

برآورد عدم قطعیت منحنی سنجه رسوب با استفاده از دو روش گلو و خودگردان‌ساز

ابوالحسن فتح آبادی^{۱*} - حامد روحانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۸

چکیده

به منظور مدیریت حوضه جهت کاهش اثرات فرسایش خاک نیاز است تا میزان رسوب معلق خروجی حوضه برآورد گردد. بدین منظور روش منحنی سنجه متداول‌ترین روش آماری برای برآورد رسوب معلق در زمانی که داده‌های رسوب معلق برداشت نشده است می‌باشد. با توجه به خطاهای داده‌های برداشتی و محدود بودن این داده‌ها مقدار رسوب برآوردی با استفاده از روش منحنی سنجه دارای عدم قطعیت‌هایی است. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از روش‌های گلو و خودگردان‌ساز اقدام به برآورد عدم قطعیت روش منحنی سنجه در چهار ایستگاه حوضه قزل اوزن گردید. در ایستگاه موتورخانه و میانه طول شماره ۷ تابع سیگموئید در ایستگاه استور تابع چند جمله‌ای مرتبه دوم و در ایستگاه گلینک تابع خطی بهترین برازش را به داده‌های مشاهداتی داشتند. نتایج برآورد عدم قطعیت نشان داد که دامنه عدم قطعیت حاصل از روش خودگردان‌ساز نسبت به روش گلو بزرگتر بود و تعداد بیشتری داده‌های مشاهداتی را در بر گرفت. همچنین میزان عدم قطعیت برآورد رسوب با استفاده از روش منحنی سنجه تابعی از تراکم داده‌های برداشتی و نوع تابع مورد استفاده بود. نتایج آنالیز حساسیت روش گلو نشان داد با کاهش مقدار آستانه دامنه عدم قطعیت بیشتر می‌شود اما همچنان دامنه عدم قطعیت بدست آمده کمتر از دامنه عدم قطعیت بدست آمده با استفاده از روش خودگردان‌ساز بود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، بار معلق، تابع چندجمله‌ای، تابع سیگموئید، دبی رودخانه

مقدمه

غلظت رسوب به علت هزینه بالا، کمبود نیروی انسانی مشکل می‌باشد. لذا، برای برآورد مقدار رسوب در سایر زمان‌ها از روش‌های مدل‌سازی و روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی استفاده می‌گردد. روش‌های مدل‌سازی معمولاً نیاز به داده‌های زیادی دارند که در اغلب حوضه‌ها این داده‌ها در دسترس نمی‌باشند (۵ و ۲۸). از روش‌های درون‌یابی و برون‌یابی نیز می‌توان به روش‌های هوش مصنوعی مثل شبکه عصبی (۵، ۶ و ۲۱)، منطق فازی (۱۹ و ۲۲)، نوروفازی (۶ و ۲۰) و روش منحنی سنجه رسوب (۶، ۷، ۸ و ۱۵) اشاره کرد. پژوهش‌های انجام شده در خصوص برآورد رسوب به روش‌های مختلف حاکی از آن است که اکثر آمار رسوب ثبت شده با استفاده از انواع ابزار اندازه‌گیری و با به کارگیری روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل داده‌ها نمی‌تواند عاری از خطا باشد. وقتی دبی غلظت رسوب قابل دسترس است ولی منبع رسوب مشخص نیست، متداول‌ترین روش برای برآورد رسوب معلق، روش منحنی سنجه رسوب می‌باشد (۹). در این روش بین مقادیر لگاریتم دبی و لگاریتم غلظت رسوب یک رابطه‌ای برازش داده می‌شود که در اغلب تحقیقات این رابطه بصورت خطی (۶، ۷، ۸ و ۱۵) است. در حالی که در برخی رودخانه‌ها پراکنش نقاط لگاریتم دبی و لگاریتم غلظت رسوب خطی نبوده و پراکنش آنها بصورت محدب و معقر می‌باشد (۹). بدین منظور جهت

در اثر برخورد قطرات باران و جریان روان آب در سطح خاک حجم زیادی از رسوبات بخصوص رسوبات ریزدانه که حاوی مواد ارگانیک بالایی هستند در نتیجه فرآیند فرسایش از حوضه خارج می‌شوند در نتیجه حمل این رسوبات بسیاری از آلاینده‌ها کشاورزی و شهری توسط جریان حمل و از حوضه خارج می‌شوند (۲۹). لذا با توجه به اثرات پتانسیل متعدد مرتبط به رسوب، برای حفاظت و مدیریت حوضه آبخیز نیازمند است تا میزان رسوب معلق خروجی از حوضه برآورد گردد. تعداد کم نمونه‌ها (بخصوص در زمان‌های سیلابی) و مناسب نبودن روش‌های نمونه‌گیری باعث شده است تا برآورد رسوب دهی همواره با شک و تردید همراه بوده و گاهی کارشناسان برآوردهای بسیار متفاوتی از رسوبدهی یک رودخانه داشته باشند.

