دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

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

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 بالیخلی‌چای (استان اردبیل)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۱/۲٦

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

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی. E-mail: morchorloo@gmail.com
۲- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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[3]، ۲۰۰۳: ۲۹۱۳؛ زیائوکینگ[4] 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[5] 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 (معتمدوزیری و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۸٤)، امروزه برآورد دقیق بار رسوبی جهت برنامه‌ریزی بهتر منابع آب و مدیریت حوضه‌های آبخیز اهمیت ویژه‌ای یافته است (سینگ[6] و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۵؛ پاندی[7] و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۰۵؛ عرب‌خدری و زرگر، ۱۳۷٤: ٤۰۳؛ عرب‌خدری و معمارزاده، ۱۳۸۰: ۲۰٦). 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[8] و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۲۸؛ گروسو[9] و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۲۰). در این گونه مدل‌ها از روابط رگرسیونی مابین دبی جریان و دبی رسوب بهره جسته 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 بهره جسته‌اند که شامل اصلاح منحنی‌های سنجه رسوب و استفاده مناسب از آمار جریان (عرب خدری، ۱۳۸۰؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۸٤) و بهره‌گیری از معادلات رگرسیونی غیرخطی

3- Yang
4- Xiaoqing
5- Khanchoul
6- Singh
7- Pandey
8- Verstraeten
9- Grauso

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

(هورورویتز[10]، 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[11] و وب[12]، ۱۹۸۲؛ توماس[13]، ۱۹۹۱؛ اسچمیت[14] و مرچ[15]، ۲۰۰۶؛ پیری، ۱۳۸۲؛ یوسفوند و همکاران، ۱۳۸٤؛ مساعدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸٦؛ 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 هورورویتز (۲۰۰۳)؛ خان‌چول و همکاران (۲۰۱۰)؛ حیدرنژاد و همکاران (۱۳۸۳)؛ صادقی و همکاران (۱۳۸۳)؛ محمدرضاپور (۱۳۸٤)؛ جلالی و همکاران (۱۳۸٦)، 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[16] و سالا[17]، ۱۹۹٤؛ 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 بهینه نهایی گردیده است (از جمله: پیری، ۱۳۸۲؛ یوسفوند و همکاران، ۱۳۸٤). از طرفی گرچه طبق عقیده محققان برجسته‌ای چون جانسون[18] (۱۹۹۷)؛ فیلیپس[19]و همکاران (۱۹۹۹)؛ آسلمن[20]و همکاران (۲۰۰۰)؛ کائو[21]و همکاران (۲۰۰۵)، شکل متداول منحنی سنجه برآورد رسوب از طریق برقراری تابع توانی حاصل می‌شود، اما برخی از محققان مانند هورورویتز (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، پلی نومینال، درجه ۲ و درجه ۳) داشته است (قدیمی عروس محله و قدوسی، ۱۳۷۸؛ صادقی، ۱۳۸٤؛ 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 (۱۳۸٤) 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

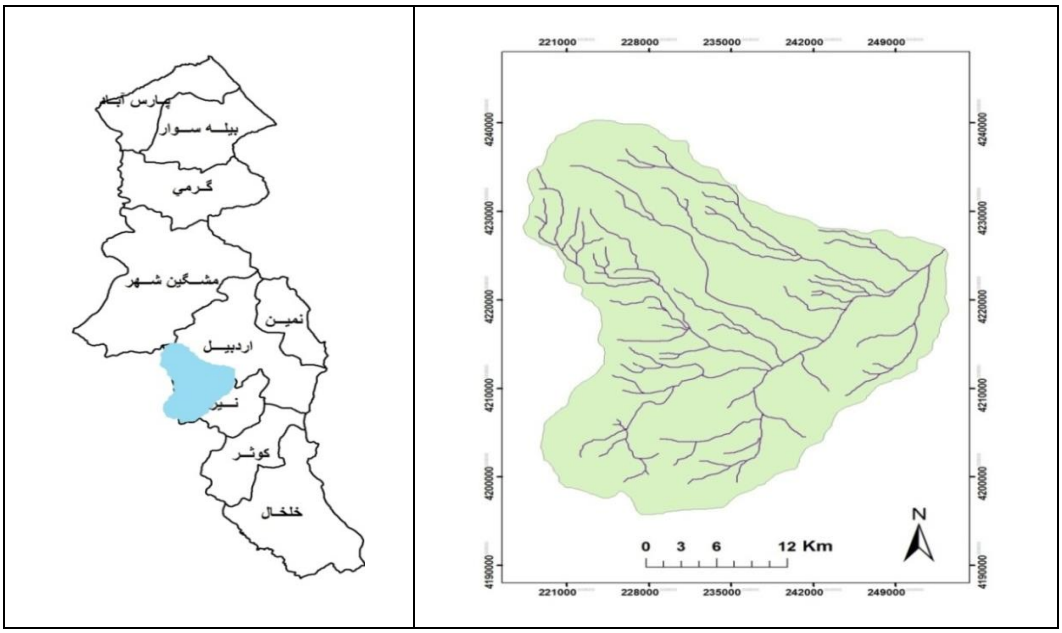
10- Horowitz
11- Walling
12- Webb
13- Thomas
14- Schmidt
15- Morche
16- Batalla
17- Sala
18-Jansson
19- Phillips
20- Asselman
21- Kao

