



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## پیش‌بینی رسوب معلق با استفاده از مدل سری زمانی تابع انتقال در ایستگاه‌های منتخب رودخانه گرگانود، استان گلستان

\*سولماز خزایی موغانی<sup>۱</sup>، علی نجفی نژاد<sup>۲</sup>، مجید عظیم‌محسنی<sup>۳</sup> و واحدبردی شیخ<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>دانشیار  
گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup>استادیار گروه آمار، دانشگاه گلستان  
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۵

### چکیده

با توجه به این‌که آگاهی از نحوه تغییرپذیری زمانی رسوب معلق، مبنای عملیات اصلاح و مدیریت حوزه آبخیز می‌باشد. استفاده از روشی که بتواند همه عوامل مؤثر در تغییرپذیری را در مدل‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق در نظر بگیرد، بسیار دارای اهمیت است. در این پروژه، تغییرات زمانی رسوب معلق در ۷ ایستگاه منتخب در رودخانه گرگانود مورد بررسی قرار گرفت. در این‌جا علاوه بر منحنی سنج رسوب، مدل سری زمانی تابع انتقال برای پیش‌بینی دبی رسوب معلق و بررسی تغییرات زمانی آن، تنها براساس عامل تأثیرگذار دبی جریان، استفاده شد و مشخص گردید که بیش‌ترین رابطه این دو متغیر به‌صورت هم‌زمان است، اما برای رسیدن به دقت و صحت بالاتر و پیش‌بینی دقیق‌تر رسوب، حداقل باید به مقادیر دبی و رسوب یک دوره قبل بازگشت. نتایج به‌دست آمده از اعتبارسنجی مدل نشان از برازش مناسب و موفقیت‌آمیز مدل تابع انتقال در ایستگاه‌ها داشت. در نهایت با مقایسه دو مدل تابع انتقال و سنج رسوب برای پیش‌بینی رسوب معلق، مدل سری زمانی تابع انتقال با ضریب کارایی ۹۸ و ۹۷ درصد به‌ترتیب برای ایستگاه حاجی‌قوشان و سد وشمگیر و مقدار آریبی کم‌تر از ۱ دارای دقت و صحت بالاتری نسبت به روش متداول سنج رسوب ارزیابی گردید.

**واژه‌های کلیدی:** مدل تابع انتقال، منحنی سنج رسوب، تغییرات زمانی، رسوب معلق، گرگانود

\*مسئول مکاتبه: [solmaz\\_khzaei@yahoo.com](mailto:solmaz_khzaei@yahoo.com)

## مقدمه

ماهیت متغیر و پیچیده بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد میزان رسوب وارده به مخازن و میزان تولید رسوب در درازمدت برای تعیین عمر سازه‌ها، با مشکل روبرو شود. به‌منظور پیش‌بینی جریان رودخانه و رسوب معلق حمل شده، در طی سالیان گذشته روش‌های مختلفی ابداع شده است که به‌طورکلی این روش‌ها را می‌توان به دو دسته مدل‌های مفهومی و مدل‌های مبتنی بر داده یا آماری طبقه‌بندی نمود (فتح‌آبادی و همکاران، ۲۰۰۸). در صورتی که آمار طولانی‌مدت دبی آب و دبی رسوبات معلق رودخانه وجود داشته باشد، متداول‌ترین ابزار ارزیابی دبی مواد رسوبی رودخانه، منحنی سنجه رسوب می‌باشد (اسلمن، ۲۰۰۰). عمده‌ترین دلیل وجود خطا در استفاده از مدل‌ها رگرسیونی از جمله منحنی سنجه رسوب برای پدیده‌های ثبت شده در زمان این است که در این معادله‌ها تنها می‌توان به بررسی رفتار هم‌زمان دو پدیده پرداخت و اطلاعات ثبت شده در زمان‌های گذشته که می‌تواند تأثیرگذار و مهم باشد، در این مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. از طرف دیگر مدل سنجه رسوب به‌علت انعطاف‌پذیری کم ممکن است در دبی‌های مختلف در یک مکان مشخص رفتار متفاوتی از خود نشان دهد که این باعث می‌شود نتوان با یک مدل رگرسیونی همه دبی‌ها را پوشش داد (هورویتز، ۲۰۰۸؛ استیگن و همکاران، ۲۰۰۰). مدل‌های مفهومی نیاز به داده، دانش صحیح و کامل در مورد راه‌کارهای فیزیکی دارند که روی جریان رودخانه در محل خاصی تأثیر می‌گذارند و این امر تا کنون غیرممکن بوده است. از این‌رو پژوهشگران به استفاده از مدل‌های آماری روی آورده‌اند. در طی چهار دهه گذشته مدل‌های سری زمانی به‌عنوان یکی از مدل‌های آماری، کاربرد گسترده‌ای در امر پیش‌بینی جریان رودخانه پیدا کرده‌اند (الشافعی و همکاران، ۲۰۰۷؛ نایاک و همکاران، ۲۰۰۴). مدل‌سازی سری‌های زمانی به‌دلیل توانایی در تحلیل داده‌ها، در پژوهش‌های پدیده‌های اقلیمی از جمله هیدرولوژی و منابع آب، به‌طور وسیعی استفاده می‌شود. باکس و جنکینز (۱۹۷۶) در مطالعه خود، علت استفاده از مدل‌سازی آماری مدل‌های میانگین متحرک تجمعی خود هم‌بسته را وجود خود همبستگی در داده‌های اقلیمی با دارا بودن اثر فصل و یا روند ذکر کرده پیشنهاد کردند که به‌منظور تعیین اثر خود همبستگی‌ها مانند خودهمبستگی موجود در داده‌های اقلیمی از روش‌های ضربی خودهمبستگی و میانگین متحرک فصلی استفاده شود. فتح‌آبادی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش‌های نوروبازی و مدل‌های سری‌های زمانی اقدام به پیش‌بینی دبی ماهانه حوزه آبخیز طالقانرود نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل‌های ترکیبی بهترین عملکرد را داشته و بعد از این مدل‌ها،

مدل‌های سری زمانی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های شبکه عصبی و ANFIS با تفکیک خوشه‌ای و شبکه‌ای داشته‌اند. ملسه و همکاران (۲۰۱۱) در سیستم رودخانه‌ای چند رودخانه بزرگ در آمریکا اقدام به پیش‌بینی غلظت رسوب معلق توسط چند مدل از جمله مدل سری زمانی نمودند و توسط معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا، درصد میانگین مطلق خطا، کارایی مدل<sup>۳</sup> به اعتبارسنجی مدل پرداختند. نتایج نشان داد که مدل سری زمانی دارای عملکرد خوب و دقت بالایی در پیش‌بینی غلظت رسوب معلق دارد.

