



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۶
زمستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۳۳-۱۴۹

مرتضی قراچورلو^۱
فریبا اسفندیاری^۲

ارائه مدل مناسب برآورد بار رسوب معلق با استفاده از تلفیق توابع رگرسیونی و کلاسه‌بندی زمانی دبی در حوضه آبخیز بالیخلی‌جای (استان اردبیل)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳

چکیده

با توجه به اثرات زیان‌بار اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از بار رسوبی رودخانه‌ها، تحقیق حاضر به منظور ارزیابی و ارائه مدل مناسب برآورد بار رسوبی در ایستگاه پل الماس واقع بر روی رودخانه بالیخلی انجام گرفت. در این راستا جهت افزایش صحت و کارایی منحنی سنجه برآورد رسوب، اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های تلفیقی در قالب تحلیل توابع رگرسیونی مختلف بر اساس کلاسه‌بندی زمانی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن در یک دوره ۳۱ ساله گردید. مدل‌های مختلف بر اساس معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و با استفاده از شاخص خطای استاندارد برآورد (SEE) در محیط نرم‌افزار آماری SPSS مورد آزمون قرار گرفت تا مدل مناسب برآورد بار رسوبی انتخاب گردد. نتایج نشان از کارایی خوب مدل توانی در بین مدل‌های رگرسیونی و مدل ماهانه در بین مدل‌های زمانی داشت. بنابراین مدل رگرسیونی توانی ماهانه با داشتن کم‌ترین میزان خطای استاندارد برآورد (۰/۸۱) نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل مناسب برآورد بار رسوب معلق انتخاب گردید. در مقابل مدل زمانی که در آن از کل داده‌ها بدون انجام طبقه‌بندی جهت برازش توابع رگرسیونی به داده‌های دبی و رسوب استفاده شد، به عنوان ناکارآمدترین مدل شناخته شد. در

E-mail: morchorloo@gmail.com

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

پایان نتیجه گرفته شد که به‌کارگیری مدل ماهانه جهت آگاهی از رژیم رسوب‌دهی و پیچیدگی‌های انتقال رسوب در حوضه مورد مطالعه می‌تواند مفید واقع شود.

کلید واژه‌ها: دبی رسوب، دبی جریان، منحنی سنجه رسوب، دسته‌بندی، رگرسیون، بالیخلی‌چای.

مقدمه

فرسایش خاک و رسوب‌گذاری در زمره بزرگ‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی دنیا می‌باشد (یانگ^۳، ۲۰۰۳: ۲۹۱۳؛ زیائوکینگ^۴ و همکاران، ۲۰۰۳: ۱). برآوردها نشان می‌دهد که سالانه حدود ۰/۵ تا ۱ درصد از ظرفیت ذخیره سدهای جهان به واسطه ته‌نشست رسوب در حال کاهش است (خان‌چول^۵ و همکاران، ۲۰۱۰: ۵). سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب از گنجایش مفید سدها بر اثر انباشته شدن رسوبات کاسته می‌شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۵: ۷۷). با توجه به مشکلات متعددی که بار رسوبی رودخانه‌ها از قبیل رسوب‌گذاری در مخازن سدها، تغییر مسیر رودخانه‌ها به دلیل رسوب‌گذاری در بستر آن‌ها، کاهش ظرفیت آب‌گذری آبراهه‌ها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ مصارف شرب و کشاورزی به همراه دارد (معمدوزیری و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۸۴)، امروزه برآورد دقیق بار رسوبی جهت برنامه‌ریزی بهتر منابع آب و مدیریت حوضه‌های آبخیز اهمیت ویژه‌ای یافته است (سینگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۵؛ پاندی^۷ و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۰۵؛ عرب‌خدردی و زرگر، ۱۳۷۴: ۴۰۳؛ عرب‌خدردی و معمارزاده، ۱۳۸۰: ۲۰۶). علی‌رغم توسعه یک سلسله معادلات فیزیکی فرسایش خاک و انتقال رسوب، در حال حاضر پیش‌بینی رسوب‌دهی در مقیاس منطقه‌ای عمدتاً از راه مدل‌های ساده تجربی حاصل می‌شود (ورستراتن^۸ و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۲۸؛ گروسو^۹ و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۲۰). در این گونه مدل‌ها از روابط رگرسیونی مابین دبی جریان و دبی رسوب بهره‌جسته و یک یا چند منحنی بر داده‌های رسوب برازش داده می‌شود. رایج‌ترین شکل برازش، منحنی توانی به شکل (۱) $Q_s = a Q_w^b$ می‌باشد که به منحنی سنجه رسوب مشهور است. در این معادله، Q_s دبی رسوب، Q_w دبی آب، a و b ضریب‌های فرمول رگرسیونی می‌باشند. نظر به این که برآوردهای حاصل از منحنی‌های سنجه همواره با مقداری خطا و عدم قطعیت همراه هستند، محققان مختلف جهت افزایش دقت برآورد منحنی‌های سنجه رسوب از روش‌های متفاوتی بهره‌جسته‌اند که شامل اصلاح منحنی‌های سنجه رسوب و استفاده مناسب از آمار جریان (عرب‌خدردی، ۱۳۸۰؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۸۴) و بهره‌گیری از معادلات رگرسیونی غیرخطی

