نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴

Vol. 9, No. 31, Winter 2015

پیش‌بینی بار معلق رودخانه با استفاده از مدل‌های سری زمانی و منحنی سنجه اصلاح شده (مطالعه موردی: ایستگاه قزاقلی رودخانه گرگانرود)

فاطمه برزگری بنادکوکی[1] و محسن آرمین[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۷/۲۸ تاریخ پذیرش :۱۳۹٤/٤/۳

چکیده

برآورد میزان رسوبات معلق در رودخانه‌ها از ابعاد مختلف کشاورزی، حفاظت خاک، کشتیرانی، سد سازی، حیات آبزیان و هم‌چنین جنبه‌های مختلف تحقیقاتی دارای اهمیت فراوانی است. روش‌های مختلفی برای بررسی و برآورد بار معلق رودخانه‌ها وجود دارد که توانایی این روش‌ها در برآورد رسوبات متفاوت است. یکی از پرکاربردترین روش‌ها در این زمینه، منحنی سنجه رسوب می‌باشد. روش‌های نوظهوری مانند سری‌های زمانی نیز وجود دارد که کم‌تر در این زمینه به‌کار گرفته شده‌اند. در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و مقایسه توانایی مدل‌های سری زمانی از قبیل مارکف و آریما در پیش‌بینی رسوب معلق، از داده‌های متوسط ماهانه رسوب معلق ایستگاه قزاقلی واقع بر روی رودخانه گرگانرود استفاده شده است. وجود آمار نسبتاً کافی در این ایستگاه فرصت بررسی و مقایسه مناسب روش‌های مختلف برآورد رسوب معلق را فراهم می‌کند. به‌منظور استفاده از مدل‌های سری زمانی، داده‌های موجود به‌صورت ماهانه در محیط نرم‌افزار Minitab 16 به‌کار گرفته شد و در نهایت پیش‌بینی رسوب برای ۱۱۱ ماه انجام گرفت. منحنی سنجه رسوب نیز در محیط Excel ترسیم شد و جهت مقایسه با مدل‌های سری زمانی به‌کار رفت. نتایج حاصل از ارزیابی مقادیر پیش‌بینی شده رسوب توسط مدل‌های مذکور، با استفاده از شاخص‌های اندازه‌گیری خطا شامل مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطای نرمال شده بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل‌های سری زمانی با مجذور میانگین مربعات خطای ۷۱/۳٤ در مقایسه با منحنی سنجه رسوب با مجذور میانگین مربعات خطای ۲۲۰/۷۵ توانایی بهتری در پیش‌بینی و مدل‌سازی رسوب معلق ماهانه دارند. میانگین مربعات خطای نرمال شده هم برای مدل‌های سری زمانی و منحنی سنجه رسوب به ترتیب برابر با ۲۸/٦۲ و ۲/٤۸ بوده که توانایی بهتر مدل‌های سری زمانی را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: *رسوب معلق، آریما، مارکف، مدل‌سازی.*

مقدمه

فرسایش خاک علاوه بر این‌که تهدیدی جدی برای محیط زیست به‌شمار می‌آید، خسارت‌های محسوس و نامحسوس زیادی را نیز به دنبال دارد. به‌عنوان نمونه، نتیجه بررسی‌های اقتصادی، خسارت سالانه فرسایش خاک در ایالات متحده را بالغ بر ۱۰ میلیارد دلار گزارش می‌دهد [۲۰]. از طرفی، بیش از ۵۰ درصد آلودگی آب‌ها به خاطر فرسایش مناطق بالادست آن‌ها می‌باشد [۸]. با وجود پیشرفت‌های فراوان در زمینه کنترل منابع آلاینده، مسئله کیفیت آب و مدل‌سازی رسوب هنوز به‌عنوان یک معضل در هیدرولوژی باقی مانده است [۲۱].

پارامترهای متعدد دخیل در تولید و انتقال رسوبات معلق رودخانه‌ها همراه با روابط زیاد غیرخطی و پیچیده بین این پارامترها و ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم آبخیز، مانع پیش‌بینی دقیق مقدار رسوب معلق شده است. در دهه‌های گذشته به‌دلیل وجود چنین مشکلاتی هیدرولوژیست‌ها و دیگر محققین سعی کرده‌اند مدل‌های تجربی و ساده را برای پیش‌بینی و محاسبه خصوصیات مختلف و مهم حوزه‌های آبخیز مانند رسوب، رواناب و غیره به‌کار گیرند. منحنی سنجه رسوب یکی از این روابط می‌باشد که به اشکال مختلف و با ضرایب اصلاحی متعدد در مطالعات مربوطه ارائه گردیده است [۱، ۲، ٤، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۲۲، ۲٦، ۳۲]. اما این منحنی در اکثر مواقع به‌علت داشتن اریب، نتوانسته غلظت رسوب در دبی‌های مختلف جریان را به خوبی نشان دهد. در واقع اریبی باعث شده تا مقدار باقی‌مانده‌ها (اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی)، توزیع نرمالی نداشته باشد و مقدار آن بیشتر از صفر شود [۱٦]. اریب منحنی سنجه از دو عامل نشأت می‌گیرد، عامل اول که مربوط به ذات منحنی سنجه می‌باشد و به‌دلیل تغییر شکل معادله از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی مدل رگرسیون خطی است. عامل دوم اریب ناشی از عمل برون‌یابی برای برآورد رسوب دبی‌های بالاست [۱، ۱۳، ۲۸]. به‌دلیل وجود چنین خطاهایی، در دهه‌های اخیر سعی شده روش‌هایی مورد

۱- نویسنده مسئول و عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور، پست الکترونیک: fa_barzegar@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری

استفاده قرارگیرند که بتوانند تا حدودی شرایط طبیعی را بهتر درک کنند و نتایج حاصل از آن‌ها از دقت و صحت مناسبی برخوردار باشد. مدل‌های سری زمانی از جمله مباحث نوظهوری است که اخیراً در مطالعات هیدرولوژی و از جمله، مدل‌سازی رسوب به‌کار گرفته شده است. دلیل اصلی استفاده از این نوع مدل‌ها را می‌توان توانایی آن‌ها در ایجاد همبستگی بین مقادیر زمان حال با زمان‌های پیشین و هم‌چنین سادگی ساختار این مدل‌ها دانست [۱۷]. تاریخچه استفاده از این مدل‌ها در مهندسی هیدرولوژی و منابع آب به اوایل دهه ۶۰ میلادی برمی‌گردد. توماس و فیرینگ[1] و یوجویچ[2] در دهه ۶۰ این مدل‌ها را برای اولین بار به‌کار گرفتند و در دهه ۷۰ باکس و جنکینس[3] این مدل‌ها را توسعه دادند [۱۷]. مدل‌های سری زمانی غیر ایستا هستند و توانایی بازسازی داده‌های گم شده را ندارند [۳۰]، ولی در هر حال ابزار مفیدی در پیش‌بینی روند تغییر سری‌های زمانی فرایندهای طبیعی می‌باشند [۱۷]. استفاده از سری زمانی در هیدرولوژی بیش‌تر مربوط به مباحث پیش‌بینی دبی جریان می‌باشد. بررسی منابع موجود، مؤید این مطلب است که از بین مدل‌های سری زمانی، مدل آریما[4] در مقایسه با مدل‌های خودهمبسته و یا میانگین متحرک، در پیش‌بینی رواناب و دبی جریان، کارآمدتر می‌باشد. به‌عنوان مثال نورانی و رومیانفر [۲۴] از مدل آریما برای مدل‌سازی بارش- رواناب و از شبکه عصبی برای پیش‌بینی رسوب در حوزه آبریز اهرچای استفاده نمودند و مدل آریما را برای داده‌های بارش و رواناب، مناسب ارزیابی نمودند. ولی‌پور و همکاران [۳۰] از مدل آرما و آریما[5] در پیش‌بینی مقدار دبی ورودی به سد دز استفاده نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد، مدل آریما در مقایسه با مدل آرما، توانایی بهتری در شبیه‌سازی دبی جریان رودخانه دارد. پاندی و اسرینیواز [۲۵] نیز قابلیت مدل آریما را در پیش‌بینی دبی جریان رودخانه ماهانادی هند مناسب گزارش نمودند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد با زیاد شدن گام زمانی داده‌های ورودی از روزانه به هفتگی، دقت مدل سری زمانی تا حدودی کاهش می‌یابد ولی باز هم نتایج قابل اعتماد می‌باشند.