از آنجائی که نمونه‌برداری‌های غلظت رسوب در ایران با نمونه بردارهای دستی انجام می‌شود، جمع‌آوری چنین آماری برای

۱ و ۲- استادیاران گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
* نویسنده مسئول: (Email: fathbabadi@ut.ac.ir)

پارامترها می باشند (۲۵). در حالی که دو روش گلو^۳ و خودگردان ساز به این پارامترها حساس نبوده و همچنین ساختار مفهومی ساده‌تری نسبت به روش گلو دارند.

از آنجا که مطالعات همواره بر این نکته تأکید کرده‌اند که برآورد رسوب به روش‌های مختلف با عدم قطعیت همراه است (۲۸ و ۳۰)، اهمیت بررسی عدم قطعیت در میزان بار برآوردی در روش منحنی سنجه واضح است. لذا در این تحقیق در ابتدا بهترین رابطه برای برآورد میزان غلظت با استفاده از دبی هم زمان تعیین و در گام بعدی عدم قطعیت منحنی سنجه رسوب با استفاده از دو روش خودگردان ساز و روش گلو برآورد گردید. در نهایت عملکرد دو روش در برآورد عدم قطعیت روش منحنی سنجه رسوب ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه سفید رود از به هم پیوستن دو شاخه اصلی قزل‌اوزن و شاهرود و با زهکش گسترده‌ای به مساحت حدود ۵/۶ میلیون هکتار از محل سد سفید رود شکل گرفته است. جریان آبدی سالیانه آن با احتساب مواد معلق موجود در آن حدود ۴/۵ میلیارد متر مکعب می باشد. طول رودخانه سفید رود از شاخه بزرگ آن (قزل‌اوزن) حدود ۸۰۰ کیلومتر است که از کوه‌های قروه در کردستان سرچشمه می‌گیرد. رودخانه شاهرود نیز از بخش مرکزی البرز از طالقان و الموت منشأ می‌گیرد. حدود ۲۷ درصد مساحت حوزه‌ی آبریز سفیدرود را آبرفت و دشت تشکیل می‌دهد و از نظر زمین شناسی، به دلیل گستردگی بالا، انواع سازندهای زمین شناسی را دارد و از نظر فرسایش خاک یکی از حوزه‌های با فرسایش بالا معرفی شده است (۲). در این پژوهش داده‌های روزانه دبی جریان و غلظت رسوب چهار ایستگاه هیدرومتری حوضه سفید رود با آمار مناسب و طولانی مدت استفاده شد. ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ایستگاه موتورخانه واقع بر رودخانه آیدغموش، ایستگاه میانه تونل شمار ۷ واقع بر رودخانه قرنقو، ایستگاه استور واقع بر رودخانه قزل‌اوزن و ایستگاه گلینک واقع در رودخانه شاهرود می‌باشند. در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تمام آمار موجود از ابتدای تاسیس مورد استفاده قرار گرفتند.

پس از بررسی و حذف داده‌های پرت، داده‌ها به دو دسته آموزش شامل ۸۰ درصد داده‌ها و تست شامل ۲۰ درصد داده‌ها تفکیک شدند. تقسیم‌بندی بصورت تصادفی با استفاده از مقادیر تصادفی تولید شده توسط مربع لاتین (در این حالت داده‌های تست بصورت یکنواخت از بین تمام داده‌های موجود انتخاب می‌شوند) انجام گرفت. با توجه به داده‌های دبی جریان و دبی رسوب متناظر با آن، هر دو سری داده به