در این مطالعه از مدل تابع انتقال که می‌توان با استفاده از آن تأثیر یک یا چند سری زمانی ورودی بر سری زمانی خروجی را مدل‌سازی کرد، استفاده شده است. برتری این مدل استفاده از اطلاعات زمان‌های گذشته و حال سری‌های ورودی در پیش‌بینی زمان‌های آینده می‌باشد که علاوه بر دقت، ارزیابی پیش‌بینی را نیز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. این مدل تاکنون در زمینه رسوب معلق به‌کار گرفته نشده است. بر همین اساس، مطالعات انجام شده در رابطه با کاربردهای این مدل در زمینه‌های دیگر بیان شده است. مشکانی و مشکانی (۱۹۹۷) برای بررسی تغییرات سطح آب دریای خزر با استفاده از تغییر درجه حرارت و میزان بارش در آن منطقه از تابع انتقال استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که برازش مدل تابع انتقال می‌تواند میزان تغییرات سطح آب در آینده را با دقت بالایی پیش‌بینی کند. جهانبخش و همکاران (۲۰۰۶) روند نوسانات اقلیمی بر مبنای دو پارامتر اقلیمی دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز را با استفاده از روش تحلیل سری‌های زمانی و مدل تابع انتقال مورد بررسی قرار داد. نتایج به‌دست آمده از این مدل نشان داد که مدل تابع انتقال دارای دقت و کارایی خوبی در پیش‌بینی می‌باشد. لیو و همکاران (۲۰۱۰) مدل تابع انتقال غیرپارامتری را معرفی کردند و در رودخانه کانا در ژاپن به‌عنوان مطالعه موردی دبی جریان را بر مبنای داده‌های بارش و با اعتبار بالا پیش‌بینی نمودند. زو و همکاران (۲۰۱۰) برای پیش‌بینی شوری و محتوای رطوبت خاک براساس پارامتر عمق خاک از دو مدل شبکه عصبی و تابع انتقال استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل تابع انتقال نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بالاتری در پیش‌بینی می‌باشد. صیاف‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) برای مدل‌سازی تزریق آب در مخزن‌های هیدروکربنی از مدل تابع انتقال با پارامتر

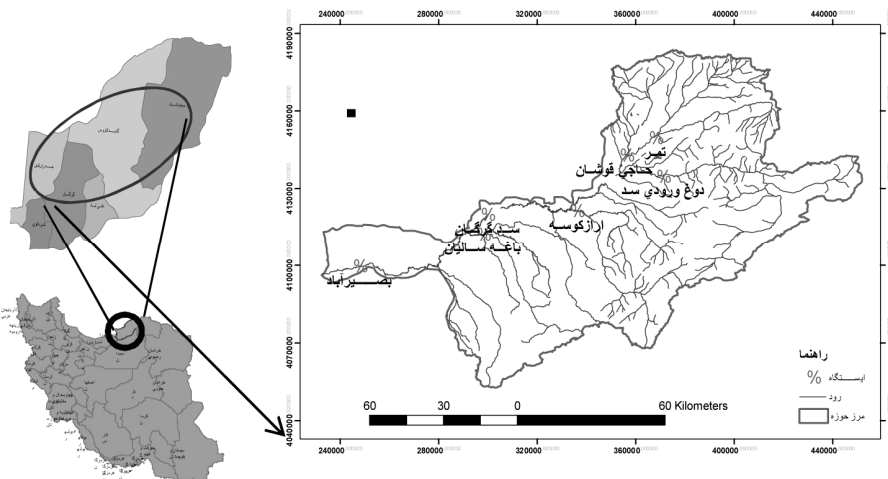
- 1- Root Mean Squares of Error
- 2- Mean Absolut Percent Error
- 3- Model Efficiency

ورودی وضعیت فیزیکی مخزن، استفاده و بیان نمودند که این روش یک راه سریع برای پیش‌بینی عملکرد سیلاب است و می‌تواند پنجره جدیدی برای مدل‌سازان آینده باشد. زیرا در مقایسه با روش‌های دیگر دارای صحت و دقت بالاست.

از آن‌جا که پیش‌بینی دقیق و با صحت بالای میزان رسوب معلق نقش مؤثری در مدیریت و اصلاح رودخانه‌ها دارد، در این مقاله از روش تابع انتقال که با توجه به مرور منابع دارای دقت و صحت بالایی است، برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بار رسوب معلق بر حسب میزان دبی استفاده گردید. برای درک صحیح و شرح مراحل انجام آن، در این پژوهش ۷ ایستگاه واقع در رودخانه گرگانرود مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز گرگانرود دارای ۱۱۳۳۹/۱ کیلومترمربع وسعت می‌باشد. این حوزه در محدوده مختصات طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه قرار گرفته است (شکل ۱). در این مطالعه ایستگاه بصیرآباد باغه سالیان، سد وشمگیر، ارازکوسه، حاجی‌قوشان، دوغ‌ورودی و تمر مورد بررسی قرار گرفتند. به دلیل نبود داده‌های پیوسته رسوب روزانه از مقادیر ماهانه ۲۵ (۸۸-۱۳۶۳) سال آماری استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

منحنی سنجه رسوب: در این مطالعه شکل خطی شده منحنی سنجه رسوب بر داده‌های دبی جریان و دبی رسوب معلق برازش داده شد، که در رابطه ۱ شده است.

$$\log S_t = \alpha + b \log Q_t \quad (1)$$

که در آن،

در رابطه (۱)  $S_t$ : میزان دبی رسوب معلق و  $Q_t$ : دبی جریان می‌باشد.  $\alpha$  و  $b$  پارامترهای مدل می‌باشند.

مدل تابع انتقال: در برقراری ارتباط میان پدیده‌های طبیعی بیش‌تر از مدل‌های خطی استفاده می‌گردد. در مواقعی که متغیرها در زمان‌های مختلف ثبت گردیده مدل خطی به دو منظور به کار گرفته می‌شود. - در مورد یک متغیر بیانگر ارتباط زمان حال یک متغیر با زمان‌های گذشته آن می‌باشد (مدل  $SARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q)_T$ ) که در مباحث کلاسیک سری‌های زمانی به آن پرداخته می‌شود (باکس و همکاران، ۱۹۹۴).