استفاده از مدل‌های سری زمانی در بررسی رسوب معلق نسبت به دبی جریان محدودتر بوده و شروع آن به مطالعات چن و دایک در سال ۱۹۹۶ بازمی‌گردد. چن و دایک [۵] برای اولین بار از مدل سری زمانی خودهمبسته، برای بیان ارتباط بین رسوب معلق لحظه‌ای و سرعت آب در دلتای ریفوجی[6] در تانزانیا استفاده نمودند و نتایج بررسی آن‌ها مدل خودهمبسته مرتبه ۵ را برای بررسی رسوب معلق منطقه مطالعاتی، تأیید نمود. چن و دایک [۶] در تحقیقی مشابه، مدل سری زمانی آریما و مدل خودهمبسته مرتبه ۵ را برای بررسی رسوب معلق در مقیاس زمانی ساعتی، به‌کار گرفتند. در این بررسی هر مقدار رسوب معلق بر اساس ارتباط با مقادیر قبلی آن شبیه‌سازی شد و نتایج این مطالعه نشان داد که مدل سری زمانی آریما در مقایسه با مدل خودهمبسته مرتبه ۵، توانایی بهتری در پیش‌بینی رسوب معلق دارد. سینگر و دان [۲۷]، از طریق بررسی سری زمانی دبی رودخانه و رسوب معلق، مدل آریما را برای بررسی رسوب معلق مناسب گزارش نمودند. در مطالعه آن‌ها از داده‌های فشرده جمع‌آوری شده در یک دوره ۲ ساله برای مدل‌سازی سری زمانی استفاده شد و مدل مذکور را برای تخمین متوسط رسوب سالانه در یک دوره ۳۲ ساله استفاده نمودند. ملس و همکاران [۲۱]، از شبکه عصبی و مدل آریما[7] برای پیش‌بینی داده‌های رسوب روزانه و هفتگی سه رودخانه مهم در ایالت متحده آمریکا استفاده نمودند. نتایج این بررسی نشان داد، عملکرد مدل آریما به‌خصوص در مقیاس زمانی روزانه، نزدیک به شبکه عصبی و رضایت‌بخش می‌باشد.

بررسی منابع نشان می‌دهد، تاکنون کاربرد مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی رسوب معلق، بیش‌تر بر اساس داده‌های روزانه، ساعتی و گاه لحظه‌ای حاصل از اندازه‌گیری مستقیم رسوب معلق استوار می‌باشد که اطلاعات مربوطه در شرایط فعلی ایستگاه‌های هیدرومتری کشور ایران موجود نمی‌باشد. از آنجایی که برداشت داده‌های رسوب معلق روزانه به‌صورت تصادفی بوده و مقدار رسوب مربوط به همه روزهای سال در دوره آماری موجود نمی‌باشد، لذا استفاده از سری زمانی برای رسوب روزانه مناسب نیست و باید از مقیاس زمانی مناسب نظیر مقیاس ماهانه استفاده نمود. بنابراین در مطالعه حاضر از مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی داده‌های رسوب ماهانه استفاده شد که با شرایط موجود در ایران نیز سازگاری بیش‌تری دارد. سپس نتایج حاصل از پیش‌بینی رسوب با این مدل‌ها با نتایج پیش‌بینی مدل‌های متداول برآورد رسوب در ایران که عمدتاً منحنی‌های سنجه رسوب می‌باشند، مورد مقایسه قرار گرفت.

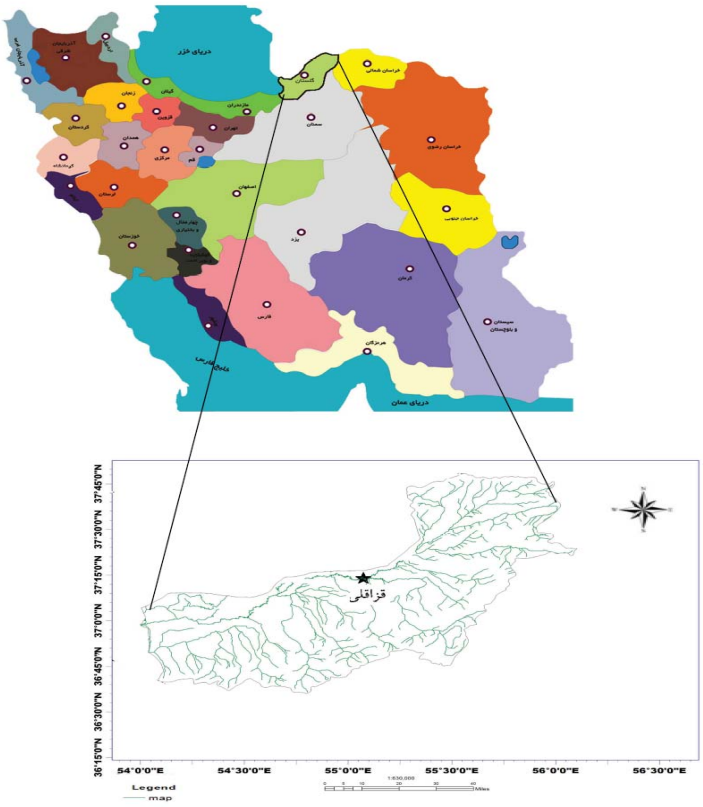
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گرگانرود با مساحت ۱۰۲۰۰ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های دریای خزر است که در محدوده جغرافیایی ′۱۰ ٥٤° تا ′ ٢٦ ° ٥٦ طول شرقی و ′ ٣٥ ° ٣٦ تا ′١٥°٣٨ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

طول رودخانه اصلی این حوضه بالغ بر ۲۵۰ کیلومتر است که در امتداد عمومی شرقی- غربی گسترش یافته و از جنوب شرقی دریای خزر به این دریا می‌پیوندد. رودخانه گرگانرود به‌دلیل موقعیت جغرافیایی، اقلیمی و زمین‌شناسی از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات رسوب معلق برخوردار است. هم‌چنین به‌دلیل قرار گرفتن در بالادست سد وشمگیر دارای آمار فشرده‌ای از رسوب معلق بوده که از نظر مطالعاتی ارزشمند می‌باشد. طول دوره آماری مذکور از سال

1. Thomas and Fiering
2. Yevjevich
3. Box and Jenkins
4. Auto-Regressive Integrated Moving Average
5. Auto-Regressive Moving Average
6. Rifuji
7



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز گلستان و ایستگاه قزاقلی).

Fig 1. Study area (Goleatan watershed, Ghazaghly hydrometric station).

