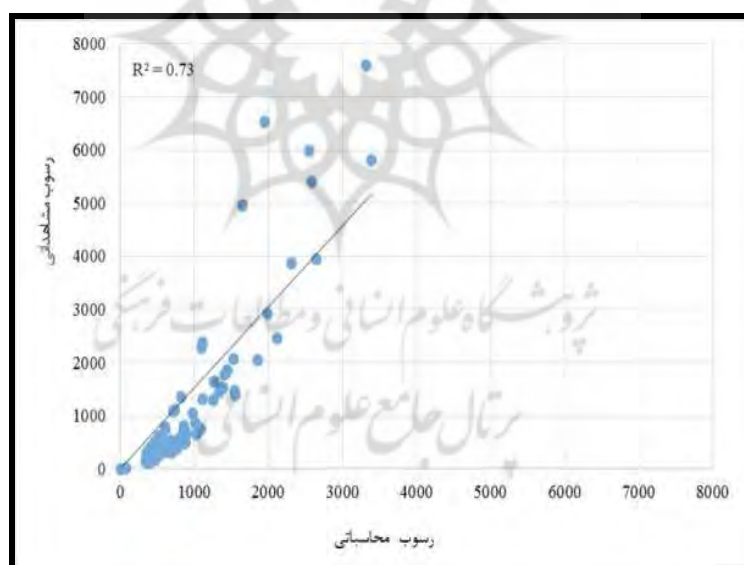


(ب)

شکل (۳) الف) زیرحوضه‌های اصلی و فرعی و ایستگاه‌ها ب) شبکه‌ی آبراهه‌ی حوضه در محیط GIS



شکل (۴) امتیاز عوامل نه‌گانه‌ی مدل در حوضه



شکل (۵) رابطه‌ی همبستگی و نمودار بین رسوب مشاهده‌ای و محاسباتی

جدول (۲) میزان تولید رسوب و فرسایش واحدهای هیدرولوژیکی و کل حوضه

رسوب ton/km ² /Y	رسوب Ton/Y	S.D.R درصد	فرسایش ton/km ² /Y	مجموع امتیازات R	شدت رسوبدهی	مساحت KM ²	زیر حوضه
۲۷۰	۲۱۷۰۲۱	۰/۱۶	۱۶۸۷/۵	۷۴/۷	III	۸۰۲/۷۸	۱
۲۰۵	۱۸۳۵۴	۰/۳۲	۶۴۰/۶	۶۷/۲	III	۸۹/۲۳	۱-۱
۲۲۲	۴۳۶۲۰	۰/۲۷	۸۲۲/۲	۶۹/۴	III	۱۹۶/۲۳	۲
۲۰۲	۹۰۵۶۱	۰/۲۵	۸۰۸	۶۶/۷	III	۴۴۸/۳۲	۳
۲۱۸	۲۷۹۵۱	۰/۳۰	۷۲۶/۶	۶۸/۸	III	۱۲۸/۳۳	۳-۱
۲۶۰	۱۶۷۳۰	۰/۳۱	۸۳۸/۷	۶۶/۴	III	۸۳/۶۵	۴
۲۶۸/۵	۱۴۴۷۱	۰/۲۹	۹۲۵/۸	۷۴/۶	III	۵۳/۸۹	۵
۲۴۵	۱۴۹۴۳	۰/۲۸	۸۷۵	۷۲/۱	III	۶۱/۰۸	۶
۲۲۷	۲۵۹۹۱/۵	۰/۲۷	۸۴۰/۷	۷۰	III	۱۱۴/۵۱	۷
۱۹۸	۲۶۶۹۲	۰/۲۶	۷۶۱/۵	۶۶	III	۱۳۵/۰۲	۸
۲۱۳	۲۴۴۰۰	۰/۲۶	۸۱۹/۲	۶۸/۲	III	۱۱۴/۵	۹
۲۳۷	۴۷۶۶۳	۰/۲۴	۹۸۷/۵	۷۱/۱	III	۲۰/۱/۱۱	۱۰
۲۵۰	۳۴۸۵۵	۰/۲۵	۱۰۰۰	۷۲/۶	III	۱۳۹/۴۲	۱۱
۲۳۸	۱۳۰۳۲۵	۰/۲۱	۱۱۳۳/۳	۷۱/۳	III	۵۴۷/۳۸	۱۲
۳۰۰	۷۱۷۰۰	۰/۲۴	۱۲۵۰	۷۷/۵	IV	۲۳۸/۹۸	۱۳
۱۸۶	۲۱۰۶۴	۰/۲۷	۶۸۸/۸	۶۴/۳	III	۱۱۳/۴۵	۱۴
۱۷۰	۲۸۹۰۰	۰/۲۵	۶۸۰	۶۱/۸	III	۱۶۹/۹	۱۴-۱
۲۱۰	۵۲۸۳۶	۰/۲۴	۸۷۵	۶۷/۷	III	۲۵۱/۵۹	۱۵
۳۷۷	۲۰۵۹۱۷	۰/۲۱	۱۷۹۵/۲	۷۷/۲	IV	۵۴۶/۱۸	۱۶
۲۵۸/۵	۱۴۶۰۵۰	۰/۲۱	۱۲۳۱	۷۳/۶	III	۵۶۵/۷۲	۱۶-۱
۲۲۳/۵	۱۱۳۷۰۰	۰/۲۵	۸۹۴	۶۹/۵	III	۵۰۸/۷۵	۱۷
۳۱۱	۴۸۰۱۵	۰/۲۶	۱۱۹۶/۱	۷۸/۸	IV	۱۵۴/۲۳	۱۸
۳۹۵	۱۴۸۳۴۸	۰/۲۲	۱۷۹۵/۴	۸۵/۴	IV	۳۷۵/۳۶	۱۹
۳۰۰	۶۹۳۰۰	۰/۲۴	۱۲۵۰	۷۷/۶	IV	۲۳۰/۹	۲۰
۲۶۵	۱۲۱۴۸۷	۰/۲۲	۱۲۰۴/۵	۷۴/۲	III	۴۶۰/۳۹	۲۱
۵۲۳	۷۰۴۴۸	۰/۲۶	۲۰۱۱/۵	۹۴	IV	۱۳۴/۷۱	۲۲
۳۴۰	۶۲۹۰۰	۰/۲۵	۱۳۶۰	۸۱/۲	IV	۱۸۴/۹۷	۲۳