- در مورد چند متغیر بیانگر ارتباط بین زمان حال یک متغیر پاسخ با زمان‌های گذشته خود و همچنین زمان‌های حال و گذشته متغیرهای ورودی می‌باشد (مدل تابع انتقال) (باکس و همکاران، ۱۹۹۴).

برای برقراری رابطه بین دو سری زمانی،  $\{X_t, t \in Z\}$  به‌عنوان ورودی و  $\{Y_t, t \in Z\}$  به‌عنوان خروجی این انتظار وجود دارد که زمان حال سری  $Y_t$  با زمان‌های حال و گذشته  $X_t$  در ارتباط باشد. به همین دلیل برای برازش مدل تابع انتقال ابتدا باید از این وضعیت اطمینان حاصل گردد. ابزار مناسب برای بررسی این وضعیت تابع خودهمبستگی متقابل است<sup>۱</sup> که ارتباط بین دو سری زمانی را در گام‌های مختلف نشان می‌دهد. برای این‌که نمودار تابع خود همبستگی متقابل بر حسب گام‌های مختلف این ارتباط را با دقت بیشتری نشان دهد، از روش پیش صافی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. به این صورت که پس از برازش یک مدل SARIMA به سری ورودی به‌طور جداگانه، همان مدل را بدون هیچ تغییری حتی در مقادیر پارامترهای مدل به سری خروجی نیز برازش داده و نمودار تابع خود همبستگی متقابل برای مقادیر باقی‌مانده این دو برازش ترسیم می‌گردد. این نمودار، گامی که این دو

1- Sample Cross Correlation  
2- Prewhitening

سری بیش‌ترین ارتباط را با یکدیگر دارند را به‌صورت قله نشان می‌دهد. این انتظار وجود دارد که نمودار خودهمبستگی متقابل برای دو سری زمانی که وارد تابع انتقال می‌شوند، قله مورد نظرش را در گام‌های نا منفی اختیار کند (باورمن و همکاران، ۱۹۹۳). در صورت محقق شدن این فرض در مرحله بعدی به برآورد پارامترهای مدل و تعیین مدل ابتدایی تابع انتقال پرداخته می‌شود.

از آن‌جا که در این پژوهش سری ورودی  $\log Q_t$  و سری خروجی  $\log S_t$  می‌باشد براساس نمادهای معرفی شده مدل تابع انتقال به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$(\nabla^{d_1} \nabla_{T_1}^{D_1} \log S_t) = \mu + \frac{C w^{(r)}(B)}{\delta^{(s)}(B)} B^b (\nabla^{d_2} \nabla_{T_2}^{D_2} \log Q_t) + \eta_t \quad (2)$$

که در آن،  $\eta_t$ : یک سری زمانی می‌باشد که به سری ورودی وابسته نیست. پارامتر  $b$ : پارامتر توان عملگر پس‌رو می‌باشد،  $C$ : پارامتر شکل مدل می‌باشد و  $\nabla$ : عملگر تفاضلی است. این عملگر در ایستاسازی فرآیندهای غیرایستا و حذف روند بسیار به‌کار برده می‌شود. با توجه به این‌که دو نوع روند معمولی و روند فصلی با دوره تناوب  $T$  وجود دارد. بنابراین برای حذف روندهای معمولی<sup>۱</sup> و فصلی<sup>۲</sup> به‌ترتیب از عملگر تفاضلی  $\nabla^d$  و  $\nabla_T^D$  استفاده می‌گردد. اگر در سری زمانی هم روند فصلی و هم روند معمولی وجود داشته باشد از هر دو عملگر تفاضلی استفاده می‌شود که به‌صورت  $\nabla^d (\nabla_T^D X_t)$  نمایش داده می‌شود. (B) عملگر تبدیل پس‌رو<sup>۳</sup> تعریف می‌شود، این عملگر در سری‌های زمانی بسیار کاربرد دارد و در واقع هر سری زمانی را به یک زمان قبل از خود بر می‌گرداند. بر حسب این عملگر می‌توان توابع مختلفی را تعریف کرد که از جمله آن می‌توان، مرتبه  $k$  ام عملگر پس‌رو و  $w^{(r)}(B)$  و  $\delta^{(s)}(B)$  چندجمله‌ای‌هایی از عملگر پس‌رو به‌ترتیب با مرتبه  $r$  و  $s$  نام برد. همچنین مقدار پارامتر  $C$  و  $\mu$  کنترل‌کننده واحدهای اندازه‌گیری سری‌های ورودی و خروجی می‌باشند.

هر تابع انتقال با  $(D_1, d_1, D_2, d_2, T_1, T_2)$  و پارامترهای  $(C, r, s, \mu, b)$  تعیین می‌گردد، که مقدار عددی هر یک از این پارامترها براساس نمودار خودهمبستگی متقابل (SCC) پیش‌صافی شده و همچنین تابع خودهمبستگی نگار سری‌های ورودی و خروجی قابل ارزیابی می‌باشد (باورمن و همکاران، ۱۹۹۳).

- 
- 1- Regular Trend
  - 2- Seasonal Trend
  - 3- Backward Shift

پس از محاسبه پارامترهای مدل و برازش مدل اولیه تابع انتقال بر روی سری داده‌های ورودی که در این جا سری زمانی داده‌های لگاریتم دبی جریان است، سری باقی‌مانده‌های به‌دست آمده از برازش مدل را تعیین و بر روی این سری نیز مدل سری زمانی برازش داده می‌شود. در نهایت می‌توان مدل نهایی تابع انتقال را از مجموع این دو مدل تعیین نمود.