۱۳٤۹ تا ۱۳۸۸بوده و شامل ٦۷۷۷ داده می‌باشد که به‌صورت روزانه جمع‌آوری شده است. با وجود این داده‌های کافی و اهمیت سد وشمگیر، هنوز رقم دقیق و قابل اعتمادی از میزان رسوب ورودی به سد در دست نمی‌باشد. البته مطالعاتی در زمینه برآورد رسوب انجام شده [۱]، ولی با توجه به ارزش این ایستگاه هیدرومتری از نظر تعداد داده‌های رسوب و اهمیت سد وشمگیر در پایداری و ثبات اکوسیستم منطقه، می‌توان گفت که هنوز مطالعات زیادی را در این زمینه می‌طلبد.

روش کار

به‌منظور انجام این تحقیق از داده‌های رسوب معلق روزانه ایستگاه قزاقلی استفاده شد. جهت ترسیم انواع منحنی سنجه، این داده‌ها به‌صورت روزانه، فصلی، ماهانه و دسته‌بندی شده به‌کار رفت. از آنجایی‌که داده‌های رسوب روزانه، به‌صورت منظم موجود نمی‌باشند، لذا به‌منظور پیش‌بینی رسوب معلق با مدل‌های سری زمانی، ابتدا باید داده‌ها به‌صورت سری زمانی منظم مرتب شوند، که این‌کار با استفاده از برنامه Excel و تبدیل مقادیر روزانه به مقادیر ماهانه انجام شد.

انواع منحنی سنجه رسوب

در ترسیم منحنی سنجه رسوب از انواع روش‌های ترسیم منحنی سنجه، شامل یک‌خطی، دوخطی، ماهانه، فصلی و حدوسط دسته‌ها استفاده می‌شود. برای این‌که روابط منحنی سنجه رسوب، برآورد دقیق‌تر و اریب کم‌تری نشان دهند. تاکنون ضرایب اصلاحی متعددی ارائه شده است. این ضرایب شامل ضرایب FAO، QMLE، Smearing و MVUE[1] می‌باشند [۲۹، ۱۹، ۱۵، ۱٤، ۷، ٤، ۱]. لذا در تحقیق حاضر پس از کاربرد انواع مختلف منحنی سنجه رسوب به‌منظور کاهش اریب منحنی سنجه از ضرایب اصلاحی مذکور استفاده شد.

انتخاب بهترین ترکیب منحنی سنجه و ضریب اصلاحی

ترکیب‌های متفاوتی از انواع منحنی سنجه و ضرایب اصلاحی بر روی ۷۰ درصد داده‌های دبی و رسوب معلق متناظر با آن به‌کار گرفته شد و برای هر ترکیب، معادله متناسب با آن استخراج گردید. سپس با به‌کارگیری معادله مذکور بر روی ۳۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها و استفاده از روش‌های ارزیابی مختلف محاسبه خطا شامل مجذور میانگین مربعات خطا[2](رابطه ۱) و میانگین درصد خطای نسبی[3] (رابطه ۲)، بهترین ترکیب منحنی سنجه و ضریب اصلاحی جهت برآورد بار رسوب معلق انتخاب شد.

1. Minimum Variance Unbiased Estimator
2. Root Mean Square Error
3. Mean Relative Error

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (SSC_O - SSC_e)^2}{n} \right)^{1/2} \quad (۱)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\left| \frac{SSC_O - SSC_e}{SSC_O} \right| \right)_i}{n} \quad (۲)$$

در این روابط، n، تعداد نمونه‌ها، SSC_e دبی رسوب برآوردی و SSC_O دبی رسوب مشاهده‌ای می‌باشد.

مقدار RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده عملکرد بهتر مدل است [۱]. شاخص MRE نیز شاخص میانگین درصد خطای نسبی بوده و هر چه کم‌تر باشد صحت پیش‌بینی بالاتر است [۹].

مدل‌های سری زمانی

قبل از پرداختن به مبحث مدل‌های سری زمانی ابتدا باید به تعریف مفاهیم پرداخته شود.

سری زمانی: یک سری زمانی عبارت است از داده‌هایی که از مشاهده یک پدیده در طول زمان به‌دست آمده‌اند.

سری زمانی گسسته: یک سری زمانی را گسسته گویند، هرگاه مشاهدات فقط در زمان‌های معینی که معمولاً به فواصل مساوی از یکدیگر قرار دارند، اخذ شده باشند.

ایستایی ضعیف: به‌عبارت ساده یک سری زمانی را ایستا یا مانا می‌نامند هرگاه مشخصه‌های مرتبه دوم آن مانند میانگین و واریانس در طول زمان ثابت بماند.

ناایستایی در میانگین: چنان‌چه یک سری زمانی در میانگین ناایستا باشد، مهم‌ترین ابزار تبدیل این سری به یک سری ایستا تفاضلی کردن آن می‌باشد.

ناایستایی در واریانس: اگر واریانس یک سری زمانی همراه با زمان تغییر کند بدین معنی است که آن سری نسبت به واریانسش ناایستاست. با استفاده از تبدیلات باکس-کاکس واریانس سری ثابت می‌شود.

تجزیه و تحلیل سری زمانی ابتدا توسط باکس و جنکینس ارائه شده است [۲۳]. تابع خطی این مدل بر اساس سه مؤلفه خطی پارامتریک زیر می‌باشد:

Moving Average (MA), Integration (I), Auto regression (AR)

در نهایت سری زمانی آریما را می‌توان به شکل رابطه (۳) بازنویسی نمود.

$$\phi(B)(1-B)^d Z_t = \theta(B)\,\varepsilon_t \quad (۳)$$

که در آن $\phi(B)$، $\theta(B)$ به‌صورت معادلات (٤) و (٥) تعریف می‌شوند:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots \phi_p B^p \quad (٤)$$

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \ldots \theta_q B^q \quad (٥)$$

در روابط ارائه شده، Z_t سری اصلی، ε_t سری تصادفی با میانگین صفر و واریانس δ_ε^2، ϕ پارامترهای مدل خود همبسته (AR)، θ پارامترهای میانگین متحرک (MA)، P مرتبه مربوط به مدل خود همبسته، q مرتبه مربوط به مدل میانگین متحرک، d مرتبه مربوط به تفاضل و B عملگر پسرو می‌باشد [۲۳]. روش تکراری باکس- جنکین‌س اساساً شامل برازش یک مدل آریما به داده‌ها می‌باشد. لازم است که ابتدا ایستایی سری را بررسی کرد و در صورت ناایستا بودن سری، با انجام تبدیلات مناسب آن‌را به یک سری ایستا تبدیل نمود. سپس با توجه به رفتار توابع خودهمبسته[1] (acf) و خودهمبسته جزئی[2] (pacf) نوع و مرتبه مدل را تشخیص داد، به این صورت که از روی تابع خودهمبسته جزئی، مرتبه p مدل، از روی نمودار تابع خودهمبسته، مرتبه سوم مدل یا q و از طریق آزمون و خطا و معیار آکائیک، مقدار d، تشخیص داده می‌شود [۱۸].

توابع خودهمبسته (acf) و خودهمبسته جزئی (pacf) به ترتیب در روابط (٦) و (۷) نشان داده شده‌اند [۱۸].