مدل‌سازی این مسئله روابط دیگر مانند توابع چند جمله‌ای درجه دو و سه (۱۵) تابع سیگموئید (۲۸) رگرسیون محلی وزن دار (۱۴ و ۳۰) نیز به این داده‌ها برازش داده‌اند. زمانی که بار رسوبی رودخانه توسط غلظت‌های بدست آمده از دبی در مقیاس لگاریتمی برآورد می‌شوند مقدار بار برآوردی کمتر از مقادیر مشاهده‌ای است، و به نوعی برآوردهای منحنی سنجه اریب می‌باشند؛ بدین منظور ضرایب اصلاحی MVUE (۴) فائو (۱۸) CFI (۱۳) و CF2 (۳۱) جهت اصلاح منحنی سنجه ارائه شده است که هر یک از روش‌ها ضریب اصلاحی متفاوتی ارائه می‌دهند و استفاده از این روش‌ها برای روابط غیر خطی خود مسئله آمیز است (۱۲ و ۲۳).

خطای ناشی از اندازه‌گیری داده رسوب در عرصه و آزمایشگاه، دینامیک و تغییرات مکانی فرسایش و رسوب (از قبیل تاثیر پس ماند، تغییرات مکانی بارش و رطوبت پیشین) و عدم ایستایی (به عنوان مثال تغییرات زمانی) پاسخ حوضه باعث پیچیدگی رابطه دبی و رسوب شده است (۲۷). در نتیجه آن، پیچیدگی‌های فرآیندهای هیدرولوژیکی موثر بر میزان بار رسوبی با داده‌های کم قابل مدل‌سازی نمی‌باشند. بطوری که اغلب پراکنش نقاط در نمودار مقادیر دبی و رسوب، بالا می‌باشد و باعث ایجاد عدم قطعیت در نتایج بدست آمده از روش منحنی سنجه می‌شود (۱۶). همچنین معادله برازش داده شده در روش منحنی سنجه و نحوه پراکنش باقی مانده‌ها باعث بوجود آمدن نوعی عدم قطعیت می‌شود (۲۸). با توجه به اهمیت عدم قطعیت در نتایج بدست آمده از روش منحنی سنجه در بعضی تحقیقات برآورد عدم قطعیت این روش مورد مطالعه قرار گرفته است. تاراس-واهلبرگ و لان (۳۰) با استفاده از روش مونت کارلو عدم قطعیت ناشی از پراکنش باقی مانده‌ها را در منحنی سنجه برآورد کردند. رستمجی و ویلکینسون (۲۸) عدم قطعیت منحنی سنجه را با استفاده از روش خودگردان ساز^۲ ۱۱ ایستگاه استرالیا برآورد کردند. نتایج نشان دهنده عدم قطعیت بالا برای دبی‌های بالا بود. ویجیاک و بندمیکل (۳۲) کارایی روش بیزی در مقایسه با روش خودگردان‌ساز در برآورد عدم قطعیت منحنی سنجه هشت پارامتره را در تخمین پارامترهای کیفی در رودخانه داک استرالیا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد در روش خودگردان‌ساز در ۵۰-۶۵ موارد مقادیر مشاهداتی در محدوده اطمینان بدست آمده بوده و در روش بیزی برای داده‌های روزانه ۷۴ تا ۸۵ و برای داده‌های ماهانه در ۸۰ درصد موارد در محدوده اطمینان بدست آمده قرار گرفته‌اند. از مشکلات روش بیزی پیدا کردن مدلی مناسب که به داده‌ها برازش مناسبی داشته و همچنین مقادیر توزیع‌های پیشین مناسب برای هر یک از

1- Hysteresis effects

2- Bootstrap

3- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation

ارائه می‌دهند) و غیررفتاری^۳ تقسیم می‌شوند.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{C}_i - C_i)^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (6)$$

که در این رابطه C_i ، لگاریتم غلظت رسوب اندازه‌گیری شده بر حسب گرم در لیتر \hat{C}_i ، لگاریتم غلظت رسوب محاسبه شده، \bar{C} لگاریتم میانگین غلظت رسوب اندازه‌گیری شده و n ، تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- برای هر خروجی مجموعه پارامتر رفتاری یک وزن احتمالاتی با استفاده از رابطه (۷) تعیین می‌گردد.

$$w_i = \frac{L(n_i)}{\sum_{k=1}^N L(n_k)} \quad (7)$$

که در این رابطه، N تعداد مجموعه پارامترهای رفتاری و $L(n_i)$ تابع احتمال برای پارامتر i است.