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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 تاسسیات 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

22- Sadeghi

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نیمه‌مرطوب سرد تغییر پیدا می‌کند. میانگین بارندگی سالانه حوضه طی دوره آماری مورد مطالعه (با احتساب ایستگاه‌های لای، نیر و پل الماس) ۳٤۷/۳٤ 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 نمونه‌برداری‌شده 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 ۳٦۰ 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[۲٤]، مکعبی[۲۵]، مرکب[۲٦]، 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 پرآب و ماه‌هایی که میانگین دبی آن‌ها کم‌تر از میانگین دبی سالانه بود به‌عنوان ماه‌های کم‌آب شناخته شد. بدین ترتیب ۲٤ مدل مختلف جهت تهیه منحنی سنجه 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum(S_o - S_e)^2}{N-2}}$$ 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	$Y = a + (b_1.x) + (b_2x^2) + (b_3x^3)$
توانی	$Y = a\,(x^b)$
مرکب	$Y = a\,(b^x)$
درجه ۲	$Y = a + (b_1x) + (b_2x^2)$
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 (جداول ۲ تا ٤) 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 (۰/۹٤) 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

قابل‌توجه 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[29] و همکارانش (۲۰۰۷) اظهار داشته‌اند، ضریب تعیین تنها نشان‌دهنده خوبی برازش دبی در مقابل رسوب است و چه بسا که منحنی‌های سنجه 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 غیرقابل‌قبول 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 (۱۱۷/٤۱) در مقایسه با سایر مدل‌های رگرسیونی بار دیگر کارایی ضعیف مدل خطی را در پیش‌بینی میزان بار رسوبی روشن ساخت. از سویی در بین زیر مدل‌های 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 کم ترین 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 قابل‌قبول 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 کم ترین 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 زیر مدل ماه‌های کم‌آب بود. در مقابل در سه مدل رگرسیونی مرکب،

29- Crowder

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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

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

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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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

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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٤- خلاصه پارامترهای آزمون توابع نمایی و توانی به تفکیک مدل‌های زمانی