ادامه جدول (۲)

زیر حوضه	مساحت KM ²	شدت رسوبدهی	مجموع امتیازات R	فرسایش ton/km ² /Y	S.D.R درصد	رسوب Ton/Y	رسوب ton/km ² /Y
۲۳-۱	۱۹۹/۱۶	IV	۸۳/۷	۱۵۱۴	۰/۲۴	۷۳۸۳۰	۳۷۱
۲۴	۹۹/۱۳	IV	۸۲/۱	۱۲۹۶/۳	۰/۲۷	۳۴۶۸۰	۳۵۰
۲۵	۱۷۹/۱۳	IV	۸۱/۲	۱۳۵۶	۰/۲۵	۶۰۶۸۱	۳۳۹
۲۵-۱	۲۲۲	IV	۸۱/۶	۱۴۳۳/۳	۰/۲۴	۷۶۴۱۸	۳۴۴
۲۶	۴۵۱/۸۷	IV	۷۵/۵	۱۲۶۳/۶	۰/۲۲	۱۲۵۶۵۶	۲۷۸
۲۷	۵۴۰/۷۸	IV	۷۷/۸	۱۴۲۸/۵	۰/۲۱	۱۶۲۳۰۰	۳۰۰
۲۷-۱	۱۳۶/۳۸	IV	۸۰/۲	۱۲۶۱/۵	۰/۲۶	۴۴۷۷۲	۳۲۸
۲۸	۳۹۱/۲۵	IV	۷۸/۶	۱۴۰۹	۰/۲۲	۱۲۱۳۶۵	۳۱۰
۲۹	۳۰۸/۵۲	IV	۷۶/۹	۱۲۶۹/۵	۰/۲۳	۹۰۰۸۲	۲۹۲
۳۰	۱۸۸/۴۳	III	۷۲/۷	۱۴۲۰	۰/۲۵	۶۶۹۱۸	۳۵۵
۳۱	۴۷۸/۴۴	III	۶۹/۴	۱۰۷۱/۴	۰/۲۱	۱۰۷۷۷۵	۲۲۵
کل حوضه	۱۰۴۲۶/۶	III	۷۴/۴	۱۹۴۲/۸	۰/۱۴	۲۷۸۷۰۷۵	۲۷۲