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=2}^{n-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z})}{\sum_{i=1}^{n} (z_i - \bar{z})^2} ; -1 \le \rho_k \le 1 \quad (٦)$$

در رابطه (٦)، ρ_k، مقدار تابع خودهمبسته سری زمانی با تأخیر k، z_i z_{i+k}، مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی i و مرحله i با تأخیر زمانی k و $\bar{z}$، مقدار میانگین مربوط به متغیرها می‌باشد.

$$\varphi_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{i=2}^{k-1} \varphi_i(k-1)\rho_{k-1}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} (k-1)\rho_i} \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، K تعداد تأخیر، ρ_k، مقدار تابع خودهمبسته سری زمانی با تأخیر k، ρ_{k-1}، مقدار تابع خودهمبسته سری زمانی با تأخیر k-۱ و φ_k، مقدار تابع خودهمبسته جزئی سری زمانی با تأخیر k می‌باشد.

به‌منظور کاربرد روش‌های سری زمانی از داده‌های ماهانه رسوب معلق در محیط نرم‌افزار آماری Minitab 16 استفاده شد. با توجه به این‌که شرط استفاده از مدل‌های سری زمانی، نرمال بودن داده‌ها است، ابتدا وضعیت نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و با به‌کارگیری توابع تبدیل مناسب، از روش باکس- کاکس (رابطه (۸))، داده‌ها نرمال گردید و در نهایت، مدل‌های مارکف و آریما روی داده‌های نرمال شده به‌کار گرفته شد.

1. Auto correlation Factor
2. Partial Auto correlation Factor

جدول ۱- مقایسه ترکیب انواع منحنی سنجه رسوب و ضرایب اصلاحی

Table 1. Comparison of different combinations of sediment rating curves and correction coefficients.

منحنی سنجه	Sediment Rating Curve	بدون ضریب Without coefficient		FAO		QMLE (CF۱)		Smearing		MVUE	
		MRE	RMSE	MRE	RMSE	MRE	RMSE	MRE	RMSE	MRE	RMSE
یک‌خطی	Single-line	1895.77	270.8	2345.5	122.58	1489.23	260.2	1162.48	623.8	1012.32	320.99
دوخطی	Two-lines	1012.87	262.1	397.69	223.5	1120.87	253.17	947.63	555.5	1236.24	322.3
ماهانه	Monthly	340.47	220.7	4165.5	354.82	239.25	292.53	196.1	249.6	99.06**	232.75
فصلی	Seasonal	375.58	345.9	450.25	347.96	987.45	350.8	654.52	256	311.145	352.75
حد وسط دسته ها	Mean load classes	329.88	233.9	425.95	235.41	628.41	278.09	511.25	278.83	248.42	277.98

علامت ** بیانگر کم‌ترین خطای برآورد است.

$$\begin{cases} z_t = \dfrac{z_t^{\lambda} - 1}{\lambda}, \lambda \neq 0 \\ z_t^{\lambda} = \mathrm{h}\ z_t, \lambda = 0 \end{cases} \qquad (۸)$$

در معادله (۸)، z_t، مقدار اولیه داده‌ها در زمان t، λ پارامتر تبدیل که از روی نمودار داده‌ها به دست می‌آید و z_t^{λ}، مقدار تبدیل یافته نظیر داده‌ها است.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، معیار آکائیک یکی از معیارهای مناسب برای انتخاب بهترین مدل آریما یا به‌عبارتی برای تعیین مرتبه سوم مدل یا q می‌باشد. لذا در تحقیق حاضر، نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل‌های سری زمانی توسط معیار اکائیک[1] (رابطه ۹) مورد مقایسه قرار گرفت [۲۳]. به‌منظور اطمینان بیش‌تر مدل‌های سری زمانی به‌کار رفته در تحقیق با معیار مجموع مربع انحرافات[2] (رابطه ۱۰) نیز ارزیابی شدند.

در مدل ARIMA(p,d,q) معیار آکائیک به‌صورت معادله (۹) محاسبه می‌شود، اگر در مدل جمله ثابت نیز وجود داشته باشد به تعداد پارامترها یکی اضافه می‌گردد [۲۳].

$$AIC = n\ln(SSR) + 2(p+q) \qquad (۹)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \hat{x}_i)^2 \qquad (۱۰)$$

در معادله (۹)، p مرتبه اول مدل سری زمانی ARIMA(p,d,q) و q مرتبه سوم مدل سری زمانی ARIMA(p,d,q) می‌باشد. در معادله (۱۰) نیز، x_i مقدار رسوب برآورد شده با مدل، $\hat{x}_i$ مقدار رسوب اندازه‌گیری شده و SSR، مجموع مربع انحرافات می‌باشد.

لازم به ذکر است که مدل دارای مجموع مربع انحرافات و یا معیار اکائیک کم‌تر، مدل مناسب‌تری می‌باشد [۱۸].

بررسی مناسبت مدل از طریق تجزیه وتحلیل باقی‌مانده‌ها

در نهایت برای اطمینان از صحت مدل سری زمانی منتخب، از طریق تجزیه و تحلیل باقی‌مانده‌ها و با بررسی فرض‌های نرمال بودن، استقلال و ثابت بودن واریانس باقی‌مانده‌ها، مناسبت مدل انتخابی بررسی می‌گردد [۱۸].

انتخاب مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی رسوب معلق

مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی رسوب معلق، از بین مدل‌های برگزیده سری زمانی و منحنی سنجه رسوب، با استفاده از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا (رابطه ۱) و میانگین مربعات خطای نرمال شده (رابطه ۱۱) انتخاب گردید که در قسمت نتایج ارائه شده است.

$$NMSE = \frac{MSE}{VAR(y)} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)، MSE میانگین مربعات خطا و $VAR(y)$ واریانس داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. از آنجایی‌که مقدار این شاخص به تعداد داده‌ها وابسته نیست می‌توان آن‌را برای مقایسه‌هایی که در آن‌ها تعداد داده‌های مختلف یکسان نیست، به‌کار برد. هر چه مقدار شاخص مذکور به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل بهتر است.

نتایج

چنان‌چه قبلاً اشاره شد در این تحقیق وضعیت دبی رسوب معلق

1. Akaike
2. Sum of Squared Residuals

با استفاده از منحنی سنجه رسوب و مدل‌های سری زمانی در ایستگاه هیدرومتری قزاقلی واقع بر روی رودخانه گرگانرود مورد بررسی قرار گرفت. تاکنون در بررسی‌هایی که به‌منظور مقایسه منحنی سنجه با سایر مدل‌ها نظیر سری زمانی یا شبکه عصبی و غیره انجام شده است، معمولاً از شکل خطی و بدون ضریب منحنی سنجه، یعنی منحنی سنجه یک‌خطی ساده استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا ترکیب‌های مختلف منحنی سنجه و ضرایب اصلاحی بررسی شد و با به‌کارگیری شاخص صحت و مجذور میانگین مربعات خطا، از بین ترکیب‌های مختلف منحنی سنجه و ضرایب اصلاحی متعدد، مطابق جدول (۱) گزینش بهترین مدل منحنی سنجه رسوب انجام شد.

همان‌طور که از داده‌های جدول (۱) بر می‌آید، از بین انواع مختلف منحنی سنجه رسوب (مقایسه اعداد به‌صورت ستونی)، منحنی سنجه حدوسط دسته‌ها دارای بهترین عملکرد می‌باشد، زیرا دارای کم‌ترین مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری خطا است. دلیل این امر را می‌توان متوسط‌گیری از رسوب و کاهش خطاهای پراکندگی داده‌ها عنوان نمود. از طرفی، از بین ضرایب اصلاحی به‌کار رفته در تصحیح منحنی سنجه (مقایسه اعداد به‌صورت ردیفی)، ضریب MVUE باعث کاهش اریب و بهبود نتایج شده است که کم‌تر بودن میزان شاخص‌های اندازه‌گیری خطا حاکی از این مسئله است. از طرفی چنان‌چه از اعداد جدول پیداست، کم‌ترین خطا مربوط به منحنی سنجه ماهانه و ضریب اصلاحی MVUE می‌باشد که در جدول با علامت دوستاره مشخص شده است.