نوع رگرسیون			رگرسیون نمایی				رگرسیون توانی			
نام مدل	زمان اندازه‌گیری دبی	تعداد نمونه	ضریب تعیین	معنی‌داری	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	خطای استاندارد برآورد در هر مدل	ضریب تعیین	معنی‌داری	خطای استاندارد برآورد در هر بخش از مدل	خطای استاندارد برآورد در هر مدل
A	تمام سال	۳٦۰	۰/٦۱	۰/۰۰۰	۱	۱	۰/٦۵	۰/۰۰۰	۰/۹٤	۰/۹٤
B	فروردین	۵۱	۰/۸۱	۰/۰۰۰	۰/۸٤	۰/۹۱	۰/۷۹	۰/۰۰۰	۰/۸۸	۰/۸۱
	اردیبهشت	۵٦	۰/۵٦	۰/۰۰۰	۰/۸۹		۰/٦٤	۰/۰۰۰	۰/۸۰	
	خرداد	۳۰	۰/۵۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰		۰/۵۹	۰/۰۰۰	۰/۹۲	
	تیر	۲٤	۰/٤٦	۰/۰۰۰	۰/۷۱		۰/۵	۰/۰۰۰	۰/٦۸	
	مرداد	۲٤	۰/۱۹	۰/۰۳٤	۰/۸۱		۰/۲۱	۰/۰۰۰	۰/۸۰	
	شهریور	۲۱	۰/۱۸	۰/۰۵٦	۰/۹۷		۰/۳	۰/۰۱۱	۰/۹۰	
	مهر	۲٤	۰/۳۹	۰/۰۰۱	۱/۱۷		۰/۳۷	۰/۰۰۲	۱/۱۸	
	آبان	۲۸	۰/۲۳	۰/۰۰۹	۰/۷۵		۰/۲۳	۰/۰۱۰	۰/۷٦	
	آذر	۲۸	۰/۵٦	۰/۰۰۰	۱/۰۲		۰/۵٤	۰/۰۰۰	۱/۰٤	
	دی	۲۱	۰/۷۷	۰/۰۰۰	۰/٦۸		۰/۷۷	۰/۰۰۰	۰/٦۹	
	بهمن	۱۸	۰/٦۱	۰/۰۰۰	۰/۹۰		۰/۵٤	۰/۰۰۰	۰/۹۸	
	اسفند	۳۵	۰/۵۷	۰/۰۰۰	۱/۲۰		۰/٦۸	۰/۰۰۰	۱/۰٤	
C	بهار	۱۳۷	۰/۷۲	۰/۰۰۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۷۵	۰/۰۰۰	۰/۸۸	۰/۸۳
	تابستان	٦۹	۰/۲۸	۰/۰۰۰	۰/۸۹		۰/٤۲	۰/۰۰۰	۰/۷۹	
	پاییز	۸۰	۰/۳۷	۰/۰۰۰	۱/۰٤		۰/٤۱	۰/۰۰۰	۱/۰۱	
	زمستان	۷٤	۰/۵۹	۰/۰۰۰	۱/۰۵		۰/٦٦	۰/۰۰۰	۰/۹۵	
D	ماه‌های کم آب	۱۲۳	۰/۳۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/٤۷	۰/۰۰۰	۰/۹۱	۰/۹
	ماه‌های پر آب	۲۳۷	۰/٦۳	۰/۰۰۰	۰/۹۷		۰/٦۸	۰/۰۰۰	۰/۸۹	

یک جمع‌بندی نهایی از نتایج تحلیل ها 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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 ٢٤ 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 تقریبا 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	$Q_s = 3.21\ Q_w^{1.78}$	۵۰۸٦/٦۵
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	$Q_s = 13\ Q_w^{1.10}$	٤۰٦/٦۹
شهریور	$Q_s = 10.25\ Q_w^{1.21}$	۵۳۳/۰٤
مهر	$Q_s = 8.36\ Q_w^{1.17}$	٦۷٦/٤۱
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)		۱۵٤۳۱/۷٦

بدین ترتیب با انتخاب مدل رگرسیون توانی ماهانه به‌عنوان 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 ۵۰۸٦ /٦۵ تن در ماه و تیرماه با متوسط رسوب‌دهی ۳۰۳ /۹۱ تن در ماه، به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میزان رسوب‌دهی ماهانه را نشان می‌دهند. مجموع رسوب‌دهی سالانه حوضه بالیخلی به ازای ایستگاه پل الماس نیز بالغ بر ۱۵٤۳۱/۷٦ تن در سال است که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

قابل‌توجه 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 قابل‌توجه 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 قابل‌توجه در تابستان به همراه وجود پوشش گیاهی نسبتا 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 کاهشی 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 قابل‌توجهی 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 هورورویتز (۲۰۰۳)؛ خان‌چول و همکاران (۲۰۱۰)؛ حیدرنژاد و همکاران (۱۳۸۳)؛ صادقی و همکاران (۱۳۸۳)؛ محمدرضاپور (۱۳۸٤)؛ جلالی و همکاران (۱۳۸٦) هم‌خوانی داشته و در مقابل با نتایج تحقیقات باتالا و سالا (۱۹۹٤)؛ 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 (۱۳۸٤)؛ سلحشور (۱۳۸۵)؛ نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹)؛ ولی و همکاران (۱۳۸۹) و خوش‌رفتار و مازینی (۱۳۹۰) مطابقت نشان می‌دهد، اما با نتایج کارهای هورورویتز (۲۰۰۳)؛ توفیقی (۱۳۸۱)؛ داوری و همکاران (۱۳۸٤) 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

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 (۱۳۸٦)، «برآورد بار معلق رسوب ایستگاه هیدرومتری آبلو نکارود با استفاده از منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی»، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱ تا ۲ اسفند ۱۳۸٦، کرج، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

- حیدرنژاد، م؛ گلمایی، 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 ٦٦-۵۵.