– ریزمقیاس نمایی بار رسوب

نتایج حاصل از مدل MPSIAC برای میزان رسوب برآورد شده، متوسط سالانه می‌باشد لذا برای ماهانه کردن رسوب از داده‌های موجود و عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC که زمانمند هستند، استفاده شد. با لحاظ میزان بارش و رواناب برای ماه‌های مختلف هر سال آماری و بررسی میزان و نحوه‌ی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه میزان رسوبدهی و فرسایش سالانه برای هر سال آماری محاسبه گردید (جدول ۳) سپس با استخراج ضرایب ریزمقیاس رسوب سالانه به ماهانه عمل ریزمقیاس کردن صورت گرفت محاسبه میزان رسوب تولید شده سالانه و ریزمقیاس کردن ماهانه برای تمامی ایستگاه‌های حوضه‌ی مورد مطالعه انجام یافت که در اینجا فقط به گزارش نتایج ایستگاه بستان‌آباد بسنده شد (جدول ۴).

جدول (۳) میزان رسوب سالانه ایستگاه بستان آباد

سال آبی	رواناب سالانه (m ³ /yer)	دبی پیک (m ³ /se)	دبی پیک ویژه (m ³ /sec*km ²)	بارش (۶ساعته) (mm/h)	عمق رواناب (mm)	R نهایی	رسوب سالانه (m ³ /km ²)	میزان رسوب ویژه (ton/km ² /yer)
۶۰-۶۱	۴۸/۳۲	۶۴	۰/۱۱۴	۳/۷۲	۸۶/۳	۷۳/۱	۲۵۸/۵	۳۳۶/۱۵
۶۱-۶۲	۸۶/۱۷	۶۴	۰/۱۱۴	۳/۷۸	۱۵۳/۹	۷۳/۶	۲۶۲/۹	۳۴۱/۹
۶۲-۶۳	۵۶/۲۹	۶۴	۰/۱۱۴	۲/۴۳	۱۰۰/۵	۷۱/۹	۲۴۷/۶	۳۲۱/۹
۶۳-۶۴	۶۳/۵۴	۳۱/۳	۰/۰۵۵	۲/۳۳	۱۱۳/۴	۷۱/۳	۲۴۲/۲	۳۱۴/۹
۶۴-۶۵	۴۷	۱۳/۱	۰/۰۲۳	۲/۷	۸۴	۷۱/۱	۲۴۱/۱	۳۱۳/۵
۶۵-۶۶	۴۱/۱	۱۰/۵	۰/۰۱۸	۲/۱۶	۷۳/۴	۷۰/۵	۲۳۵/۵	۳۰۶/۲
۶۶-۶۷	۷۴	۲۴/۶	۰/۰۴۴	۲/۲۹	۱۳۲/۱۵	۷۱/۲	۲۴۲	۳۱۴/۶
۶۷-۶۸	۴۶/۲	۲۷	۰/۰۴۸	۲/۵	۸۲/۵	۷۱/۲	۲۴۱/۵	۳۱۳/۹
۶۸-۶۹	۲۹/۳	۱۱/۲	۰/۰۲	۲/۷	۵۲/۳۵	۷۰/۹	۲۳۹/۲	۳۱۱
۶۹-۷۰	۴۲/۲	۱۸/۴	۰/۰۳۲	۲/۵۳	۷۵/۳	۷۱	۲۴۰/۱	۳۱۲/۱
۷۰-۷۱	۸۶/۹	۳۶/۵	۰/۰۶۵	۲/۹۱	۱۵۵/۳	۷۲/۲	۲۵۰/۶	۳۲۵/۸
۷۱-۷۲	۴۸/۳	۶۴	۰/۱۱۴	۳/۶	۸۶/۲۸	۷۳	۲۵۷/۴	۳۳۴/۷
۷۲-۷۳	۴۸/۳	۶۴	۰/۱۱۴	۲/۲	۸۶/۲۸	۷۱/۶	۲۴۴/۸	۳۱۸/۲۵
۷۳-۷۴	۴۸/۳	۶۴	۰/۱۱۴	۲/۲۷	۸۶/۲۸	۷۱/۶	۲۴۵/۴۵	۳۱۹/۰۵
۷۴-۷۵	۵۳	۳۶/۷	۰/۰۶۵	۲/۷۱	۹۴/۶	۷۱/۸	۲۴۵/۵	۳۱۹/۱۷
۷۵-۷۶	۴۴/۴	۴۳/۸	۰/۰۷۸	۲/۲	۷۹/۳۳	۷۱/۲	۲۴۱/۴	۳۱۳/۸
۷۶-۷۷	۳۷/۱	۱۲	۰/۰۲۱	۴/۶	۶۶/۴	۷۲/۹	۲۵۷/۳	۳۳۴/۴
۷۷-۷۸	۱۸/۹	۶۴	۰/۱۱۴	۳/۱	۳۳/۷۵	۷۲/۲	۲۵۰	۳۲۵/۱
۷۸-۷۹	۱۸/۶	۵/۸	۰/۰۱۴	۲/۷	۳۳/۲	۷۰/۷	۲۳۷/۴	۳۰۸/۶
۷۹-۸۰	۱۶/۷	۳/۸	۰/۰۰۷	۲/۳	۲۹/۸	۷۰/۳	۲۳۳/۶	۳۰۳/۷
۸۰-۸۱	۲۰/۶	۱۰/۳	۰/۰۱۸	۲/۵	۳۶/۸	۷۰/۶	۲۳۶/۵	۳۰۷/۴
۸۱-۸۲	۵۳/۵	۶۴	۰/۱۱۴	۵/۷	۹۵/۶	۷۵/۲	۲۷۹/۲	۳۶۲/۹
۸۲-۸۳	۳۱/۶	۲۸/۱	۰/۰۵	۵	۵۶/۴	۷۳/۵	۲۶۲/۹	۳۴۱/۷
۸۳-۸۴	۲۲/۱	۱۱/۹	۰/۰۲۱	۲/۸	۳۹/۵	۷۱	۲۳۹/۷	۳۱۱/۷
۸۴-۸۵	۲۳/۱	۱۵/۹	۰/۰۲۸	۶/۶	۴۱/۲	۷۴/۸	۲۷۵/۶	۳۵۸/۲