در مورد مدل‌های سری زمانی، به‌دلیل نرمال نبودن داده‌ها ابتدا با استفاده از تبدیل باکس- کاکس، داده‌ها نرمال شد که نتیجه آن در شکل (۲) ارائه شده است.

همان‌طور که از شکل (۲) پیداست، داده‌ها دارای روند خاصی نمی‌باشد و این نمودار مشابه ضربات تصادفی ناشی از یک فرآیند اغتشاش خالص می‌باشد. داده‌ها حول یک خط راست قرار گرفته‌اند و واریانس ثابت می‌باشد. این بدین معناست که داده‌ها هم از نظر میانگین و هم از نظر واریانس ایستا هستند.

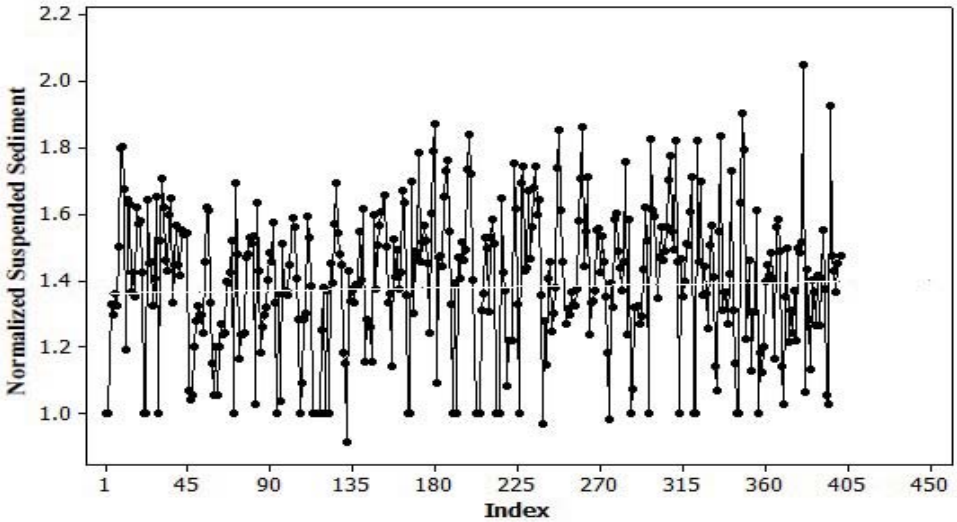
شکل‌های (۳) و (٤) به ترتیب نمودار مربوط به خود همبستگی جزئی و خود همبستگی داده‌های تبدیل شده را نشان می‌دهند.

همان‌طور که از شکل (۳) ملاحظه می‌شود، مدل آریما با مرتبه اول یا p برابر با یک مدل مناسبی به‌نظر می‌رسد، زیرا از تأخیر یک به بعد خودهمبستگی‌های جزئی در محدوده مجاز (خط‌چین)، قرار می‌گیرند. از طرفی بر اساس شکل (٤)، می‌توان ادعا نمود مرتبه سوم یا q نیز برابر با یک می‌باشد. بنابراین از مدل آریما با مرتبه (۱ و ۱) روی داده‌های تبدیل شده می‌توان استفاده نمود. جهت تعیین و مقایسه بهتر مدل‌های سری زمانی، بعد از تعیین مرتبه اول و سوم، مرتبه دوم یا d از طریق سعی و خطا و با استفاده از معیارهای ارزیابی شامل مجموع مربع انحرافات و معیار اکائیک، تعیین گردید. نتایج

جدول۲- مقایسه مدل‌های مختلف سری زمانی با معیار اکائیک و مجموع مربع انحرافات

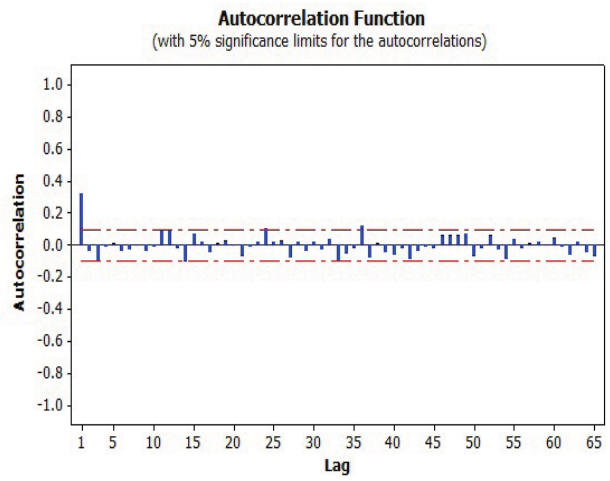
Table 2. Comparison of different time series model using Sum of Squared Residuals and Akaike parameters.

معیار آکائیک	مجموع مربع انحرافات	مدل
Akaike	Sum of Squared Residuals	Model
3009.898	3003.99	ARIMA(۱,۱,۲)
3013.8987	3003.89	ARIMA(۲,۱,۳)
3013.1048	3003.104	مارکف(Markov)



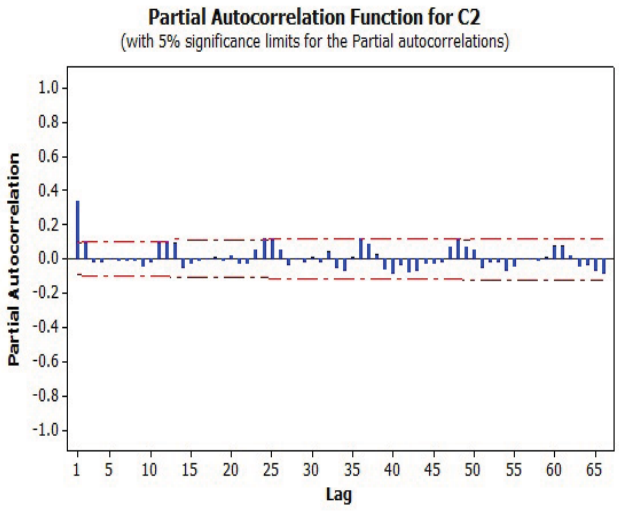
شکل ۲- نمودار داده‌های رسوب ماهانه تبدیل شده با استفاد از تابع Box-Cox

Fig 2. Converted monthly sediment data using Box- Cox function.