3- Yang

4- Xiaoqing

5- Khanchoul

6- Singh

7- Pandey

8- Verstraeten

9- Grauso

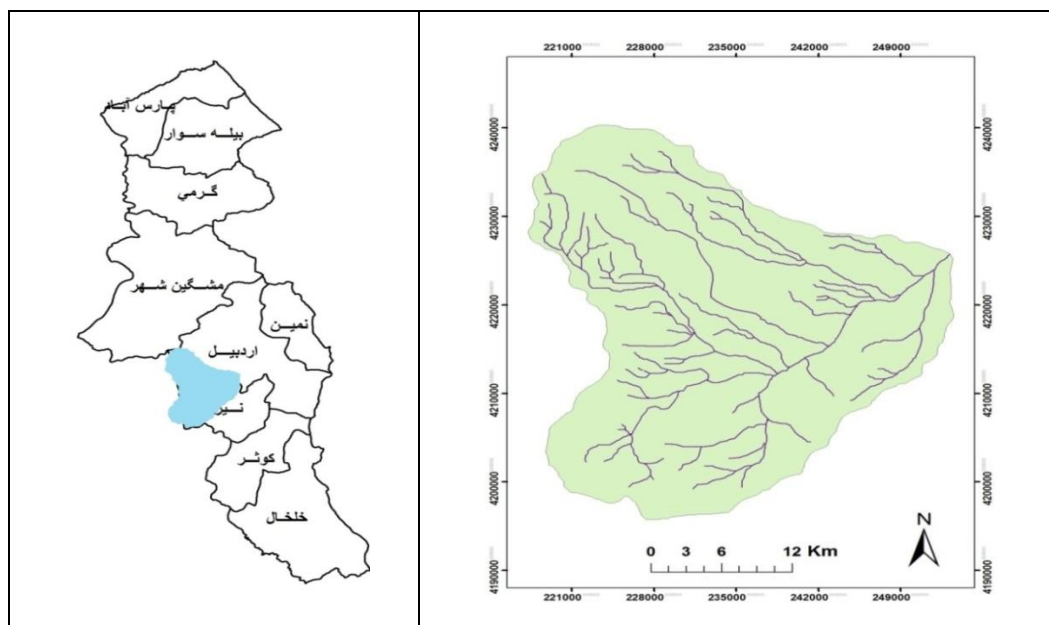
(هوروویتز^{۱۰}، ۲۰۰۲) می‌باشد. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهد روشی که در آن دسته‌بندی داده‌ها صورت نگرفته از بیش‌ترین میزان خطای برآورد برخوردار بوده است (برای مثال: والینگ^{۱۱} و وب^{۱۲}، ۱۹۸۲؛ توماس^{۱۳}، ۱۹۹۱؛ اسچمیت^{۱۴} و مرچ^{۱۵}، ۲۰۰۶؛ پیری، ۱۳۸۲؛ یوسفوند و همکاران، ۱۳۸۴؛ مساعدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ قورقی و همکاران، ۱۳۹۰). در مقابل کلاسه‌بندی زمانی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن باعث افزایش صحت و دقت برآوردها شده است، به طوری که محققانی چون هوروویتز (۲۰۰۳)؛ خان‌چول و همکاران (۲۰۱۰)؛ حیدرنژاد و همکاران (۱۳۸۳)؛ صادقی و همکاران (۱۳۸۳)؛ محمدرضاپور (۱۳۸۴)؛ جلالی و همکاران (۱۳۸۶)، با انتخاب مقیاس زمانی ماهانه به مدل مناسب برآورد بار رسوبی دست یازیده‌اند، برخی دیگر از طریق مقیاس زمانی فصلی به این نتیجه رسیده‌اند (از جمله: باتالا^{۱۶} و سالا^{۱۷}، ۱۹۹۴؛ صادقی و همکاران، ۱۳۸۳؛ ذرتی‌پور و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمودی و نجفی‌نژاد، ۱۳۹۰)، و بالاخره گاهی کلاسه‌بندی داده‌ها در قالب ماه‌های پرآب و کم‌آب باعث انتخاب مدل بهینه‌نهایی گردیده است (از جمله: پیری، ۱۳۸۲؛ یوسفوند و همکاران، ۱۳۸۴). از طرفی گرچه طبق عقیده محققان برجسته‌ای چون جانسون^{۱۸} (۱۹۹۷)؛ فیلیپس^{۱۹} و همکاران (۱۹۹۹)؛ آسلمن^{۲۰} و همکاران (۲۰۰۰)؛ کائو^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۵)، شکل متداول منحنی سنجه برآورد رسوب از طریق برقراری تابع توانی حاصل می‌شود، اما برخی از محققان مانند هوروویتز (۲۰۰۳) دریافتند که به نوبه خود، دیگر اشکال معادلات رگرسیونی (مانند خطی، درجه دو، مکعبی، نمایی و ...) نسبت به معادله توانی کارایی بهتری دارند. نتایج حاصل از آزمون مدل‌های مختلف رگرسیونی در تهیه منحنی‌های سنجه رسوب در داخل کشور نیز نشان از کارایی مدل متداول توانی نسبت به سایر مدل‌ها (خطی، نمایی، مکعبی، لگاریتمی، پلی‌نومینال، درجه ۲ و درجه ۳) داشته است (قدیمی عروس محله و قدوسی، ۱۳۷۸؛ صادقی، ۱۳۸۴؛ سلحشور، ۱۳۸۵؛ نجفی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ ولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ خوش‌رفتار و مازینی، ۱۳۹۰). با این حال نتایج مطالعات معدودی از محققان چون توفیقی (۱۳۸۱)؛ داوری و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد که بهترین رابطه بین دبی و رسوب به صورت نمایی می‌باشد. لازم به ذکر است که آزمون مدل‌های رگرسیونی در بیش‌تر تحقیقات مزبور بر روی تمامی داده‌های نمونه‌برداری شده رسوب انجام گرفته و از طرفی تلفیق مدل‌های رگرسیونی با کلاسه‌بندی داده‌ها جهت گزینش مدل مناسب، کم‌تر مورد توجه بوده است. از معدود

-
- 10- Horowitz
 - 11- Walling
 - 12- Webb
 - 13- Thomas
 - 14- Schmidt
 - 15- Morche
 - 16- Batalla
 - 17- Sala
 - 18- Jansson
 - 19- Phillips
 - 20- Asselman
 - 21- Kao

کارهای انجام‌شده در این زمینه مربوط به صادقی^{۲۲} و همکارانش (۲۰۰۸) در یک حوضه آبخیز کوهستانی واقع در ژاپن بوده است که نتایج مطالعه ایشان نشان داد طبقه‌بندی داده‌های دبی جریان و رسوب به لحاظ زمان، جداسازی اجزاء جریان (دبی پایه، دبی سیلابی و ...) و نیز به‌کارگیری عامل تصحیح اریب قادر به بهبود روابط میان دبی آب و رسوب نبود. با توجه به موارد فوق تحقیق حاضر با هدف بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف تهیه منحنی‌های سنجه رسوب بر اساس تلفیق مدل‌های رگرسیونی با طبقه‌بندی زمانی دبی جریان به منظور تعیین مدل مناسب برآورد رسوب در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای انجام گرفت. نظر به اهمیت آبراهه‌های حوضه مزبور به لحاظ تأمین آب مراکز شهری و روستایی پیرامون خود و استقرار تاسیسات مهندسی مختلف در محدوده مذکور، ضرورت آگاهی از وضعیت رسوب‌دهی حوضه احساس می‌گردد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بالیخلی‌چای با مساحت ۱۰۳۰ کیلومترمربع (به ازای ایستگاه آب‌سنجی پل الماس) مابین عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی واقع شده است. قسمت اعظم این حوضه در استان اردبیل (شهرستان‌های اردبیل و نیر) و بخشی از آن در استان آذربایجان شرقی (شهرستان سراب) جای گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بالیخلی‌چای به ازای ایستگاه آب‌سنجی پل الماس در استان اردبیل

دامنه ارتفاعی حوضه از ۱۴۲۰ متر در حوالی خروجی حوضه تا ۴۸۰۰ متر از سطح دریا در قله سبلان متغیر بوده و شیب متوسط حوضه ۱۶/۲۵ درصد می‌باشد. اقلیم حوضه از نوع نیمه‌خشک سرد می‌باشد که در ارتفاعات سبلان به