۴- در نهایت برای بدست آوردن دامنه عدم قطعیت مقادیر غلظت برای هر دبی، خروجی هر مجموعه از پارامترهای رفتاری متناسب با وزن بدست آمده از گام قبلی وزن‌دار، مقادیر توزیع تجمعی محاسبه و در نهایت مقادیر صدک های ۰/۹۷۵ و ۰/۰۲۵ به عنوان فاصله عدم قطعیت ۹۵ درصدی انتخاب گردیدند.

با توجه به اینکه هر کدام از شبیه سازی‌های رفتاری با اجرای مدل بر اساس ترکیب معینی از مقدار پارامترها حاصل آمده است، لذا برای هر کدام از پارامترها به تعداد شبیه‌سازی‌های رفتاری مجموعه‌ای از مقادیر حاصل می‌آید که در صورتی که توزیع فراوانی این مقادیر برای هر کدام از پارامترها ترسیم گردد، به توزیع فراوانی حاصله توزیع پسین گفته می‌شود. هر چه تفاوت توزیع پسین یک پارامتر از توزیع پیشین آن بیشتر باشد، حساسیت مدل نسبت به تغییرات آن پارامتر بالاتر است. تحلیل عدم قطعیت مدل نیز با در نظر گرفتن همه شبیه‌سازی‌های رفتاری با هم و استخراج کران‌های ۲/۵٪ و ۹۷/۵٪ خطای آنها به عنوان کران‌های پایین و بالای عدم قطعیت شبیه سازی‌ها انجام شد.

روش خودگردان ساز^۴

به منظور برآورد عدم قطعیت مقادیر پارامترها و خروجی‌های مدل های رگرسیون توسط خودگردان ساز دو رویکرد وجود دارد. در رویکرد اول که به روش خودگردان ساز باقیمانده‌ها^۵ شناخته شده برای هر

صفحه مختصات لگاریتمی منتقل شده و روابط مختلف شامل مدل خطی (رابطه ۱) (منحنی سنجه رسوب) چند جمله‌ای درجه یک و درجه دو (روابط ۲ و ۳) و تابع سیگموئید (رابطه ۴) برازش شدند.

$$Ln(C) = b_1 + b_2 \times (\ln(Q)) \quad (1)$$

$$Ln(C) = b_1 + b_2 \times (\ln(Q)) + b_3 \times (\ln(Q))^2 \quad (2)$$

$$Ln(C) = b_1 + b_2 \times (\ln(Q)) + b_3 \times (\ln(Q))^2 + b_4 \times (\ln(Q))^3 \quad (3)$$

$$\ln(C) = b_1 + \left[\frac{b_2}{1 + \exp(b_3 \times (\ln(C) + b_4))} \right] \quad (4)$$

در این روابط Q مقادیر دبی، c مقدار غلظت رسوب متناظر و ضرایب b مقادیر پارامترهای هر یک از روابط می‌باشند. پس از تخمین پارامترهای هر مدل مقادیر غلظت رسوب برای داده‌های تست برآورد گردید. سپس به منظور انتخاب مدل مناسب، از مجموعه مربعات خطا^۱ (RMSE) (رابطه ۵) و ضریب همبستگی (R)، استفاده شد. پس از انتخاب بهترین مدل عدم قطعیت آنها با استفاده از دو روش گلو و خودگردان ساز برآورد گردیدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{obs} - C_{obs})^2}{n}} \quad (5)$$

که در این روابط C_{obs} ، لگاریتم غلظت رسوب اندازه‌گیری شده بر حسب گرم در لیتر C_{sim} ، لگاریتم غلظت رسوب محاسبه شده، \bar{C}_{sim} لگاریتم میانگین غلظت رسوب اندازه‌گیری شده و n ، تعداد داده‌ها می‌باشد.

روش گلو (GLUE)

این روش بر پایه انجام نمونه‌گیری تصادفی به روش مونت کارلو در فضای پارامترها است و بر اساس فرض هم ارزی بودن جواب‌ها پایه‌گذاری شده است در این حالت به جای داشتن یک جواب بهینه، تعداد زیادی جواب بهینه وجود دارند که قادرند تمام محدودیت‌ها را برآورد کنند (۳). در روش گلو مراحل کار به شرح زیر است: در ابتدا برای هر یک از پارامترها، با توجه به حدود پارامترها (که حدود پارامترها با استفاده از شبیه‌سازی اولیه و تعیین تقریبی پارامترها تعیین گردیدند) و یک توزیع پیشین که معمولاً توزیع یکنواخت است به تعداد زیاد (تعداد ۱۰۰۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ تکرار) اقدام به نمونه‌برداری مجموعه پارامترها می‌شود.