**نکوی برازش:** برای بررسی این که تابع انتقال به طرز مطلوبی برازش داده شده است از دو شاخص زیر استفاده می‌گردد (باورمن، ۱۹۹۳).

$$Q_1 = n \sum_{k=1}^K r_k^2(X_t \eta_t) \quad (3)$$

$$Q_2 = n \sum_{k=1}^K r_k^2(\eta_t \eta_t) \quad (4)$$

که  $r_k^2(X_t \eta_t)$  در رابطه ۳ نمایانگر تابع خودهمبستگی متقابل میان دو سری ورودی  $X_t$  و سری باقی‌مانده  $\eta_t$  و همچنین  $r_k^2(\eta_t \eta_t)$  تابع خودهمبستگی سری باقی‌مانده  $\eta_t$  به‌ازای گام‌های مختلف می‌باشند. آماره‌های ۳ و ۴ کنترل‌کننده فرضیات اساسی یعنی نبود همبستگی سری ورودی و سری باقی‌مانده و همچنین برازش یک مدل SARIMA مناسب به سری باقی‌مانده در جهت تکمیل برازش مدل تابع انتقال می‌باشد. توزیع آماری این دو آماره خی-دو می‌باشد که درجه آزادی آن بستگی به تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل تابع انتقال و مدل برازش داده شده به سری باقی‌مانده دارد.

براساس آماره‌های آزمون ۳ و ۴ می‌توان مقادیر معنی‌داری<sup>۱</sup> را محاسبه و در مورد کفایت مدل برازش داده شده قضاوت کرد. به این صورت که هرچه مقادیر Q کوچک‌تر یا مقدار معنی‌داری مربوط به آن‌ها به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان از برازش مناسب‌تر مدل دارد (باورمن، ۱۹۹۳).

**پیش‌بینی:** پس از برازش تابع انتقال و منحنی سنجه رسوب به‌منظور مقایسه این دو روش اقدام به پیش‌بینی مقادیر دبی رسوب معلق در یک دوره آینده (یک سال) گردید.

**ارزیابی مدل:** از ۲۶ سال طول آماری مورد بررسی در ایستگاه‌ها، اطلاعات داده‌ای ۲۵ سال آن در آزمون‌ها و برازش مدل تابع انتقال و منحنی سنجه رسوب و یک سال آن برای اعتبارسنجی این مدل‌ها مورد استفاده

#### 1- Significant Values

قرار گرفت. برای مقایسه دو روش از معیارهای کارایی (ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰) و معیار اریبی (باکس و همکاران، ۱۹۹۴). استفاده گردید. معیار کارایی مدل به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$E = \left[ 1 - \frac{\sigma_{\varepsilon}^2}{\sigma_o^2} \right] \quad (5)$$

که در آن،  $\sigma_{\varepsilon}^2$ : واریانس خطا و  $\sigma_o^2$ : واریانس مقادیر مشاهداتی است. هرچه مقدار این معیار به یک نزدیک‌تر باشد مقادیر پیش‌بینی شده اختلاف کم‌تری با مقادیر مشاهداتی دارند که نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل است.

همچنین معیار اریبی نشان می‌دهد که داده‌های پیش‌بینی شده تا چه میزان صحت دارند. اعداد منفی با کمیت بزرگ برای اریبی نشان‌دهنده کم برآوردی است و اعداد مثبت با کمیت بزرگ نشان از بیش برآوردی مدل مورد استفاده دارد. این معیار به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

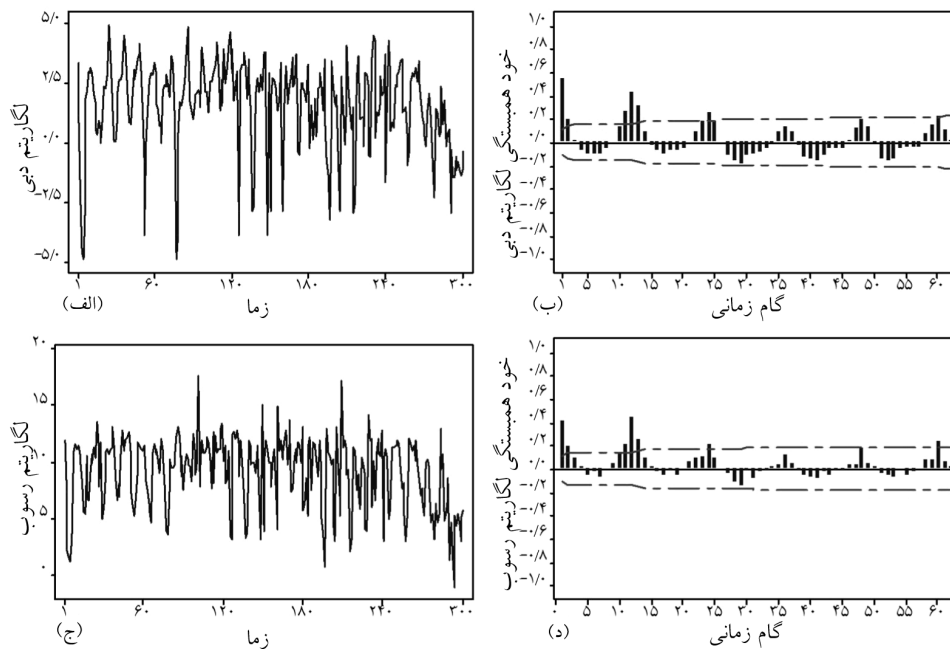
$$bias = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t) \quad (6)$$

که در آن،  $\hat{Y}_t$ : مقدار متغیر پیش‌بینی شده توسط مدل و  $Y_t$ : مقدار متغیر مشاهده شده است. **تحلیل عددی:** همه مراحل برازش تابع انتقال، بررسی نکویی برازش و پیش‌بینی براساس آن قابل اجرا در محیط نرم‌افزار SAS می‌باشد (باورمن و همکاران، ۱۹۹۵). در این پژوهش نیز تمامی مراحل بیان شده در نرم‌افزار SAS 9.2 انجام گرفته است.

## نتایج و بحث

**نتایج برازش مدل اولیه بر سری ورودی داده‌ها و پیش‌صافی کردن:** برای اجرای مرحله پیش‌صافی، ابتدا به برازش مدل SARIMA به داده‌های لگاریتم دبی پرداخته شد. برای نمونه شکل ۲ (الف و ب) به ترتیب رسم سری زمانی و تابع خودهمبستگی سری لگاریتم دبی در ایستگاه بصیرآباد را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده یک روند فصلی با دوره تناوب ۱۲ می‌باشد. همچنین شکل ۲ (ج و د) نیز وجود همین روند را در داده‌های لگاریتم رسوب تأیید می‌کند که باید در مدل نهایی در نظر گرفته شود. برازش تابع خودهمبستگی در سایر ایستگاه‌ها نیز نتایج مشابهی با ایستگاه بصیرآباد داشت به این صورت که در سری زمانی داده‌های رسوب معلق و دبی روند فصلی با دوره تناوب ۱۲ مشاهده گردید.