نیمه‌مرطوب سرد تغییر پیدا می‌کند. میانگین بارندگی سالانه حوضه طی دوره آماری مورد مطالعه (با احتساب ایستگاه‌های لای، نیر و پل الماس) ۳۴۷/۳۴ میلی‌متر بوده که بیش‌تر به صورت بارش‌های بهاره نمود پیدا می‌کند. حوضه آبخیز بالیخلی‌چای به‌عنوان اصلی‌ترین زیر حوضه قره‌سو نقش به‌سزایی در تأمین آب شرب و کشاورزی روستاهای اطراف خود و دشت حاصل‌خیز اردبیل داشته و تأسیسات مهندسی و آبیاری متعددی بر روی این رودخانه احداث گردیده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بر پایه تحلیل‌های آماری رگرسیونی استوار بود. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های نمونه‌برداری شده رسوب معلق و دبی متناظر آن در ایستگاه آب‌سنجی پل الماس واقع بر روی رودخانه بالیخلی‌چای می‌باشد. طی دوره آماری ۳۱ ساله از سال آبی ۵۷-۵۸ تا سال آبی ۸۷-۸۸ تعداد ۳۸۵ نمونه وجود داشت که پس از حذف داده‌های پرت از طریق رسم نمودار پراکنش، این رقم به ۳۶۰ نمونه رسید. قبل از انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، همگنی داده‌ها از طریق آزمون ران تست بررسی شد. در گام بعدی از طریق برازش توابع رگرسیونی شامل خطی^{۲۳}، درجه ۲^{۲۴}، مکعبی^{۲۵}، مرکب^{۲۶}، نمایی^{۲۷} و توانی^{۲۸} در (جدول ۱) آورده شده است به داده‌های دبی و رسوب و با دخالت دادن عامل زمان، ترکیبی از مدل‌های مختلف رگرسیونی با مدل‌های زمانی چهارگانه زیر به‌دست آمد.

مدل A. که در آن از تمامی داده‌های دبی و رسوب متناظر آن بدون تفکیک آن‌ها استفاده گردید.

مدل B. مدل ماهانه که در آن از تفکیک داده‌های دبی و رسوب بر اساس ماه‌های مختلف بهره گرفته شد.

مدل C. مدل فصلی که در آن داده‌های دبی به صورت فصلی از هم مجزا گردید.

مدل D. در این مدل داده‌های دبی به دو قسمت ماه‌های پر آب و کم‌آب تقسیم شد، بدین‌گونه که ماه‌های با میانگین دبی کم‌تر از میانگین دبی سالانه به عنوان ماه‌های پر آب و ماه‌هایی که میانگین دبی آن‌ها کم‌تر از میانگین دبی سالانه بود به‌عنوان ماه‌های کم‌آب شناخته شد. بدین ترتیب ۲۴ مدل مختلف جهت تهیه منحنی سنج رسوب با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی واقع شد تا در نهایت مدل مناسب برآورد بار رسوب تعیین گردد. جهت مقایسه کارایی و انتخاب مدل‌های بهینه و در نهایت مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب از شاخص خطای استاندارد برآورد طبق فرمول زیر استفاده گردید:

23- linear

24- Quadratic

25- Cubic

26- Compound

27- Exponential

28- Power

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum(S_o - S_e)^2}{N-2}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن SEE خطای استاندارد برآورد، S_o مقادیر اندازه‌گیری شده دبی رسوب، S_e مقادیر برآورد شده دبی رسوب و N تعداد نمونه‌هاست. ضمناً روابط و مدل‌هایی مورد قبول واقع شدند که حداقل از ۱۰ داده نمونه برخوردار بوده و در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بودند. در نهایت با استفاده از مدل مناسب نهایی و با قراردادن مقادیر دبی مربوط در معادلات رگرسیونی، مجموع رسوب‌دهی متوسط سالانه (طی ۳۱ سال آماری) برآورد گردید. در ضمن انجام کلیه تحلیل‌های آماری و ارائه نتایج با بهره‌گیری از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ میسر گردید.

جدول ۱- شکل کلی توابع رگرسیونی مورد آزمون در روابط دبی (متغیر مستقل) با رسوب‌دهی (متغیر وابسته)

عنوان تابع رگرسیونی	معادله
خطی	$Y = a + bx$
مکعبی	$Y = a + (b_1 \cdot x) + (b_2 x^2) + (b_3 x^3)$
توانی	$Y = a (x^b)$
مرکب	$Y = a (b^x)$
درجه ۲	$Y = a + (b_1 x) + (b_2 x^2)$
نمایی	$Y = a (e^{bx})$

* در معادلات فوق Y ، متغیر وابسته؛ a ، ضریب ثابت؛ b ، شیب خط رگرسیون و x ، متغیر مستقل می باشد.

یافته‌ها و بحث

پس از این که همگنی داده‌های نمونه مورد تأیید واقع شد نتایج حاصل از آزمون توابع رگرسیونی مختلف در هر یک از مدل‌های زمانی چهارگانه طبق (جدول ۲ تا ۴) تنظیم گردید. در این جا ابتدا به تشریح توابع رگرسیونی در قالب مدل‌های زمانی چهارگانه و انتخاب روابط بهینه در آن‌ها پرداخته و سپس یک جمع‌بندی کلی از نتایج و ارائه مدل مناسب نهایی ارائه گردید. لازم به ذکر است با توجه هدف اصلی تحقیق که همانا رسیدن به مناسب‌ترین مدل برآورد بار رسوبی بود و نیز حفظ محتوای اصلی پژوهش از آوردن تمامی مدل‌های مورد آزمون اجتناب گردید.

مدل A. در این مدل تمامی روابط رگرسیونی شش‌گانه از معنی‌داری خوبی برخوردار بودند و در بین آن‌ها رابطه توانی با کم‌ترین میزان خطای برآورد (۰/۹۴) به‌عنوان مدل مناسب شناخته شد. پس از آن به‌ترتیب توابع مرکب، نمایی، مکعبی، درجه ۲ و خطی از این لحاظ در مقام بعدی قرار گرفتند. در این میان مدل‌های مرکب، نمایی و توانی اختلاف اندکی از لحاظ میزان خطای برآورد با یکدیگر داشته و می‌توان آن‌ها را در یک گروه قرار داد، در حالی که مدل‌های خطی، درجه ۲ و مکعبی اختلاف زیادی با سه مدل مذکور داشته و در گروه دوم قابل بررسی هستند. نکته

قابل توجه در بین مدل‌های رگرسیونی، تبیین بهتر واریانس رسوب توسط دبی هنگام برازش تابع مکعبی به داده‌های نمونه بود که با توجه به خطای بیش‌تر آن در مقایسه با توابع توانی، نمایی و مرکب نتوانست از کارایی بهتری برخوردار باشد. همان‌گونه که کراودر^{۲۹} و همکارانش (۲۰۰۷) اظهار داشته‌اند، ضریب تعیین تنها نشان‌دهنده خوبی برازش دبی در مقابل رسوب است و چه بسا که منحنی‌های سنج رسوب با ضریب تعیین کم‌تر ممکن است موجب برآورد صحیح بار رسوبی (به خصوص در بلندمدت) گردند.