- خوش‌رفتار، ر؛ مازینی، ف (۱۳۹۰)، «بررسی آماری دبی و رسوب حوضه آبریز قره‌سو (استان گلستان)»، ***فضای جغرافیایی***، شماره ۳۳، صص ۱۲۱-۱۰۱.

- داوری، م؛ بهرامی، ح. ع؛ قدوسی، ج (۱۳۸٤)، «بررسی نتایج برآورد رسوب با استفاده از مدل اصلاح‌شده PSIAC (مطالعه موردی حوزه آبخیز نوژیان)»، ***پژوهش و سازندگی***، شماره ٦۷، صص ۱۰۲-۸۸.

- ذرتی‌پور، ا؛ خلیقی سیگارودی، ش؛ شمس‌المعالی، ن (۱۳۸٦)، «کارایی روش هیدرولوژیکی حد وسط دسته‌ها نسبت به منحنی سنجه 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 ۱۳۸٦، 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 کسیلیان»، ***منابع طبیعی ایران***، شماره ۳، صص ٤۰۲-۳۹۱.

- صادقی، ح. ر (۱۳۸٤)، «تهیه معادلات سنجه 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 (۱۳۷٤). «مدل رگرسیونی برآورد میزان رسوب آبخیز در البرز شمالی»، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۲٤ تا ۲۷ اردیبهشت ۱۳۷٤، نور، دانشکده منابع طبیعی، صص ٤۱۸-٤۰۳.

- عرب‌خدری، م (۱۳۸۰)، «روش‌های افزایش دقت برآورد بار معلق رودخانه‌ها»، همایش ملی مدیریت اراضی-فرسایش خاک و توسعه پایدار، ۲ تا ٤ بهمن ۱۳۸۰، اراک، صص ۷۲۷-۷۱۱.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- 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 ٤ بهمن ۱۳۸۰، اراک، صص ۲۱۸-۲۰۵.

- قدیمی عروس محله، ف؛ قدوسی، ج (۱۳۷۸)، «تجزیه‌وتحلیل رسوب معلق و مواد محلول در حوضه آبریز دریاچه نمک»، ***پژوهش و سازندگی***، شماره ٤۵، صص ٦۳-۵۸.

- قورقی، ج. ه؛ حبیب‌نژاد روشن، م؛ سلیمانی، ک؛ خالدی‌روشن، ع. ا (۱۳۹۰). «بررسی راه‌کارهای افزایش دقت و صحت منحنی سنجه 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.

- محمدرضاپور، ا. ا (۱۳۸٤)، «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 (۱۳۸٦)، «تعیین مناسب‌ترین روش برآورد رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی رودخانه گرگان‌رود»، ***علوم کشاورزی و منابع طبیعی***، شماره ٤، صص ۲٤۰-۲۳۲.

- محمودی، ع؛ نجفی‌نژاد، ع (۱۳۹۰)، «اثر تفکیک زمانی داده‌های دبی و رسوب معلق بر روی منحنی سنجه 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 ۳٤۲-۳۳۱.

- 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 زنجان 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 ۸۲-۷٦.

- میرزایی، م. ر؛ عرب‌خدری، م؛ فیض‌نیا، س؛ احمدی، ح (۱۳۸٤)، «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 سنجه 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.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- 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؛ گلمایی، س. ح؛ قمرنیا، ه؛ ضیاءتبار احمدی، م. خ (۱۳۸٤)، «اثر کلاسه‌بندی داده‌های رسوب بر اساس زمان اندازه‌گیری در برآورد بار معلق رودخانه‌ها»، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۱ آبان ۱۳۸٤، 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 concenteration: 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.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- 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.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]