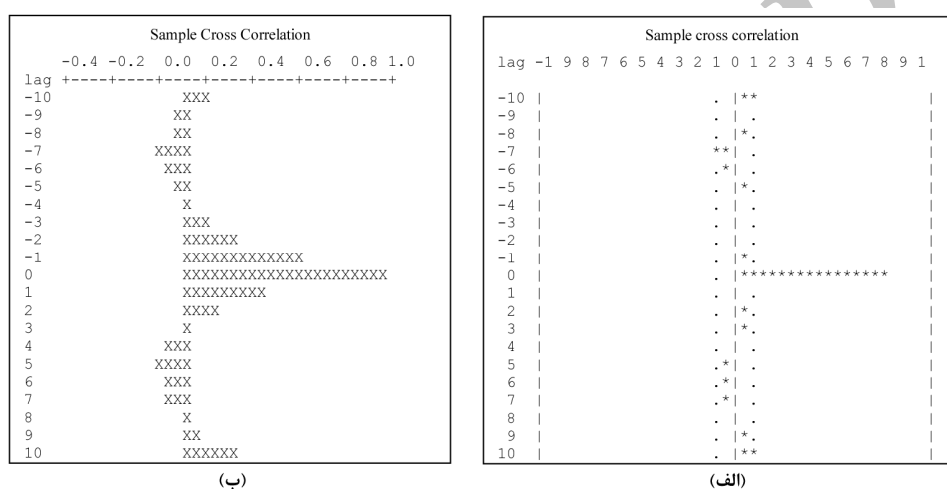


شکل ۲- نمودار سری زمانی و خودهمبستگی داده‌های ایستگاه بصیرآباد: (الف) سری زمانی داده‌های دبی جریان، (ب) تابع خودهمبستگی داده‌های دبی جریان، (ج) سری زمانی دبی رسوب معلق و (د) تابع خودهمبستگی داده‌های دبی رسوب معلق.

جدول ۱- مقادیر مؤلفه‌های مدل برازش شده بر سری داده‌های دبی و رسوب معلق ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	p	d	q	P	D	Q	T
بصیرآباد	۱	۰	۲	۱	۱	۱	۱۲
باغ‌سالیان	۱	۰	۲	۱	۱	۱	۱۲
سد وشمگیر	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱۲
ارازکوسه	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱۲
حاجی‌قوشان	۱	۰	۲	۰	۱	۱	۱۲
دوغ‌ورودی	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱۲
تمر	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱۲

جدول ۱ مدل‌های برازش داده شده به داده‌های لگاریتم دبی در تمام ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. این مدل‌ها براساس الگوی استاندارد  $SARIMA(p,d,q) \times (P,D,Q)_r$  بیان گردیده است. رسم نمودار SCC و برازش مدل اولیه تابع انتقال: پس از برازش مدل به سری ورودی و انجام پیش‌صافی، نمودار تابع خودهمبستگی متقابل بر روی مقادیر باقی‌مانده در هر ایستگاه رسم گردید. نمودار خودهمبستگی متقابل ایستگاه بصیرآباد به صورت نمونه در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمودار تابع SCC ایستگاه بصیرآباد: (الف) سری داده‌های پیش‌صافی شده و (ب) سری داده‌های اصلی.

با توجه به نمودار خودهمبستگی متقابل، در گام زمانی صفر (به‌طور هم‌زمان) بیش‌ترین وابستگی بین سری ورودی، لگاریتم دبی و سری خروجی داده‌ها، لگاریتم رسوب معلق، وجود دارد و مقدار پارامتر  $b$  برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

یکی از ویژگی‌هایی که مدل تابع انتقال را برجسته می‌کند استفاده از مقادیر رسوب معلق و دبی جریان در زمان گذشته برای پیش‌بینی مقادیر حال رسوب معلق است. برای این منظور مقدار پارامترهای  $S$  و  $I$  که تعیین‌کننده مرتبه چندجمله‌ای‌های عملگر پسر و می‌باشند بسیار دارای اهمیت است. چندجمله‌ای عملگری که با مرتبه این پارامترها در مدل تابع انتقال ظاهر می‌شوند باعث می‌شوند اطلاعات زمان‌های گذشته دبی و رسوب برای پیش‌بینی زمان حال به‌کار گرفته شوند.

در ایستگاه بصیرآباد، سد وشمگیر، ارازکوسه، حاجی قوشان و تمر مقادیر این پارامترها برابر  $S=1$  و  $I=1$  تعیین شد. به این معنا که برای پیش‌بینی مقدار رسوب معلق زمان حال باید دبی جریان و رسوب معلق یک دوره قبل را در نظر گرفت. در ایستگاه باغه‌سالیان  $I=2,1$  و  $S=2,1$  محاسبه گردید که نشان می‌دهد مقدار رسوب معلق در زمان حال به مقدار رسوب معلق و دبی جریان دو دوره قبل از خود وابسته است. در ایستگاه دوغ‌ورودی  $I=2,1$  و  $S=1$  تعیین گردید به این معنا که برای تعیین مقدار رسوب معلق در زمان حال باید مقدار رسوب معلق یک دوره قبل و مقدار دبی جریان در دو دوره گذشته را در نظر گرفت.

نتایج برازش مدل بر باقی‌مانده‌ها و مدل نهایی تابع انتقال: پس از برازش مدل اولیه تابع انتقال، سری باقیمانده‌ها ( $\eta_t$ ) این مدل محاسبه گردید که  $\eta_t$  نامیده می‌شود. پس از اطمینان از استقلال این سری باقی‌مانده از سری داده‌های اصلی، بر روی آن مدل سری زمانی برازش داده شد که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر مؤلفه‌های مدل برازش شده بر سری باقی‌مانده داده‌های دبی و رسوب معلق ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	p	d	q	P	D	Q	T
بصیرآباد	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۲
باغه‌سالیان	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۲
سد وشمگیر	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱۲
ارازکوسه	۱	۰	۰	۱	۰	۲	۱۲
حاجی قوشان	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۲
دوغ‌ورودی	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۲
تمر	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱۲

مدل نهایی تابع انتقال متشکل از مدل برازش داده شده پس از طی مراحل بالا می‌باشد که برای ایستگاه‌های بصیرآباد باغه‌سالیان، سد وشمگیر، ارازکوسه، حاجی قوشان، دوغ‌ورودی و تمر به ترتیب در رابطه‌های ۷ تا ۱۳ ارائه گردیده است.