مدل B. در مدل ماهانه به دلیل سطح معنی‌داری غیرقابل قبول برخی از روابط در مدل‌های خطی، درجه ۲ و مرکب، از مقایسه این مدل‌ها در تعیین مدل مناسب صرف‌نظر گردید، هر چند که همانند نتایج قبلی از میزان خطای بیش‌تری نسبت به مدل‌های دیگر برخوردار بودند. در این جا نیز تابع توانی با خطای استاندارد برآورد کم‌تر (۰/۸۱) نسبت به سایر توابع رگرسیونی به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید و مدل‌های نمایی و مرکب با میزان خطای برآورد مساوی (۰/۹۱)، پس از مدل توانی به عنوان دومین مدل بهینه برآورد رسوب شناخته شدند. در مورد تعیین زیرمدل‌های بهینه این بخش نیز می‌توان همانند مدل A آن‌ها را در دو گروه بررسی نمود به طوری که در توابع رگرسیونی خطی، درجه ۲ و مکعبی، مدل تیرماه و در توابع رگرسیونی مرکب، نمایی و توانی، مدل دی ماه به عنوان مدل صحیح و مناسب انتخاب گردید.

مدل C. در مدل فصلی نیز همانند مدل A تمامی روابط رگرسیونی از معنی‌داری خوبی برخوردار بودند. مقایسه بین روابط رگرسیونی مختلف نشان داد مدل توانی از کم‌ترین میزان خطای برآورد (۰/۸۳) برخوردار بوده و به‌عنوان مدل کاراتر نسبت به دیگر مدل‌های رگرسیونی انتخاب گردید. بر عکس خطای بیش‌تر مدل خطی (۱۱۷/۴۱) در مقایسه با سایر مدل‌های رگرسیونی بار دیگر کارایی ضعیف مدل خطی را در پیش‌بینی میزان بار رسوبی روشن ساخت. از سویی در بین زیرمدل‌های این بخش مدل فصلی تابستان با داشتن کم‌ترین میزان خطای برآورد در تمامی مدل‌های رگرسیونی به‌عنوان بهترین زیرمدل فصلی شناخته شد. دلیل این امر را می‌توان به نوسانات اندک دبی در این فصل و غالب بودن دبی پایه نسبت داد. وقوع کم‌ترین میزان انحراف معیار داده‌های نمونه رسوب در فصل تابستان (۲۲/۲۱) نسبت به سایر فصول نیز می‌تواند عاملی بر تعدیل انحراف در برآورد بار رسوبی باشد.

مدل D. نتایج این بخش نیز دلالت بر سطح معنی‌داری قابل قبول در بین تمامی مدل‌های رگرسیونی داشت. همچنین به غیر از مدل خطی میزان خطای سایر مدل‌ها تقریباً همانند نتایج مدل فصلی بوده و مدل توانی به‌عنوان بهترین مدل با کم‌ترین میزان خطای برآورد (۰/۹) نسبت به مدل‌های دیگر معرفی شد. در مقابل مدل خطی با بیش‌ترین میزان خطا (۱۳۱/۰۳) در مقایسه با دیگر مدل‌های رگرسیونی از کم‌ترین میزان کارایی برخوردار بود. در این بین مقایسه دو زیرمدل ماه‌های کم‌آب و پرآب در ترکیب با مدل‌های رگرسیونی مختلف نشان داد که رابطه بهینه رگرسیونی در مدل‌های خطی، درجه ۲ و مکعبی عبارت از زیرمدل ماه‌های کم‌آب بود. در مقابل در سه مدل رگرسیونی مرکب،

نمایی و توانی، تفاوت بین دو زیر مدل مذکور از نظر میزان خطا کم بوده و نمی‌توان تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین آن‌ها قائل شد.

جدول ۲- خلاصه پارامترهای آزمون توابع خطی و درجه ۲ به تفکیک مدل‌های زمانی

رگرسیون درجه ۲				رگرسیون خطی				نوع رگرسیون		
خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	تعداد نمونه	زمان اندازه‌گیری دبی	نوع
۱۲۰/۳۶	۱۲۰/۳۶	۰/۰۰۰	۰/۷۵	۱۷۶/۳۸	۱۷۶/۳۸	۰/۰۰۰	۰/۴۶	۳۶۰	تمام سال	A
۶۰/۶۲	۲۵۱/۸۱	۰/۰۰۰	۰/۷۸	۷۳/۸۴	۳۶۱/۵۴	۰/۰۰۰	۰/۵۳	۵۱	فروردین	B
	۵۷/۵۴	۰/۰۰	۰/۵۵		۵۸/۹۹	۰/۰۰	۰/۵۲	۵۶	اردیبهشت	
	۱۵/۶۸	۰/۰۰	۰/۴۷		۱۵/۵۰	۰/۰۰	۰/۴۶	۳۰	خرداد	
	۵/۴۸	۰/۰۰۱	۰/۳۸		۵/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۳۸	۲۴	تیر	
	۱۹/۳۷	۰/۳۱۳	۰/۰۶		۱۹/۱۲	۰/۳۱۳	۰/۰۵	۲۴	مرداد	
	۲۹/۳۷	۰/۲۱۹	۰/۲۳		۳۱/۲۴	۰/۲۱۹	۰/۰۸	۲۱	شهریور	
	۴۷/۵۲	۰/۰۱۶	۰/۲۴		۴۶/۵۴	۰/۰۱۶	۰/۲۳	۲۴	مهر	
	۲۱/۴۲	۰/۰۰۹	۰/۲۴		۲۱/۰۴	۰/۰۰۹	۰/۲۳	۲۸	آبان	
	۷۴/۷۰	۰/۰۰۲	۰/۳۸		۷۶/۹۲	۰/۰۰۲	۰/۳۲	۲۸	آذر	
	۲۹/۶۱	۰/۰۱۴	۰/۴۱		۳۱/۹۲	۰/۰۱۴	۰/۲۸	۲۱	دی	
۲۵/۶۷	۰/۰۰۲	۰/۵۱	۲۵/۳۵	۰/۰۰۲	۰/۴۸	۱۸	بهمن			
۱۴۹/۳۲	۰/۰۰۰	۰/۷۸	۱۹۲/۶۳	۰/۰۰۰	۰/۶۲	۳۵	اسفند			
۸۵/۶۳	۱۶۵/۸۶	۰/۰۰۰	۰/۷۷	۱۱۷/۴۱	۲۴۸/۴۵	۰/۰۰۰	۰/۴۷	۱۳۷	بهار	C
	۱۹/۹۱	۰/۰۰۱	۰/۲۲		۲۰/۵۹	۰/۰۰۱	۰/۱۵	۶۹	تابستان	
	۵۳/۶۲	۰/۰۰۰	۰/۳۰		۵۵/۴۹	۰/۰۰۰	۰/۲۴	۸۰	پاییز	
	۱۰۳/۱۵	۰/۰۰۰	۰/۷۹		۱۴۵/۱۳	۰/۰۰۰	۰/۵۷	۷۴	زمستان	
۸۵/۶۱	۲۶/۴۷	۰/۰۰۰	۰/۲۸	۱۳۱/۰۳	۲۶/۴۸	۰/۰۰۰	۰/۲۸	۱۲۳	ماه‌های کم آب	D
	۱۴۴/۷۵	۰/۰۰۰	۰/۷۵		۲۳۵/۵۹	۰/۰۰۰	۰/۵	۲۳۷	ماه‌های پر آب	