ادامه‌ی جدول (۳)

سال آبی	رواناب سالانه (m ³ /yr)	دبی پیک (m ³ /se)	دبی پیک ویژه (m ³ /sec* km ²)	بارش (mm/h)	عمق رواناب (mm)	R نهایی	رسوب سالانه (m ³ /km ²)	میزان رسوب ویژه (ton/km ² /yer)
۸۵-۸۶	۴۲/۸	۳۳/۹	۰/۰۶	۳/۴	۷۶/۵	۷۲/۲	۲۵۰/۳	۳۲۵/۴
۸۶-۸۷	۵۲/۳	۶۴	۰/۱۱۴	۳/۷۸	۹۳/۴	۷۳۲	۲۵۹/۶	۳۳۷/۵
۸۷-۸۸	۱۱/۱	۴۷/۸	۰/۰۸۵	۳/۶	۱۹/۹	۷۱/۹	۲۴۸/۲	۳۲۲/۷
۸۸-۸۹	۹/۴	۱۸/۵	۰/۰۳۳	۲/۶	۱۶/۸	۷۰/۸	۲۳۸/۲	۳۰۹/۶
۸۹-۹۰	۱۴/۹	۱۵/۴	۰/۰۲۷	۲/۹	۲۶/۶	۷۱	۲۴۰/۲	۳۱۲/۴
۹۰-۹۱	۱۷/۴	۶۴	۰/۱۱۴	۷/۹	۳۱/۱۶	۷۷	۲۹۷/۴	۳۸۶/۷

جدول (۴) ضریب مدل آبشاری، سری زمانی دبی و رسوب ماهانه در ایستگاه بستان آباد

سال آبی رسوب	مهر	آبان	آذر	دی
۶۰-۶۱	۰/۲	۰/۱	۱۲/۵	۰/۱۸
۶۱-۶۲	۰/۵	۰/۲	۱۳/۴۷	۱/۲۹
۶۲-۶۳	۱/۱	۰/۶	۱۴/۸۷	۱
۶۳-۶۴	۰/۵	۰/۲	۱۵/۱۱	۱/۱۶
۶۴-۶۵	۰/۱	۰/۰۸	۱۸/۰۲	۰/۹۹
۶۵-۶۶	۰/۲	۰/۲	۱۹/۷۵	۱/۰۷
۶۶-۶۷	۰/۲	۰/۷	۱۶/۳۹	۱/۴۷۵
۶۷-۶۸	۰/۵	۰/۱۶	۱۱/۳۶	۱/۳
۶۸-۶۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۱۸/۰۳	۰/۶۵
۶۹-۷۰	۰/۰۵	۰/۰۴۲	۶/۷۱	۰/۳۵
۷۰-۷۱	۰/۱	۰/۰۴	۴/۹۱	۰/۵
۷۱-۷۲	۰/۲	۰/۱۴	۱۲/۲۱	۰/۵۵
۷۲-۷۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۱۱/۸۳	۰/۵۶
۷۳-۷۴	۰/۲	۰/۱۵	۱۲/۰۶	۰/۶