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/12(1-0/947B)}{(1-0/955B)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/96B)(1-0/581B^{12})}{(1-0/99B)(1+0/23B^{12})} Z_t \quad (7)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/46(1-0/65B+0/27B^2)}{(1-0/1B+0/296B^2)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/18B)(1-0/34B^{12})}{(1-0/62B)(1+0/11B^{12})} Z_t \quad (8)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/93(1-0/67B)}{(1-0/7B)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/935B)}{(1-0/363B)(1+0/9B^{12})} Z_t \quad (9)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/73(1-0/348B)}{(1+0/37B+0/187B^2)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/656B)}{(1-0/56B)(1+0/63B^{12})} Z_t \quad (10)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/42(1-0/94B)}{(1-0/95B)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1+0/62B)(1-0/78B^{12})}{(1+0/68B)(1+0/88B^{12})} Z_t \quad (11)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/54(1+0/63B)}{(1+0/743B)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/55B)(1-0/86B^{12})}{(1-0/8B)(1-0/21B^{12})} Z_t \quad (12)$$

$$(\nabla_{1r}^1 \log S_t) = \frac{1/462(1-0/448B)}{(1-0/304B)} (\nabla_{1r}^1 \log Q_t) + \frac{(1-0/625B)(1-0/855B^{12})}{(1-0/821B)(1+0/52B^{12})} Z_t \quad (13)$$

سری  $Z_t$  در مدل‌های بالا یک سری زمانی نوفه سفید<sup>۱</sup> است که عوامل محیطی را در مدل تابع انتقال دخالت می‌دهد.

نکویی برازش: نتایج آزمون‌های نکویی برازش انجام شده براساس آماره‌های ۳ و ۴ در جدول ۳ ارایه شده است.

1- White Noise

جدول ۳- نکویی برازش مدل تابع انتقال در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	پارامترها	گام زمانی	خی - دو	درجه آزادی	مقدار معناداری
بصیرآباد	$x_t \eta_t$	۴۷	۵۴/۳۶	۴۷	۰/۴۶
	$\eta_t \eta_t$	۴۸	۳۷/۲۴	۴۴	۰/۷۵
باغ‌سالیان	$x_t \eta_t$	۴۸	۴۰/۲۵	۴۴	۰/۶۴
	$\eta_t \eta_t$	۴۳	۳۳/۴۳	۳۷	۰/۶۸
سدوشمگیر	$x_t \eta_t$	۳۵	۳۰/۹۴	۳۳	۰/۷۱
	$\eta_t \eta_t$	۴۸	۳۲/۸۱	۴۴	۰/۸۴
ارازکوسه	$x_t \eta_t$	۴۵	۳۱/۶۵	۴۴	۰/۹۲
	$\eta_t \eta_t$	۴۶	۳۲/۴۷	۴۵	۰/۸۰
حاجی قوشان	$x_t \eta_t$	۴۷	۳۹/۲۵	۴۵	۰/۷۱
	$\eta_t \eta_t$	۳۶	۲۲/۲۳	۳۲	۰/۹
دوغ‌ورودی	$x_t \eta_t$	۴۸	۳۱/۰۷	۴۶	۰/۹۱
	$\eta_t \eta_t$	۴۲	۳۱/۳۴	۳۸	۰/۸
تمر	$x_t \eta_t$	۳۵	۲۸/۱۰	۳۳	۰/۷۱
	$\eta_t \eta_t$	۳۶	۲۳/۱۰	۳۶	۰/۶۹

نتایج آزمون‌های انجام شده بر سری داده‌ها که در جدول ۳ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه ارایه شده است نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها مدل مناسب می‌باشد. مقدار معنی‌داری برای همه ایستگاه قابل قبول بوده و فرضیات بیان شده برای برازش مدل مناسب تابع انتقال را تأیید می‌نماید. مدل برازش داده شده بر روی داده‌های ایستگاه بصیرآباد با داشتن مقدار معنی‌داری بیش‌تر (نزدیک‌تر به ۱)، نسبت به مدل برازش داده شده در ایستگاه‌های دیگر بهتر می‌باشد (جدول ۳).

**نتایج پیش‌بینی و اعتبارسنجی مدل:** پس از برازش مدل تابع انتقال و ایجاد رابطه میان لگاریتم رسوب معلق بر حسب دبی جریان، در این مرحله با استفاده از این مدل‌ها اقدام به پیش‌بینی لگاریتم رسوب در ۱۲ ماه آینده گردید.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۳) ۱۳۹۳

جدول ۴- مقایسه داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	بصیرآباد					سد وشمگیر					
	زمان	۱	۲	۳	۱-۲	۱-۳	۱	۲	۳	۱-۲	۱-۳
۳۰۱	۵/۳۵	۵/۹۶	۴/۷۲	-۰/۶۳	۰/۵۵	۹/۱	۸/۹۵	۹/۸	۰/۱۵	-۰/۶۹	
۳۰۲	۳/۱۲	۳/۳۲	۵/۱۷	-۰/۲	-۲/۰۵	۷/۰۸	۷/۱۶	۸/۴۵	-۰/۰۸	-۱/۳۶	
۳۰۳	۶/۲۵	۵/۹۸	۹/۰۹	۰/۲۶	-۲/۸۵	۷/۲۳	۶/۹۸	۸/۲۲	۰/۲۵	-۰/۹۸	
۳۰۴	۵/۸۵	۵/۴۹	۸/۷۹	۰/۳۶	-۲/۹۴	۴/۴۴	۴/۵۵	۵/۶۴	-۰/۱۰۸	-۱/۲	
۳۰۵	۴/۶	۴/۲	۷/۷۵	۰/۳۹	-۳/۱۵	۶/۱۳	۵/۹۷	۷/۰۳	۰/۱۶	-۰/۸۹	
۳۰۶	۵/۳۸	۵/۴۹	۷/۹۶	-۰/۱۱	-۲/۵	۶/۰۶	۶/۱۶	۶/۹۴	-۰/۱۰۵	-۰/۸۸	
۳۰۷	۱۲/۹۶	۱۳/۰۴	۱۰/۰۸	-۰/۰۷	۲/۸۷	۵/۶۷	۵/۵۶	۵/۲۹	۰/۱۰۹	۰/۳۷	
۳۰۸	۹/۲۴	۹/۲۵	۸/۳۴	-۰/۰۳	۰/۸۹	۷/۴۸	۷/۵۸	۶/۴۹	-۰/۱۰۱	۰/۹۹	
۳۰۹	۱۰/۶۴	۹/۹۹	۹/۴۸	۰/۶۴	۱/۱۵	۷/۵۷	۷/۷	۷/۳۶	-۰/۱۲	۰/۲۱	
۳۱۰	۴/۷۵	۴/۶۷	۷/۵۸	۰/۰۷	-۱/۸۳	۷/۶	۷/۷۷	۷	-۰/۱۶	۰/۵۹	
۳۱۱	۵/۵۲	۵/۵۲	۷/۲۵	۰/۳	۱/۶۵	۲/۰۷	۲/۲۱	۴/۰۵	-۰/۱۴	-۱/۹۷	
۳۱۲	۶/۶۹	۶/۶۹	۷/۹۲	-۰/۱۳	-۱/۲۲	۳/۷۱	۳/۹۳	۴/۴۴	-۰/۱۱	-۰/۷۳	
E				۰/۹۲	۰/۳۶				۰/۹۷	۰/۶	
Bias				۰/۸۷	-۹/۴۸				-۰/۲۵	-۳/۵۴	