جدول ۳- خلاصه پارامترهای آزمون توابع مکعبی و مرکب به تفکیک مدل‌های زمانی

رگرسیون مرکب				رگرسیون مکعبی				نوع رگرسیون		
خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	تعداد نمونه	زمان اندازه‌گیری دبی	نام مدل
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۶۱	۱۰۴/۷۳	۱۰۴/۷۳	۰/۰۰۰	۰/۸۱	۳۶۰	تمام سال	A
۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۰۰۰	۰/۸۱	۵۸/۲۵	۲۲۰/۲۸	۰/۰۰۰	۰/۸۳	۵۱	فروردین	B
	۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۵۶		۵۸/۰۷	۰/۰۰۰	۰/۵۵	۵۶	اردیبهشت	
	۱/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۱		۱۵/۷۹	۰/۰۰۱	۰/۴۸	۳۰	خرداد	
	۰/۷۱	۰/۰۰۰	۰/۴۶		۵/۶۱	۰/۰۱۸	۰/۳۹	۲۴	تیر	
	۰/۸۱	۰/۰۳۴	۰/۱۹		۱۹/۸۵	۰/۷۰۹	۰/۰۶	۲۴	مرداد	
	۰/۹۷	۰/۰۵۶	۰/۱۸		۲۹/۱۷	۰/۱۲۳	۰/۲۸	۲۱	شهریور	
	۱/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۳۹		۴۸/۰۹	۰/۱۰۷	۰/۲۶	۲۴	مهر	
	۰/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۲۳		۲۱/۸۶	۰/۰۸۷	۰/۲۴	۲۸	آبان	
	۱/۰۲	۰/۰۰۰	۰/۵۶		۷۶/۱۹	۰/۰۰۸	۰/۳۹	۲۸	آذر	
	۰/۶۸	۰/۰۰۰	۰/۷۷		۳۰/۰۶	۰/۰۲۱	۰/۴۳	۲۱	دی	
۰/۹۰	۰/۰۰۰	۰/۶۱	۲۶/۰۵	۰/۰۱۵	۰/۵۲	۱۸	بهمن			
۱/۲۰	۰/۰۰۰	۰/۵۷	۱۴۷/۹۴	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۳۵	اسفند			
۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۰۰۰	۰/۷۲	۷۸/۵۲	۱۳۸/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۸۴	۱۳۷	بهار	C
	۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۲۸		۲۰/۰۴	۰/۰۰۱	۰/۲۲	۶۹	تابستان	
	۱/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۳۷		۵۳/۲۹	۰/۰۰۰	۰/۳۲	۸۰	پاییز	
	۱/۰۵	۰/۰۰۰	۰/۵۹		۱۰۲/۷۳	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۷۴	زمستان	
۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۸	۷۷/۰۷	۲۶/۴۴	۰/۰۰۰	۰/۲۹	۱۲۳	ماه‌های کم آب	D
	۰/۹۷	۰/۰۰۰	۰/۶۳		۱۲۷/۷۴	۰/۰۰۰	۰/۸۱	۲۳۷	ماه‌های پر آب	

جدول ۴- خلاصه پارامترهای آزمون توابع نمایی و توانی به تفکیک مدل‌های زمانی

رگرسیون توانی				رگرسیون نمایی				نوع رگرسیون		
خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد در هر مدل	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	معنی‌داری	ضریب تعیین	تعداد نمونه	زمان اندازه‌گیری دبی	نوع
۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۰۰۰	۰/۶۵	۱	۱	۰/۰۰۰	۰/۶۱	۳۶۰	تمام سال	A
۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۰۰۰	۰/۸۱	۵۱	فروردین	B
	۰/۸۰	۰/۰۰۰	۰/۶۴		۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۵۶	۵۶	اردیبهشت	
	۰/۹۲	۰/۰۰۰	۰/۵۹		۱/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۱	۳۰	خرداد	
	۰/۶۸	۰/۰۰۰	۰/۵		۰/۷۱	۰/۰۰۰	۰/۴۶	۲۴	تیر	
	۰/۸۰	۰/۰۰۰	۰/۲۱		۰/۸۱	۰/۰۳۴	۰/۱۹	۲۴	مرداد	
	۰/۹۰	۰/۰۱۱	۰/۳		۰/۹۷	۰/۰۵۶	۰/۱۸	۲۱	شهریور	
	۱/۱۸	۰/۰۰۲	۰/۳۷		۱/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۳۹	۲۴	مهر	
	۰/۷۶	۰/۰۱۰	۰/۲۳		۰/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۲۳	۲۸	آبان	
	۱/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۵۴		۱/۰۲	۰/۰۰۰	۰/۵۶	۲۸	آذر	
	۰/۶۹	۰/۰۰۰	۰/۷۷		۰/۶۸	۰/۰۰۰	۰/۷۷	۲۱	دی	
	۰/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۵۴		۰/۹۰	۰/۰۰۰	۰/۶۱	۱۸	بهمن	
۱/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۶۸	۱/۲۰	۰/۰۰۰	۰/۵۷	۳۵	اسفند			
۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۰۰۰	۰/۷۵	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۰۰۰	۰/۷۲	۱۳۷	بهار	C
	۰/۷۹	۰/۰۰۰	۰/۴۲		۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۲۸	۶۹	تابستان	
	۱/۰۱	۰/۰۰۰	۰/۴۱		۱/۰۴	۰/۰۰۰	۰/۳۷	۸۰	پاییز	
	۰/۹۵	۰/۰۰۰	۰/۶۶		۱/۰۵	۰/۰۰۰	۰/۵۹	۷۴	زمستان	
۰/۹	۰/۹۱	۰/۰۰۰	۰/۴۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۰	۰/۳۸	۱۲۳	ماه‌های کم آب	D
	۰/۸۹	۰/۰۰۰	۰/۶۸		۰/۹۷	۰/۰۰۰	۰/۶۳	۲۳۷	ماه‌های پر آب	