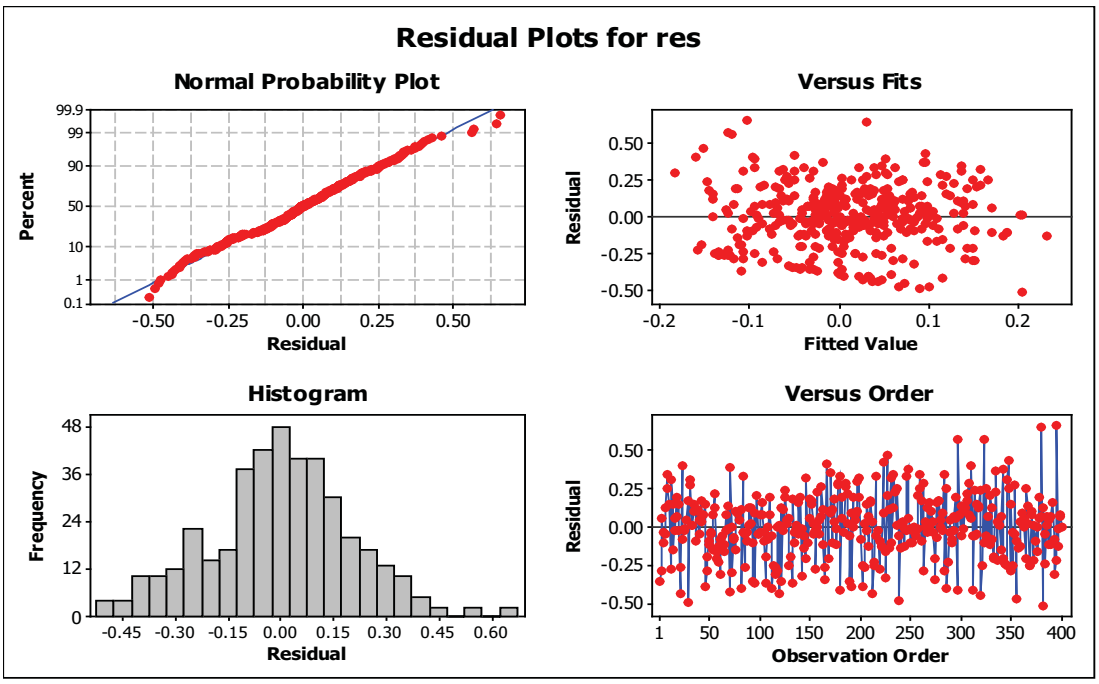
شکل ۳- نمودار مربوط به خود همبستگی داده‌های رسوب تبدیل شده

Fig 3. Autocorrelation curve of the converted sediment data.



شکل ٤- نمودار مربوط به خود همبستگی جزئی داده‌های رسوب تبدیل شده.

Fig 4. Partial autocorrelation curve of the converted sediment data.



شکل ٥- نمودار مربوط به توزیع باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل مارکف

Fig 5. Residual distribution of Markov model.

این مقایسه در جدول (۲) آمده است.

با توجه به این‌که مدل دارای مجموع مربع انحرافات و یا معیار اکائیک کم‌تر، مدل مناسب‌تری می‌باشد، بنابراین می‌توان ادعا نمود که مدل مارکف یا ARIMA(۱,۱,۱) و ARIMA(۱,۱,۲) در مقایسه با مدل ARIMA(۲,۱,۳) دارای اطمینان بیشتری هستند.

بررسی مناسبت مدل انتخابی سری زمانی از طریق تجزیه و تحلیل باقی‌مانده‌ها

به‌منظور بررسی مناسب بودن مدل انتخابی سری زمانی، باقی‌مانده‌های مدل نهایی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ٥) و فرض‌های نرمال بودن، استقلال و ثابت بودن واریانس باقی‌مانده‌ها

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌ها

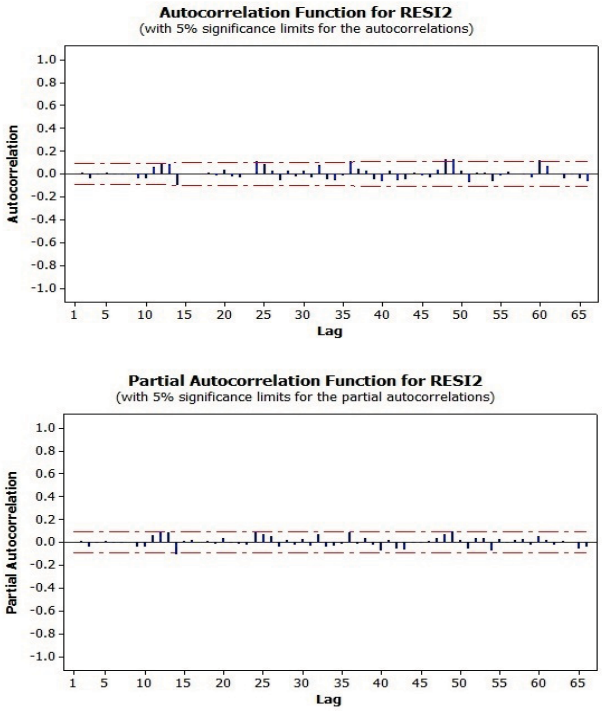
در شکل (۵)، در قسمت مربوط به نمودار احتمال نرمال، نقاط تقریباً در امتداد یک خط راست قرار گرفته‌اند و این نشان می‌دهد که باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل مارکف (اتورگرسیو درجه ۱) به‌صورت نرمال توزیع شده‌اند. نمودار باقی‌مانده‌ها در برابر مقادیر برازش داده شده نیز تقریباً حالت نرمال را نشان می‌دهد.

بررسی فرض استقلال باقی‌مانده‌ها و فرض ثابت بودن واریانس باقی‌مانده‌ها

برای بررسی فرض استقلال باقی‌مانده‌ها ، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی آن‌ها بررسی گردید (شکل ٦).

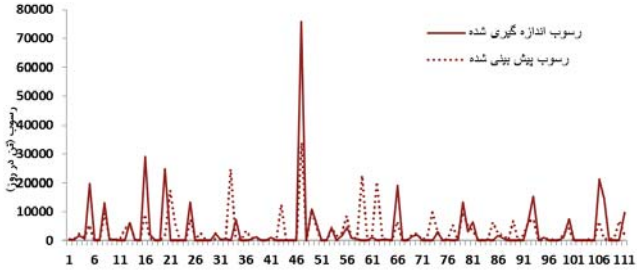
بر اساس نتایج حاصله، می‌توان فرض ثابت بودن واریانس باقی‌مانده‌ها را پذیرفت و می‌توان گفت هیچ یک از خود همبستگی‌ها معنی‌دار نیستند زیرا از حدود استانداردشان (خط‌چین در شکل ٦) تجاوز نکرده‌اند. این به معنی ناهمبسته بودن (استقلال) باقی‌مانده‌ها و تصادفی بودن آن‌هاست که تناسب مدل انتخابی را با داده‌ها نشان می‌دهد. لذا تناسب مدل‌های سری زمانی انتخابی تائید می‌گردد.

به‌منظور مقایسه بصری توانایی مدل‌های برگزیده سری زمانی (مدل مارکف و آریما) و منحنی سنجه رسوب منتخب در مدل‌سازی رسوب معلق، نتایج حاصل از پیش‌بینی رسوب ماهانه برای ۱۱۱ماه (۲۵ درصد داده‌ها) توسط این مدل‌ها، در شکل‌های ۷ تا ۹آمد.



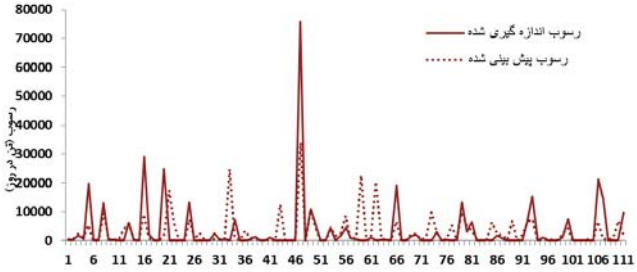
شکل ٦- نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقی‌مانده‌های سری تفاضلی شده داده‌های رسوب

Fig 6. Autocorrelation and partial autocorrelation diagrams of the differential series residual of sediment data



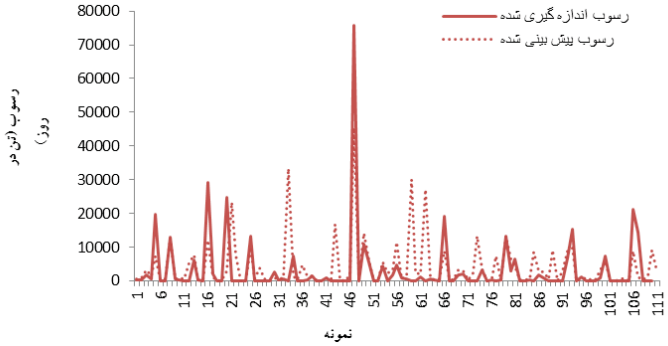
شکل ۷- مقایسه نتایج مدل ARIMA(۱,۱,۲) با داده‌های واقعی

Fig 7. Comparison of ARIMA(1,1,2) model results with actual data.