ادامه‌ی جدول (۴)

سال	مهر	آبان	آذر	دی	آبی	رسوب	دبی	ضریب رسوب	دبی	ضریب رسوب	دبی	ضریب رسوب	دبی	ضریب رسوب	دبی	ضریب رسوب
۷۴-۷۵	۰/۳	۰/۱۷	۰/۷۳	۰/۴۲	۰/۸۷	۰/۵	۲۰/۹۶	۱/۳۶	۰/۸۷	۱۱/۲۶	۰/۱۷	۰/۳	۴/۵۳	۰/۱۷	۰/۳	۲۰/۹۶
۷۵-۷۶	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۷۸	۰/۵۵	۰/۸۴	۰/۶	۱۶/۳۵	۰/۱۸۸	۰/۶۳	۱۴/۵۹	۰/۱۷	۰/۲۴	۴/۵۵	۰/۱۷	۰/۲۴	۱۶/۳۵
۷۶-۷۷	۰	۰	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۸	۰/۷۲	۳۷/۱۶	۱/۴۷	۱/۳۳	۶/۸۵	۰/۲۷	۰	۰	۰/۲۷	۰/۲۵	۳۷/۱۶
۷۷-۷۸	۰/۴	۰/۶	۰/۵۳	۰/۸۷	۰/۶۴	۱/۱	۲۶/۸۸	۰/۱۵۹	۱	۲۳/۶	۰/۶	۰/۴	۱۷/۸۷	۰/۶	۰/۵۳	۲۶/۸۸
۷۸-۷۹	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۴	۰/۷	۳۴/۰۷	۰/۱۷۸	۱/۳۲	۹/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۵	۰/۰۲	۰/۳۵	۳۴/۰۷
۷۹-۸۰	۰/۰۲۸	۰/۰۵	۰/۵۷	۱/۰۷	۰/۶۸	۱/۳	۳۶/۵۶	۰/۱۷۷	۱/۴۵	۲۷/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲۸	۱/۳۶	۰/۰۵	۱/۰۷	۳۶/۵۶
۸۰-۸۱	۰	۰	۰/۰۲۲	۰/۰۳	۱۱	۰/۲۸	۲۴/۸۱	۰/۱۶۳	۱	۰/۸۶	۰	۰	۰	۰/۰۲۲	۰/۰۳	۲۴/۸۱
۸۱-۸۲	۰	۰	۰/۰۶۵	۰/۰۴	۱۳/۰۶	۰/۷۳	۱۳/۶۴	۰/۱۷۶	۰/۴۵	۱/۱۲	۰	۰	۰	۰/۰۶۵	۰/۰۴	۱۳/۶۴
۸۲-۸۳	۰/۱	۰/۰۰۳	۰/۲۳	۰/۲۵	۱۰/۲۵	۰/۳۱	۱۵/۱	۰/۴۷	۰/۵۳	۷/۳۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۱	۰/۰۰۳	۰/۲۳	۱۵/۱
۸۳-۸۴	۰/۷	۰/۰۱۹	۰/۱۶۲	۰/۲۲	۱۳/۷۱	۰/۳۷	۲۹/۶	۰/۸	۱/۱۵	۵/۹۲	۰/۰۳	۰/۰۱۹	۰/۷	۰/۰۳	۰/۱۶۲	۲۹/۶
۸۴-۸۵	۱/۶	۰/۰۳۸	۰/۳۳۶	۰/۴۵	۱۷/۰۵	۰/۴۲	۲۲/۴	۰/۱۵۵	۰/۷۵	۱۳/۶۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۱/۶	۰/۰۳۸	۰/۳۳۶	۲۲/۴
۸۵-۸۶	۰/۳۵	۰/۰۱۸	۰/۴۰۱	۰/۳	۱۱/۲۲	۰/۵۶	۶/۸۳	۰/۳۴	۰/۲۵	۷/۹۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۸	۰/۳۵	۰/۰۱۳	۰/۳	۶/۸۳
۸۶-۸۷	۲/۳۶	۰/۰۴۷	۰/۲۶۱	۰/۴۶	۲۴/۰۲	۰/۴۸	۳۱/۹۲	۰/۱۶۴	۱/۱۳	۱۲/۹	۰/۰۸	۰/۰۴۷	۲/۳۶	۰/۰۸	۰/۴۶	۳۱/۹۲
۸۷-۸۸	۱۶/۸	۰/۲۲۴	۰/۶۵	۰/۳۱	۱۸/۶۴	۰/۲۴	۲۳/۵۵	۰/۳۱	۰/۸۸	۲۳/۵	۰/۶۵	۰/۲۲۴	۱۶/۸	۰/۶۵	۰/۳۱	۲۳/۵۵
۸۸-۸۹	۱/۸۸	۰/۰۲۲	۱۹/۵۷	۰/۲۲	۲۱/۶۷	۰/۲۴	۲۳/۰۶	۰/۲۶	۰/۹	۱۹/۵۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۱/۸۸	۰/۰۲۲	۰/۲۲	۲۳/۰۶
۸۹-۹۰	۰/۴۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۸	۰/۰۹۳	۱۰/۴۹	۰/۱۹	۱۷/۲۷	۰/۳۱	۰/۶۶	۵/۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۹	۰/۴۶	۰/۰۱۸	۰/۰۹۳	۱۷/۲۷
۹۰-۹۱	۰/۵۸	۰/۰۱۳	۰/۳۲۷	۰/۴۵	۳۱/۳۹	۰/۷	۱۷/۴	۰/۳۸	۰/۵۵	۱۴/۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۵۸	۰/۰۱۳	۰/۴۵	۱۷/۴