یک جمع‌بندی نهایی از نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد میزان خطای برآورد تابع رگرسیونی خطی در مقایسه با دیگر توابع در همه مدل‌های زمانی بیش‌تر بوده و به عنوان ناکارآمدترین مدل رگرسیونی شناخته شد. در مقابل تابع

رگرسیونی توانی در هر چهار مدل زمانی کم‌ترین میزان خطای برآورد را داشته و به عنوان مناسب‌ترین مدل مشخص گردید. به علاوه در تمامی توابع رگرسیونی برازش‌یافته، مدل ماهانه (B) با کم‌ترین میزان خطای برآورد نسبت به سه مدل زمانی دیگر به عنوان مدل مناسب زمانی انتخاب شد. بر عکس، مدلی که در آن از تمامی داده‌های نمونه جهت برازش توابع رگرسیونی استفاده گردید با بیش‌ترین خطا به عنوان نا کارآمدترین مدل زمانی شناخته شد. با این نتایج از بین ۲۴ مدل مختلف، مدل توانی ماهانه به عنوان مدل مناسب نهایی در برآورد بار رسوب معلق انتخاب می‌گردد. به علاوه تفاوت خطای برآورد دو مدل C و D در تمامی مدل‌های رگرسیونی اندک بوده و می‌توان گفت این دو مدل از کارایی تقریباً یکسانی در برآورد رسوب‌دهی برخوردار هستند.

جدول ۵- نتایج برآورد بار رسوب معلق ماهانه و معادلات منحنی‌های سنجه رسوب در ایستگاه پل الماس (۵۷-۸۷)

ماه‌های سال	معادله منحنی سنجه رسوب	میزان رسوب معلق (تن در ماه)
فروردین	$Q_s = 3.21 Q_w^{1.78}$	۵۰۸۶/۶۵
اردیبهشت	$Q_s = 4.19 Q_w^{1.54}$	۱۹۹۵/۹۲
خرداد	$Q_s = 7.12 Q_w^{1.20}$	۵۱۵/۰۳
تیر	$Q_s = 8.57 Q_w^{1.26}$	۳۰۳/۹۱
مرداد	$Q_s = 13 Q_w^{1.10}$	۴۰۶/۶۹
شهریور	$Q_s = 10.25 Q_w^{1.21}$	۵۳۳/۰۴
مهر	$Q_s = 8.36 Q_w^{1.17}$	۶۷۶/۴۱
آبان	$Q_s = 7.46 Q_w^{1.10}$	۹۸۱/۷۲
آذر	$Q_s = 2.74 Q_w^{1.66}$	۱۰۵۸/۵۹
دی	$Q_s = 4.83 Q_w^{1.22}$	۸۷۲/۹۱
بهمن	$Q_s = 4.04 Q_w^{1.43}$	۹۸۵/۵۹
اسفند	$Q_s = 4.82 Q_w^{1.60}$	۲۰۱۵/۳۱
مجموع (رسوب‌دهی کل سالانه)		۱۵۴۳۱/۷۶

بدین ترتیب با انتخاب مدل رگرسیون توانی ماهانه به عنوان مدل بهینه برآورد بار رسوب معلق و با قرار دادن مقادیر دبی متوسط ماهانه در معادلات مربوط، برآورد رسوب‌دهی متوسط هر ماه در ایستگاه مورد مطالعه انجام پذیرفت که مجموع آن‌ها نشان‌دهنده مجموع رسوب‌دهی متوسط سالانه طی ۳۱ سال آماری می‌باشد. همان‌گونه که از مقادیر برآوردی بار رسوب معلق (جدول ۵) پیداست، فروردین‌ماه با متوسط رسوب‌دهی ۵۰۸۶/۶۵ تن در ماه و تیرماه با متوسط رسوب‌دهی ۳۰۳/۹۱ تن در ماه، به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی ماهانه را نشان می‌دهند. مجموع رسوب‌دهی سالانه حوضه بالیخلی به ازای ایستگاه پل الماس نیز بالغ بر ۱۵۴۳۱/۷۶ تن در سال است که

قابل توجه می‌باشد. وقوع مقادیر بیشینه و کمینه ماهانه فوق را این‌گونه می‌توان توجیه نمود که ذوب برف‌های انباشته شده در ارتفاعات جنوبی سبلان به همراه وقوع بارش‌های قابل توجه بهاری و نیز نبود پوشش گیاهی متراکم در آغاز فصل بهار، سبب بروز فرآیندهای فرسایشی شدید به خصوص در نواحی بالادست و پرشیب منطقه می‌گردد، در مقابل نبود بارش‌های قابل توجه در تابستان به همراه وجود پوشش گیاهی نسبتاً خوب و همچنین بهره‌برداری از آب رودخانه‌ها به ویژه جهت مصارف کشاورزی در این فصل باعث افت میزان و شدت جریان آب‌های سطحی شده و به تبع آن کاهش در میزان رسوب‌دهی حوضه اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری

محققان مختلف از روش‌های چندی جهت افزایش دقت و صحت منحنی‌های سنجه رسوب بهره جسته‌اند که در این میان تفکیک زمانی داده‌ها از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که کلاسه‌بندی زمانی دبی و رسوب متناظر آن باعث افزایش صحت و کارایی مدل‌های رگرسیونی برآورد رسوب در مقایسه با زمانی شد که از تمامی داده‌ها بدون طبقه‌بندی زمانی برای این کار استفاده گردید. در این بین مدل ماهانه با داشتن کم‌ترین خطای استاندارد برآورد به عنوان بهترین مدل برآورد رسوب در تمامی حالات رگرسیونی انتخاب گردید. انتخاب مدل توانی ماهانه به‌عنوان مدل بهینه نهایی جهت برآورد بار رسوب معلق با نتایج مطالعات هورویتز (۲۰۰۳)؛ خان‌چول و همکاران (۲۰۱۰)؛ حیدرنژاد و همکاران (۱۳۸۳)؛ صادقی و همکاران (۱۳۸۳)؛ محمدرضاپور (۱۳۸۴)؛ جلالی و همکاران (۱۳۸۶) هم‌خوانی داشته و در مقابل با نتایج تحقیقات باتالا و سالا (۱۹۹۴)؛ ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۸۷)؛ محمودی و نجفی‌نژاد (۱۳۹۰) مغایرت نشان می‌دهد. از سویی اعمال تابع رگرسیونی توانی در روابط مابین دبی آب و دبی رسوب نشان از کارایی بالای آن در مقایسه با دیگر اشکال رگرسیونی به‌خصوص خطی، درجه ۲ و مکعبی داشت که در مورد مدل A (کل داده‌ها) با نتایج مطالعات جانسون (۱۹۹۷)؛ فیلیپس و همکاران (۱۹۹۹)؛ آسلمن و همکاران (۲۰۰۰)؛ کائو و همکاران (۲۰۰۵)؛ قدیمی عروس‌محله و قدوسی (۱۳۷۸)؛ صادقی (۱۳۸۴)؛ سلحشور (۱۳۸۵)؛ نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹)؛ ولی و همکاران (۱۳۸۹) و خوش‌رفتار و مازینی (۱۳۹۰) مطابقت نشان می‌دهد، اما با نتایج کارهای هورویتز (۲۰۰۳)؛ توفیقی (۱۳۸۱)؛ داوری و همکاران (۱۳۸۴) مغایر می‌باشد. در کل، نتایج به‌دست آمده دلالت بر افزایش کارایی و صحت معادلات رگرسیونی برآورد بار رسوب معلق در اثر کلاسه‌بندی زمانی داده‌ها به خصوص به‌صورت ماهانه داشته و روش مزبور می‌تواند باعث بهبود عملکرد منحنی‌های سنجه برآورد رسوب گردد. این امر اشاره به این نکته دارد که نظارت و پایش فرآیندهای دخیل در فرسایش و رسوب‌دهی در مقیاس ماهانه بهتر و دقیق‌تر قابل ارزیابی و پیش‌بینی می‌باشد. در پایان پیشنهاد می‌شود که مدل‌های زمانی بهینه برآورد رسوب در ارتباط با خصوصیات فیزیوگرافی متفاوت حوضه‌ها مطالعه و مشخص گردد. همین‌طور آزمون مدل‌های رگرسیونی مختلف در رابطه با رژیم‌های متفاوت اقلیمی و هیدرولوژیکی

حوضه‌های آبخیز کشور جهت رسیدن به الگوی کارآمد استفاده از این معادلات در برآورد بار رسوبی مناطق گوناگون می‌تواند ثمربخش واقع شود.

منابع

- پیری، ع. ا. (۱۳۸۲)، «ارائه روشی به منظور برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی رودخانه قره‌سو)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی ساری، دانشگاه مازندران.
- توفیقی، ب (۱۳۸۱)، «تهیه مدل تغییرات زمانی رسوب در حوزه آبخیز زرین‌درخت در استان چهارمحال و بختیاری»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- جلالی، م؛ سلیمانی، ک؛ مجددی، ح؛ امیدوار، ا (۱۳۸۶)، «برآورد بار معلق رسوب ایستگاه هیدرومتری آبلو نکارود با استفاده از منحنی سنج رسوب و شبکه عصبی مصنوعی»، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱ تا ۲ اسفند ۱۳۸۶، کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- حیدرزاد، م؛ گلماهی، س. ح؛ مساعدی، ا؛ ضیاء تبار احمدی، م. خ (۱۳۸۳)، «ارائه مدل بهینه برآورد رسوب در دو ایستگاه هیدرومتری (مطالعه موردی ایستگاه‌های هیدرومتری ورودی و خروجی سد کرج)»، پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره ۲، صص ۶۶-۵۵.
- خوش‌رفتار، ر؛ مازینی، ف (۱۳۹۰)، «بررسی آماری دبی و رسوب حوضه آبریز قره‌سو (استان گلستان)»، فضای جغرافیایی، شماره ۳۳، صص ۱۰۱-۱۲۱.
- داوری، م؛ بهرامی، ح. ع؛ قدوسی، ج (۱۳۸۴)، «بررسی نتایج برآورد رسوب با استفاده از مدل اصلاح شده PSIAC (مطالعه موردی حوزه آبخیز نوژیان)»، پژوهش و سازندگی، شماره ۶۷، صص ۱۰۲-۸۸.
- ذرتی‌پور، ا؛ خلیقی سیگارودی، ش؛ شمس‌المعالی، ن (۱۳۸۶)، «کارایی روش هیدرولوژیکی حد وسط دسته‌ها نسبت به منحنی سنج یک خطی و دو خطی در برآورد بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان)»، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱ تا ۲ اسفند ۱۳۸۶، کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- سلحشور، ف. س (۱۳۸۵)، «نقش عوامل زمین‌شناسی در شدت رسوب‌دهی بار معلق در زیرحوضه‌های رودخانه قره‌چای همدان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا.
- صادقی، ح. ر؛ نیکپور، ع؛ ایوب‌زاده، س. ع (۱۳۸۳)، «تخمین رسوب روزانه با استفاده از مدل‌سازی دینامیک در حوزه آبخیز کسلیان»، منابع طبیعی ایران، شماره ۳، صص ۴۰۲-۳۹۱.
- صادقی، ح. ر (۱۳۸۴)، «تهیه معادلات سنج رسوب در شاخه‌های بالارونده و پایین‌رونده آب‌نگار با استفاده از مفهوم رگرسیون»، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، صص ۱۱۰-۱۰۳.
- عرب‌خدری، م؛ زرگر، ا (۱۳۷۴)، «مدل رگرسیونی برآورد میزان رسوب آبخیز در البرز شمالی»، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۲۴ تا ۲۷ اردیبهشت ۱۳۷۴، نور، دانشکده منابع طبیعی، صص ۴۱۸-۴۰۳.
- عرب‌خدری، م (۱۳۸۰)، «روش‌های افزایش دقت برآورد بار معلق رودخانه‌ها»، همایش ملی مدیریت اراضی-فرسایش خاک و توسعه پایدار، ۲ تا ۴ بهمن ۱۳۸۰، اراک، صص ۷۲۷-۷۱۱.