شکل ۸- مقایسه نتایج مدل مارکف با داده‌های واقعی

Fig 8. Comparison of Markov model results with actual data.



شکل ۹- مقایسه نتایج منحنی سنجه رسوب با داده‌های واقعی

Fig 9. Comparison of sediment rating curve model results with actual data.

جدول ۳- نتایج مقایسه مدلها با شاخص میانگین مربعات خطای نرمال شده و معیار ناش ساتکلیف

Table 3. Comparison of the results obtained from selected models using normalized mean square error and Nash Sutcliffe criteria.

شاخص	Criteria	منحنی سنجه ماهانه Monthly sediment rating curve	آریما (۱،۱،۲) (۱,۱,۲)ARMA	مارکف Markov
میانگین مربعات خطای نرمال شده	normalized mean square	220.75	**71.34	78.56
ناش ساتکلیف	Nash Sutcliffe	28.62	**2.48	3.2

همان‌طور که از شکل‌های ۷ تا ۹ پیداست، بین مقادیر برآوردی حاصل از مدل‌های سری زمانی و رسوب واقعی، در مقایسه با منحنی سنجه رسوب، اختلاف کم‌تری مشاهده می‌شود به‌عبارتی، سری‌های زمانی توانایی بهتری در شبیه‌سازی رسوب معلق ماهانه دارند. به‌منظور مقایسه آماری مدل‌های برگزیده سری‌های زمانی (مدل آریما و مارکف) با منحنی سنجه رسوب منتخب، از شاخص آماری میانگین انحرافات و میانگین انحرافات نرمال شده استفاده گردید. نتایج مقایسه با شاخص‌های مذکور در جدول (۳) آمده است.

با توجه به کم‌تر بودن شاخص‌های میانگین انحرافات و میانگین انحرافات نرمال شده، مدل سری زمانی بهتر است.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به‌منظور بررسی توانایی مدل‌های سری زمانی و مقایسه آن‌ها با منحنی سنجه رسوب در پیش‌بینی رسوب معلق، از داده‌های دبی رسوب روزانه ایستگاه قزاقلی واقع بر روی رودخانه گرگانرود استفاده شده است. داده‌های موجود در محیط نرم‌افزار Excel ۲۰۰۷ به‌کار گرفته شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۰۷ انواع منحنی سنجه در ترکیب با ضرایب اصلاحی مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در بخش نتایج گفته شد، از بین انواع مختلف منحنی سنجه، روش حدوسط دسته‌ها و در میان ضرایب اصلاحی، ضریب MVUE در مجموع، برآوردهای صحیح‌تری در مقایسه با سایر روش‌ها و ضرایب داشتند، این نتیجه‌گیری براساس شاخص‌های آماری موجود در جدول ۱ می‌باشد. اثرات مثبت ضریب MVUE و روش حدوسط دسته‌ها در بهبود برآوردها با نتایج پژوهش‌های عرب خدری و همکاران [۱]، اسلمن و همکاران [۲] و حکیم خانی [۱۱]، هم‌خوانی دارد. منتهی در بین ترکیب‌های مختلف منحنی سنجه و ضرایب اصلاحی، بهترین وضعیت مربوط به ترکیب منحنی سنجه ماهانه با ضریب اصلاحی MVUE می‌باشد. در گام بعد جهت پیشبینی رسوب با مدل‌های سری زمانی، از داده‌های دبی رسوب معلق، به‌صورت متوسط ماهانه در محیط نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد. نتایج مربوط به مدل‌های سری زمانی نشان داد، در بین انواع مدل‌های سری زمانی، مدل آریما برآورد بهتر و خطای کم‌تری در پیش‌بینی رسوب معلق دارد. نتایج این بخش از مطالعه با بررسی‌های چن و دایک [٦]، سینگر و دان [٢٦] و ملس و همکاران [۲۱] هم‌راستاست. در نهایت به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی رسوب معلق، از بین مدل‌های برگزیده سری زمانی و منحنی سنجه رسوب، از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطای نرمال شده استفاده شد. بررسی نتایج این بخش نشان داد داد که مدل‌های آماری سری زمانی به‌خصوص مدل آریما، در مقایسه با منحنی سنجه توانایی بهتری در برآورد رسوب معلق دارند. برتری مدل آریما نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی در شکل‌های ۷ تا ۹ نیز قابل استنباط است. همان‌طور که از شکل‌های مذکور پیداست، مدل منحنی سنجه رسوب (منحنی سنجه رسوب ماهانه اصلاح شده با ضریب MVUE)، توانایی متوسطی در پیش‌بینی رسوب معلق دارد. ضعف عمده مدل مربوط به پیش‌بینی در ماه‌های سیلابی می‌باشد. دلیل این امر ضعف سیستم نمونه‌گیری رسوب معلق و خطای متوسط‌گیری در منحنی سنجه می‌باشد. در مورد مدل‌های سری زمانی، مدل آریما توانایی بهتری در شبیه‌سازی رسوب معلق به‌ویژه در ماه‌های سیلابی دارد. هر چند این مدل نیز با ضعف‌هایی همرا است ولی در هرصورت براساس نتایج شاخص‌های آماری و نمودارها، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. عدم کفایت سیستم نمونه‌برداری رسوب معلق از جمله موارد تأثیرگذار در کفایت مدل آریما می‌باشد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در مطالعات انجام شده در راستای کاربرد سری زمانی در پیشبینی رسوب معلق، معمولاً از داده‌های فشرده رسوب روزانه یا ساعتی استفاده شده است. با توجه به کمبود امکانات اندازه‌گیری رسوب معلق در ایران و پراکنده بودن داده‌های روزانه جمع‌آوری شده، مناسب‌ترین بازه زمانی مناسب برای کاربرد سری زمانی در رسوب معلق، داده‌های ماهانه می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود عملکرد مدل‌های برآورد رسوب معلق، قبل از هر چیز به اصلاح سیستم نمونه‌برداری رسوب پرداخته شود و تا حد امکان ایستگاه‌های هیدرومتری به تجهیزات خودکار نمونه‌بردار مجهز شوند.

ثانیاً توانایی مدل‌های سری زمانی در برآورد رسوب معلق در ترکیب با سری زمانی دبی رودخانه مورد بررسی قرار گیرد. به‌عبارت بهتر هر دبی رسوب نمونه‌برداری شده با دبی جریان و دبی رسوب روزهای قبل مدل‌سازی شود.

در هر صورت نتایج تحقیق حاضر، نتایج بیانگر اولویت مدل‌های سری زمانی نسبت به منحنی سنجه، در مدل‌سازی رسوب معلق ماهانه می‌باشد.

منابع

1. Arabkhedri, M. Hakimkhani, Sh. and Varvani, J. 2004. The Validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 Hydrometric Stations). Journal of Agricultural Science and Natural Resources. 11(3), 123-131 .(In Persian).