نتایج حاصل نشان می‌دهد که دو عامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی بیشترین نقش را در مهار و تولید رسوب دارند و به تبع این دو عامل، عوامل فرسایش سطحی و فرسایش رودخانه‌ای نیز تغییر می‌کند. در زیرحوضه‌ی شماره‌ی ۲۲ حوضه‌ی مورد مطالعه با توجه به اینکه پوشش گیاهی ضعیف و کاربری اراضی مناسب نیست، بیشترین مقدار رسوب را در میان سایر زیرحوضه‌ها تولید نموده است. همچنین در زیرحوضه‌های ۱۹، ۱، ۲۳ و ۲۴ نیز با توجه به وضعیت نامناسب

پوشش گیاهی بیشترین مقدار رسوب تولید شده است و در مقابل، در بالادست‌های حوضه علیرغم شیب زیاد با عنایت به پوشش گیاهی مناسب رسوب کمتری تولید می‌شود. محاسبه مقدار رسوب تولید شده با مدل MPSIAC با استفاده از داده‌های موجود برای رسوب سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری کالیبره و گپ داده‌های موجود پر گردید همچنین ضرایب برای ریزمقیاس کردن رسوب با استفاده از مدل آبشاری در بازه‌های شش ماهه‌ی اول و دوم سال، چهار ماهه‌ی اول، دوم و سوم و نهایتاً برای دوازده ماه محاسبه و سپس رسوب سالانه به ماهانه تحت این ضرایب برآورد گردید و در آخر با استفاده از اندک داده‌های موجود ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری، داده‌های محاسباتی صحت‌سنجی شده است که نتایج نشان می‌دهد همبستگی بالایی میان داده‌های محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت رسوب در مهندسی آب و مدیریت حفاظت حوضه‌های آبریز، برآورد دقیق مقدار بار رسوب بخصوص در حوضه‌های فاقد آمار مشاهداتی و اندازه‌گیری شده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی با توجه به عدم وجود امکانات نوین در ایستگاه‌های هیدرومتری جهت اندازه‌گیری رسوب در زمان‌های مشخص، نیاز به مطالعات و ابزارهای است که بتوان از داده‌های با گام زمانی بزرگ، داده‌ها با گام زمانی کوچک‌تر تولید نمود.