- عرب‌خدری، م؛ معمارزاده، ع. ا (۱۳۸۰)، «اثر به‌کارگیری آب‌نمود سیلاب‌ها در دقت برآورد رسوب معلق»، همایش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، ۲ تا ۴ بهمن ۱۳۸۰، اراک، صص ۲۱۸-۲۰۵.
- قدیمی عروس محله، ف؛ قدوسی، ج (۱۳۷۸)، «تجزیه و تحلیل رسوب معلق و مواد محلول در حوضه آبریز دریاچه نمک»، پژوهش و سازندگی، شماره ۴۵، صص ۶۳-۵۸.
- قورقی، ج. ه؛ حبیب‌نژاد روشن، م؛ سلیمانی، ک؛ خالدی‌روشن، ع. ا (۱۳۹۰). «بررسی راه‌کارهای افزایش دقت و صحت منحنی سنج رسوب در رودخانه‌های تلوار و چم شور در استان کردستان»، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷ تا ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- محمدرضایپور، ا. ا (۱۳۸۴)، «مقایسه مقادیر برآوردشده رسوب توسط مدل‌های مختلف با حجم رسوب‌گذاری در دو سد مخزنی ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی زراعی ساری، دانشگاه مازندران.
- محمدی استاد کلایه، ا؛ مساعدی، ا؛ حشمت‌پور، ع (۱۳۸۶)، «تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگان‌رود»، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴، صص ۲۴۰-۲۳۲.
- محمودی، ع؛ نجفی‌نژاد، ع (۱۳۹۰)، «اثر تفکیک زمانی داده‌های دبی و رسوب معلق بر روی منحنی سنج بار معلق در ایستگاه هیدرومتری باغه سالیان (استان گلستان)»، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۷ تا ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- مساعدی، ا؛ محمدی استاد کلایه، ا؛ نجفی‌نژاد، ع؛ یغمایی، ف (۱۳۸۵)، «بهینه‌سازی روابط دبی جریان و دبی رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب رودخانه گرگان‌رود»، منابع طبیعی ایران، شماره ۲، صص ۳۴۲-۳۳۱.
- معتمدوزیری، ب؛ احمدی، ح؛ مهدوی، م؛ شریفی، ف؛ جواهری، ن. ا (۱۳۸۸)، «بررسی امکان مدل‌سازی بار معلق با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی حوضه آبخیز زنگان رود)»، منابع طبیعی ایران (مرتع و آبخیزداری)، شماره ۲، صص ۲۹۸-۲۸۳.
- موسوی، س. ف؛ حیدرپور، م؛ شعبانلو، س (۱۳۸۵)، «بررسی رسوب در مخزن سد زاینده رود با استفاده از مدل‌های تجربی افزایش و کاهش سطح»، آب و فاضلاب اصفهان، شماره ۵۷، صص ۸۲-۷۶.
- میرزایی، م. ر؛ عرب‌خدری، م؛ فیض‌نیا، س؛ احمدی، ح (۱۳۸۴)، «مقایسه روش‌های برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها»، منابع طبیعی ایران، شماره ۲، صص ۳۱۳-۳۰۱.
- نجفی‌نژاد، ع؛ بابایی، ا؛ صنیعی، ا؛ محمودی، ع (۱۳۸۹)، «مقایسه منحنی‌های سنج رسوب معلق فصلی و بار معلق ماهانه در تعدادی از رودخانه‌های استان گلستان»، چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۸ تا ۹ اردیبهشت ۱۳۸۹، نور، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

- ولی، ع؛ معیری، م؛ رامشت، م. ح؛ موحدی‌نیا، ن (۱۳۸۹)، «تحلیل مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی رسوب معلق (مطالعه موردی حوضه آبخیز اسکندری واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود)»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۱، صص ۳۰-۲۱.

- یوسفوند، ف؛ گلماهی، س. ح؛ قمرنیا، ه؛ ضیاءتبار احمدی، م. ح (۱۳۸۴)، «اثر کلاسه‌بندی داده‌های رسوب بر اساس زمان اندازه‌گیری در برآورد بار معلق رودخانه‌ها»، *پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، ۲۱ آبان ۱۳۸۴، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان.

- Asselman, N. E. M., (2000), "Fitting and interpretation of sediment rating curves", *Journal of Hydrology*, 234: 228–248.

- Batalla, R. J., Sala, M., (1994), "Temporal variability of suspended sediment transport in a Mediterranean sandy gravel-bed river", *IAHS Publication*, 224: 299–305.

- Crowder, D. W., Demissie, M., Markus, M., (2007), "The accuracy of sediment loads when log-transformation produces nonlinear sediment load–discharge relationships", *Journal of Hydrology*, 336: 250–268.

- Grauso, S., Pagano, A., Fattoruso, G., De Bonis, P., Onori, F., Regina, P., Tebano, C., (2008), "Relations between climatic–geomorphological parameters and sediment yield in a mediterranean semi-arid area (Sicily, southern Italy)", *Environmental Geology*, 54: 219–234.

- Horowitz, A. J., (2002), "The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: a matter of temporal resolution", Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, Reno, Nevada.

- Horowitz, A. J., (2003), "An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations", *Hydrological Processes*, 17: 3387–3409.

- Jansson, M. B., (1997), "Comparison of sediment rating curves developed on load and on concentration", *Nordic Hydrology*, 28 (3): 189–200.

- Kao, S. J., Lee, T.Y., Milliman, J.D., (2005), "Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan", *Terrestrial, Oceanic and Atmospheric Sciences Journal (TAO)*, 16 (3): 653–675.

- Khanchoul, K., Boukhrissa, Z. E. A., Acidi, A., Altschul, R., (2010), "Estimation of suspended sediment transport in the Kebir drainage basin, Algeria", *Quaternary International*, 262: 25-31.

- Khanchoul, K., Benslama, M., Remini, B., (2010), "Regressions on monthly stream discharge to predict sediment inflow to a reservoir in Algeria", *Journal of Geography and Geology*, 2 (1), 36–47.

- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., (2009), "Sediment yield modeling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS", *Paddy Water Environ*, 7:105–113.

- Phillips, J. M., Webb, B. W., Walling, D. E., Leeks, G. J. L., (1999), "Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent samples", *Hydrological Processes*, 13: 1335–1350.

- Sadeghi, S. H. R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S., Onda, Y., (2008), "Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed", *Geoderma*, 144: 198–211.

- Schmidt, K. H., Morche, D., (2006), "Sediment output and effective discharge in two small high mountain catchments in the Bavarian Alps Germany", *Geomorphology*, 80: 131–145.
- Singh, O., Sharma, M. C., Sarangi, A., Singh, P., (2008), "Spatial and temporal variability of sediment and dissolved loads from two alpine watersheds of the Lesser Himalayas", *Catena*, 76: 27–35.
- Thomas, R. B., (1988), "Monitoring baseline suspended sediment in forested basins: the effects of sampling on suspended sediment rating curves", *Hydrological Sciences Journal*, 33: 499–514.
- Verstraeten, G., Poesen, J., De Vente, J., Koninckx, X., (2003), "Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semi-qualitative analysis using reservoir sedimentation rates", *Geomorphology*, 50: 327–348.
- Walling, D. E., Web, B. W., (1982), "Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields. Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield", *IAHS Publication*, 137: 327–337.
- Xiaoqing, Y., (2003), "*Manual on sediment management and measurement*", WMO, Operational Hydrology Report no. 47, Switzerland.
- Yang, D., Kanae, Sh., Oki, T., Koike, T., Musiake, K., (2003), "Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes", *Hydrological Process*, 17: 2913–2928.