2. Asselman, NEM. 2002. Fitting and interpretation of sediment rating curves. ,Journal of Hydrology. 234: 228-248.

3. Banihabib, M. E., Bandari, R. and Mosavi Nadoshani. S. S. 2012. Analysis Ability of the Autoregressive Integrated Moving Average Model for Forecasting of Reservoir Daily Inflow of Dez Reservoir with Two-year lead Time Water and Irrigation Journal. 2(7): 47-57. (In Persian)..

4. Barzegari, F. 2004. A Comparison of common methods of estimating Suspended Load (Case study: Ghezelozan Watershed). MSc thesis. Natural Resources Faculty of Tehran University, 120 pp. (In Persian).

5. Chen, H. and Dyke, P.P.G. 1998. Multivariate time series models for concentration of suspended sediment concentration. Coninental Shelf Research. 18 (1998):123-150.

6. Chen, H., Zinober, A. and Ruan, R. 1996. Strong consistency and convergence rate of parameter identification for bilinear systems. International Journal of Control. 63 (5): 907-919.

7. Cohn, T.A. Caulder, D.A. Gilroy, E.J. Zynjuk, L.D. and Summers, R.M. 1992. The validity of a sample statistical model for estimation fluvial constituent loads: an empirical study involving nutrient loads entering Chesapeake Bay. Water Resource Research. 28(9): 2353-2363.

8. EPA, 1990. National Water Quality Inventory: 1988 Report to Congress. EPA 40- 4-90-003. Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency. Washington. D.C. 248 pp.

9. Feiznia, S. Ghafari, G. Karimizadeh, K. and Tabatabaezadeh, M. 2011. Professor, Faculty of Natural Resources, University Determination of the Most Suitable Method for Estimation of Suspended Sediment in Hydrometric Stations Upland of Latian and Taleghan Dams. Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources. 64(3): 231-242. (In Persian).

10. Ferguson, RI. 1986. River load understimated by rating curves ,Water Resources Research. 22(1):74-76.

11. Hakimkhani, Sh. 1998. Investigation and determination of effective factors on sediment production and yield of drainage basins (Case Study: Oroumia Basin). MSc thesis. Natural Resources Faculty of Tehran University. 212pp. (In Persian).

12. Horowitz.A.J. 2002. The use of rating curves to predict suspended sediment concentration: A matter of temporal resolution .Turbidity and other surrogate Workshop. April 30-May 2, Reno NV.7pp.

13. Iadanza, C. and Napolitano, F. 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. Physics and Chemistry of the Earth. 31: 1212-1227.

14. Jansson, MB. 1996. Estimating a sediment rating curves of the Reventazon river at Palamo using logged mean loads within discharge classes .Journal of Hydrology. 183(4): 227-241.

15. Jones, K.R. Berney, O. Carr, D.P. and Barret, E.C. 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper. 37: 271.

16. Kao, Sh.J. Lee, T.Y. and Milliman, J.D. 2005. Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. Terrestrial atmospheric and oceanic sciences journal. 16(3): 653-675.

17. Karamouz, M. and Araghinejad, Sh. 2011. Advanced Hydrology. Amirkabir University of Technology Press, Tehran, 464 pp. (In Persian).

18. Khorrami, M. and Bozorgnia, Gh. 2007. Time series analysis using MINITAB 14, Sokhan Gostar Press, 336 pp, (In Persian).

19. Koch, R.W. and Smillie, G.M. 1986. Comment on “river loads underestimated by rating curves”.Water Resources Research .22(13): 2121-2122.

20. Lovejoy, S.B. Lee, J.G. Randhir T.O. and Engel, B.A. 1997. Research needs for water quality management in the 21st century: a spatial decision support system. Journal

of Soil and Conservation 52 (1): 18–22.

21. Meless, A.M. Ahmad, S. Mcclain, M.E. Wang, X. and Lim, Y.H. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: an artificial neura network approach. Agricultural Water Management. 98 (2011): 855-866.

22. Mosaedi, A. and Mohammadi Ostadkalayeh, A., 2002. Evaluation of sediment transport and changes in the watershed. Proceedings of the First Student Conference on Soil and Water Resources. 162-150 pp.

23. Niroumand, H.A. and Bozorgnia, A.Gh. 2010. Introduction to Time Series Analysis, Publications of Ferdousi .University. 290 pp. (In Persian).

24. Nourani, V. and Romyanfar, S. 2010. Using Hybrid ARIMA-ANN models on the modeling of the rainfall - runoff - precipitation in Aharchay catchment, Fifth National Congress of Civil Engineering. Ferdowsi University of Mashhad, pp.1-8.

25. Pandey, A. and Srinivas, V.V. 2015. Use of Data Driven Techniques for Short Lead Time Streamflow Forecasting in Mahanadi basin. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015). Aquatic Procedia. 4: 972 – 978.

26. Robert, B.T. 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. Water Resources Research. 21(9): 1381-1388.

27. Singer, M.B. and Dunne, T. 2001. Identifying eroding and depositional reaches of valley by analysis of suspended sediment transport in the Sacramento River. California. Water Resources Research. 37 (12): 3371–3382.

28. Telvari, A. 2003. The relationship between suspended sediment and certain properties in the area Dez and Karkheh Basin, Research and development, 15(56): 47-56.

29. Thomas, R.B. 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. Water Resources Research, 21(9): 1381-1388.

30. Valipour, M. Banihabib, M.E. and Behbahani, S.M.R. 2012. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. Journal of Hydrology. 476 (2013): 433–441.

31. Wang, Y.G. and Tian, T. 2013. Sediment concentration prediction and statistical evaluation for annual load estimation. Journal of Hydrology 482: 69–78.

32. Zoratipoor, A. 2006. A Comparison of Hydrological (Statistical) methods for estimating Suspended Load (Case study: Taleghan Watershed), MSc thesis, Natural Resources Faculty of Tehran University. 150 pp. (In Persian).

نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران

Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 9, No. 31, Winter 2015

سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴

Abstract

Suspended Sediment Prediction usingTime Series and Sediment Rating Curve (Case study: GhazaghlyStation in Gorganroud River)

F. BarzegariBanadkooki[1]and M. Armin[2]

Received: 2015.06.24 Accepted:2013.10.20

Accurate estimation of suspended sediment in rivers is very important from different aspects including agriculture, soil conservation, shipping, dam construction and aquatic research. There are different methods for suspended sediment estimation. In the present study to evaluate the ability of time-series models including Markov and ARIMA in predicting suspended sediment and to compare their results to sediment rating curve (SRC), it was tried to use daily suspended data from Ghazaghly station of Gorganroud River, as an average monthly values in Minitab 16 software and finally suspended sediment was predicted for 111 months. In the next step, different combinations of all types of SRC and bias correction factors were used in Excel software to evaluate ability of SRC in suspended sediment estimation. Based on the results of this study, monthly SRC without bias correction factor was the most appropriate SRC models. To compare efficiency of different models in estimating suspended sediment, Root Mean Square Errors (RMSE) and Normalized Mean Square Errors (NMSE) were used. Time series model performance measured by RMSE and NMSE was about 71.34 and 2.48, respectively compared to SRC model with RMSE 220.75 and NMSE 28.62. Results showed a good ability of time series models in estimating average monthly suspended sediment.

Keywords: Suspended sediment, Markov, ARIMA, Model.

1. Academic member, Agricultural faculty, Payam Noor Universtiy. Corresponding Author E-mail: fa_barzegar@yahoo.com.
2. Assistant professor, Department of Watershed Management, YasujUniversity.