در این مطالعه میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC با داده‌های مشاهداتی و اندازه‌گیری شده رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی آجی‌چای مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت و این نتیجه حاصل گردید که در حوضه‌های با وسعت بالا به علت کمبود ایستگاه رسوب سنجی آمار و اطلاعات رسوب حاصل از مدل فوق که بیشترین عوامل موثر را در فرسایش و تولید رسوب لحاظ می‌کند، از

دقت بالایی برخوردار بوده است و همبستگی قابل قبولی را با نتایج مشاهداتی و ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد. با توجه به عدم سهولت در مدیریت زمانی و مکانی ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه‌ها، بخصوص حوضه‌های با وسعت بسیار بالا مقادیر حاصل از این مدل در طرح‌های جامع قابل استفاده است. با مقایسه و صحت‌سنجی داده‌های موجود و اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی آبی‌چای در مقیاس‌های پایین با داده‌های استخراجی از این روش مشخص می‌گردد که با تعیین ضرایب ریزمقیاس و محاسبه رسوب برای هر سال می‌توان مقادیر رسوب در مقیاس‌های پایین‌تر را برآورد نمود. در راستای کاهش تولید رسوب و اندازه‌گیری دقیق پیشنهاد می‌گردد ابتدا به عدم تخریب وضعیت زمین اعم از تغییر کاربری‌های غیرمجاز و غیرکارشناسی و یا قطع پوشش گیاهی و سایر موارد که منجر به تولید رسوب می‌گردد، مبادرت نمود سپس جهت آگاهی از میزان تولید رسوب در ایستگاه‌های هیدرومتری علاوه بر اندازه‌گیری دستی که امکان انجام دادنش در هر لحظه وجود ندارد، با استفاده از سایر روش‌های در صورت امکان مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد و نتایج با این مدل ترکیبی MPSIAC و آبشاری مورد بحث و ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، دفتر مطالعات و هماهنگی (۱۳۷۲)، مطالعات توجیهی منابع طبیعی تجدیدشونده‌ی حوضه‌ی آبخیز تلخه‌رود، گزارش شماره‌ی ۱۳.
- صحرارو، ناهید؛ خدابخش، سعید؛ آتش‌زر، منوچهر و بهروز رفیعی (۱۳۸۹)، برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه‌ی آبریز دینور با استفاده از روش GIS و MPSIAC، کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران.
- Borzo, A., Momayez, M., Nikandish, A. (2008), **Evaluation of EPM, MPASIAC and PESIAC model for sediment and erosion estimation Fars province**, Iranian Journal of Agriculture knowledge. 67: PP. 321-359.
- Clark, K.B. (2001), **An estimate of sediment yield for two small sub-catchment in a geographic information system**, Ph.D. Thesis, University of New Mexico.
- Devente, J., Poesen, J. (2005), **Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale, Scale issues and semi-quantitative models**, Earth-Science Reviews, 71: PP. 95-125.
- Jalili, K., Hadid, M, (2005), **Quality and quantity evaluation of soil erosion and sedimentation by MPSIAC model using GIS**, 3th conference of sedimentation and erosion.
- Johnson, C.W., Gebhardt, K.A. (1982), **Predicting sediment yields from saga brush rangeland, Proceedings of the workshop on estimating erosion and sediment yield on rangeland, Tucson, Arizona, March 1981**. US department of agriculture, Agricultural Reviews and manuals, Western series, 26: PP. 145-156.
- Nourani, V., Andalib, G.R., (2015), **Daily and monthly suspended sediment load predictions using wavelet based artificial intelligence approaches**, Journal of Mountain Science. 12: PP. 85-100.

- Rajaei, T., Nourani, V., Zounemat Kermani, M., Kisi, O., (2011), **River suspended sediment load prediction: Application of ANN and wavelet conjunction model**, Journal of Hydrologic Engineering, 16: PP. 613-627.
- Sivakumar, B., Jayawardena A.W., (2002), **An investigation of the presence of low-dimensional chaotic behavior in the sediment transport phenomenon**, Hydrological Sciences Journal, 47: PP. 405-416.
- Sivakumar, B., (2002), **A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers**, Journal of Hydrology, 258: PP. 149-162.
- Sivakumar, B., (2006), **Suspended sediment load estimation and the problem of inadequate data sampling: a fractal view**, Earth Surface Processes and Landforms, 31: PP. 414-427.
- Shang, P., Na, X., Kamae, S., (2009), **Chaotic analysis of time series in the sediment transport phenomenon**, Chaos, Solutions and Fractals, 41: PP. 368-379.