۱: مقادیر مشاهداتی بار رسوب معلق، ۲: مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال و ۳: مقادیر پیش‌بینی شده توسط منحنی سنج رسوب می‌باشد. همه مقادیر در مقیاس لگاریتمی هستند.

نتایج پیش‌بینی از مدل تابع انتقال، مقادیر واقعی ثبت شده و نتایج ارزیابی مدل تابع انتقال از نظر پیش‌بینی در دو ایستگاه بصیرآباد و سد وشمگیر که به ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار معناداری هستند در جدول ۴ ارائه گردیده است. همچنین به منظور مقایسه با منحنی سنج، مقادیر لگاریتم رسوب پیش‌بینی شده براساس منحنی سنج رسوب و نتایج ارزیابی این مدل از نظر پیش‌بینی نیز در جدول ۴ ارائه گردیده است.

در ادامه نتایج ارزیابی ایستگاه‌های دیگر نیز به همراه دو ایستگاه بصیرآباد و سد وشمگیر به منظور مقایسه بهتر نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر ارزیابی مدل‌ها با استفاده از معیارهای ناش سانکلیف و اریبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	ناش سانکلیف (E)		اریبی (Bias)	
	تابع انتقال	منحنی سنجه	تابع انتقال	منحنی سنجه
بصیرآباد	۰/۹۲	۰/۳۶	۰/۸۷	-۹/۴۸
یاغہ سالیان	۰/۸۷	۰/۵۸	۱/۶	-۱۱/۶۹
سد وشمگیر	۰/۹۷	۰/۶	-۰/۲۵	-۳/۵۴
ارازکوسه	۰/۸۵	۰/۴۵	۱/۴۳	-۲۱/۳۲
حاجی قوشان	۰/۹۸	۰/۷۶	۱/۰۴	۶/۳۷
دوغ‌ورودی	۰/۸۴	۰/۴۶	-۰/۵	۱۱/۴
تمر	۰/۹۳	۰/۵۳	۰/۲۱	۷/۳۵

نتایج ارایه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که مقادیر رسوب معلق پیش‌بینی شده توسط مدل تابع انتقال دارای دقت بالا و نزدیک به مقادیر اصلی می‌باشد. در این مطالعه مقدار ضریب ناش سانکلیف بالای ۰/۹ به دست آمده که نشان‌دهنده اعتبار بالای مدل می‌باشد در صورتی که برای مدل رگرسیونی سنجه رسوب این عدد به مقدار قابل توجهی کم‌تر از مدل تابع انتقال است. اریبی در مفهوم انحراف مقادیر پیش‌بینی شده را نسبت به مقادیر واقعی نشان می‌دهد. نتایج پیش‌بینی توسط مدل رگرسیونی نشان می‌دهد که به مقدار زیادی کم برآوردی وجود دارد که نامناسب بودن مدل را نشان می‌دهد. مقدار اریبی مدل تابع انتقال نسبت به مدل سنجه رسوب به صفر نزدیک‌تر است، که اعتبار بالاتر این مدل در پیش‌بینی رسوب معلق را نشان می‌دهد که با نتایج ملسه و همکاران (۲۰۱۱) و فتح‌آبادی و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. همچنین نتایج ارزیابی در سایر ایستگاه‌ها نیز تأییدکننده این حقیقت است که مدل تابع انتقال دقت بالاتری در پیش‌بینی دارد. از آنجایی که در مطالعات داخلی و خارجی تاکنون مدل تابع انتقال برای پیش‌بینی رسوب معلق استفاده نگردیده است، مرجعی برای تطابق با مطالعات گذشته وجود ندارد ولی در موارد مشابه مشکانی و مشکانی (۱۹۹۶) این مدل را برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب دریای خزر، جهانبخش و همکاران (۲۰۰۶) برای پیش‌بینی روند نوسانات اقلیمی، لیو و همکاران (۲۰۱۰) برای پیش‌بینی دبی جریان با استفاده از سری ورودی بارش، زو و همکاران (۲۰۱۰) در پیش‌بینی شوری و محتوای رطوبتی خاک و صیاف‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) برای پیش‌بینی تزریق آب به مخزن‌های هیدروکربنی به کار بردند و به نتیجه قابل قبولی در رابطه با دقت بالای مدل تابع انتقال در پیش‌بینی، دست یافتند که با نتایج به دست آمده در این مطالعه مطابقت دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

آگاهی از بار رسوب معلق برای مدیریت آب و حفاظت محیط زیست ضروری است. ماهیت متغیر و پیچیده بار رسوب رودخانه‌ها باعث شده است که برآورد میزان رسوب معلق با مشکل روبرو شود. در این راستا این پژوهش برای بررسی تغییرات زمانی رسوب معلق در ۲ ایستگاه رودخانه گرگانرود با استفاده از مدل تابع انتقال و سنجه رسوب صورت گرفت. مدل تابع انتقال، رسوب معلق را بر حسب مقادیر زمان حال و گذشته دبی و همچنین زمان‌های گذشته رسوب معلق پیش‌بینی می‌کند که این ویژگی از نقاط قوت مدل تابع انتقال محسوب و باعث افزایش دقت در پیش‌بینی مقادیر رسوب معلق نسبت به منحنی سنجه رسوب می‌گردد. چندجمله‌های معرفی شده با عملگرهای متشکل از پارامترهای  $S$  و  $T$  موجب می‌شود که تابع انتقال برای پیش‌بینی رسوب معلق از اطلاعات گذشته مربوط به سری و ورودی و خروجی مدل نیز استفاده کند. به عبارتی این چندجمله‌ای‌ها نقش اصلاح‌کننده منحنی سنجه رسوب را دارد. در نهایت ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای مختلف ارزیابی نشان از دقت بالای مدل در پیش‌بینی رسوب معلق نسبت به مدل رگرسیونی سنجه رسوب داشت به طوری که ضریب کارایی برای مدل تابع انتقال در ایستگاه‌های حاجی‌قوشان و سد وشمگیر به ترتیب ۹۸ و ۹۷ درصد به دست آمد که در مقایسه با ضریب کارایی ۷۶ و ۳۲ درصدی منحنی سنجه رسوب در پیش‌بینی رسوب معلق این ایستگاه‌ها مقدار قابل توجهی است. همچنین مقدار ارزیابی نزدیک به صفر برای مدل تابع انتقال نیز نشان از دقت بالای این مدل دارد.

در این پژوهش میزان رسوب تنها بر حسب دبی جریان مورد مطالعه قرار گرفت. در واقع مدل تابع انتقال برای اصلاح منحنی سنجه رسوب که در ساختار خود نقش زمان را در نظر نمی‌گیرد مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعات دیگر با استفاده از مدل تابع انتقال می‌توان نقش عوامل دیگر علاوه بر دبی جریان را در تغییرپذیری رسوب معلق مورد ارزیابی قرار داد و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را برای رسوب معلق ارائه داد.

## منابع

1. Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. J. Hydrol. 234: 4. 228-248.
2. Bowerman, B.L., and O'Connell, R. 1993. Forecasting and Time Series: An Applied Approach, third edition. Amazon Publication. 722p.



- 3.Box, G.E.B., Jenkins, G.M., and Reinsel, G.C. 1994. Time Seris Analysis Forecasting and Control, third edition. Prentic-Hall International. INC, England. 598p.
- 4.El-Shafie, A., RedaTaha, M., and Noureldin, A. 2007. A neuro-fuzzy model for inflow forecast-ing of the Nile river at Aswan high dam. *Water Resource Management*. 21: 533-556.
- 5.Fathabadi, A., Salajegheh, A., and Mahdavi, M. 2008. River flow forecasting using time series models and Artificial Neural Network methods. *Watershed Management Science and Engineering*. 2: 5. 21-30. (In Persian)
- 6.Horowitz, A.J. 2008. Determining annual suspended sediment and sediment-associated trace element and nutrient fluxes. *Science of the Total Environment*. 400: 315-43.
- 7.Jahanbakhsh Asl, S., Sari Saraf, B., and Fakheri Fard, A., Mir Mousavi, S.H. 2006. Application of Models of Linear Transfer Functions for Examination of Climate Factors Fluctuation Case Study: Tabriz Station. *Esfahan Univ. J. Res*. 20: 1. 75-92.
- 8.Liu, J.M., Chen, R., and Yaob, Q. 2010. Nonparametric transfer function models. *J. Econ*. 157: 151-164.
- 9.Melesse, A.M., Ahmad, S., McClaina, M.E., Wang, X., and Limd, Y.H. 2011. Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. *Agricultural Water Management*. 98: 855-866.
- 10.Meshkani, M.R., and Meshkani, A. 1997. Stochastic modeling of the Caspian sea level fluctuations. *Theoretical and Applied Climatology*. 58: 189-195.
- 11.Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I, A discussion of principles. *J. Hydrol*. 10: 3. 282-290.
- 12.Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Rangan, D.M., and Ramasastri, K.S. 2004. A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series. *J. Hydrol*. 291: 52-66.
- 13.Sayyafzadeh, M., Pourafshary, P., Haghghi, M., and Rashidi, F. 2011. Application of transfer functions to model water injection in hydrocarbon reservoir. *J. Petrol. Sci. Engin*. 78: 139-148.
- 14.Steegen, A., Govers, G., Nachtergaele, J., Takken, I., Beuselinck, L., and Poesen, J. 2000. Sediment export by water from an agricultural catchment in the loam belt of Belgium. *Geomorphology*. 33: 25-36.
- 15.Zou, P., Yang, J., Fu, J., Liu, G., and Li, D. 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. *Agricultural Water Management*. 97: 2009-2019.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(3), 2014*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Forecasting suspended sediment discharge by using time series transfer function model in selected stations of Gorganrood, Golestan Province**

**\*S. Khazaei Moughani<sup>1</sup>, A. Najafinejad<sup>2</sup>, M. Azimmohseni<sup>3</sup>  
and V.B. Sheikh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Statistics Science, Golestan University  
Received: 01/15/2013; Accepted: 02/14/2014

### **Abstract**

Since information about temporal variation of suspended sediment establishes a basis for watershed and river management, it is crucial to utilize a method for modeling and forecasting suspended sediment that takes all influential factors into account. In this research, the transfer function model is used to study temporal variation of suspended sediment on seven selected stations in Gorganrood river. In order to evaluate the performance of the model in forecasting suspended sediment compared to the sediment rating curve, only flow discharge is considered as a highly effective factor in variation of suspended sediment. Although this comparison reveals that these two variables are mainly related at the same time but to develop into a more precise and accurate set of forecasts, the values of suspended sediment and flow discharge at past time should be taken in the model. Based on the validation criteria, the transfer function model was accurately fitted in both stations. Finally, comparing two models from forecasting point of view revealed that the transfer function model with model efficiency 98 and 97 for Hajighoshan and Voshmgir stations, respectively and with the bias less than 1 for both stations presents more accurate and precise forecasts compared to sediment rating curve.

**Keywords:** Transfer function model, Sediment rating curve, Temporal variations, Suspended sediment, Gorganrood

---

\* Corresponding Author; Email: [solmaz\\_khazaei@yahoo.com](mailto:solmaz_khazaei@yahoo.com)