۲- پس از اجرا کردن مدل مقدار ضریب کارایی (رابطه ۷) هر مجموعه پارامترها محاسبه و سپس با استفاده از آستانه تعریف شده (که در این تحقیق به منظور تعیین حساسیت نتایج به آستانه انتخابی، مقادیر آستانه ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شدند) و با توجه به تابع احتمال به دست آمده (رابطه ۶) برای هر اجرا، مجموعه پارامترها به پارامترهای رفتاری^۲ (پارامترهایی که جواب قابل قبولی

3- Non-behavioral
4- Bootstrapping
5- Bootstrapping the residuals

1- Root mean of Square Error
2- Behavioral

$C_{0,i}$ غلظت مشاهداتی برای هر مجموعه داده‌های می‌باشند.

نتایج و بحث

پس از لگاریتم گیری از داده‌های دبی و رسوب مدل‌های مختلف به آنها برازش داده شدند که نتایج مدل‌های مختلف برای داده‌های تست به صورت جدول (۱) می‌باشند. به منظور انتخاب بهترین مدل از شاخص‌های آماری RMSE و R استفاده شد، که با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود در ایستگاه گلینک تابع خطی، در ایستگاه استور تابع چند جمله‌ای مرتبه دوم و در ایستگاه‌های میانه تونل شماره ۷ و ایستگاه موتورخانه تابع سیگموئید کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار ضریب همبستگی را داشتند. این در حالی است که در اغلب تحقیقاتی داخلی مانند محمدی و همکاران (۲۶) که در رابطه با منحنی سنجه صورت گرفته تابع خطی به داده‌های برازش داده اند. در تحقیقات اسلمن (۱)، دمیسی و همکاران (۱۰) و کرودر و همکاران (۹) نیز استفاده از توابع غیر خطی باعث بهبود تخمین رسوب گردید.

پس از تعیین بهترین تابع برای هر ایستگاه در گام بعدی با استفاده از دو رویکرد خودگردان ساز و گلو عدم قطعیت روش منحنی سنجه برآورد گردید. برای روش خودگردان ساز تعداد تکرارها برای برابر با ۳۰۰۰ قرار داده شد. در شکل (۲) مقادیر ۵۰ شبیه‌سازی اول منحنی سنجه‌های رسوب با روش خودگردان ساز بدست آمده همراه با مقادیر داده‌های تست مشاهداتی آورده شده است. با توجه به شکل (۱) ملاحظه می‌شود در قسمت‌هایی که تراکم نقاط نمونه‌برداری شده بیشتر هستند منحنی سنجه‌های رسم شده نیز نزدیک‌تر بوده و به نوعی عدم قطعیت آنها پایین‌تر می‌باشد (در این حالت پارامترهای مدل‌ها به خوبی برآورده شده‌اند). این در حالی است که در قسمت‌هایی که تراکم نقاط نمونه‌برداری شده پایین است پراکنش منحنی سنجه‌ها بیشتر و به نوعی عدم قطعیت بیشتر می‌باشد. بطور نمونه در ایستگاه استور که تابع چند جمله‌ای درجه دو برازش داده شد، در دبی‌های پایین این مسئله به خوبی نمایان است. در ایستگاه‌های موتورخانه و میانه تونل شماره ۷ که تابع سیگموئید به آنها برازش داده شده است این مسئله هم برای داده‌های دبی بالا و هم داده دبی پایین به خوبی نمایان است. که در نتیجه آن در تمام ایستگاه در دبی‌های بالا و پایین یک نوع بیش و کم برآوردی از غلظت رسوب مشاهده شد در این حالت در شبیه‌سازی داده تست با استفاده از روش خودگردان ساز با در نظر گرفتن ترم خطای تصادفی که به مقادیر برازش داده شده اضافه می‌شد مقادیر

غلظت رسوب معلق بدست می‌آید که در واقعیت غیر ممکن بود. در تحقیق رستمجی و ویلکینسون (۲۸) نیز مشاهده کردند در حالتی که به داده دبی و رسوب منحنی سیگموئید برازش داده شود پراکنش منحنی سنجه‌های شبیه‌سازی شده در دبی بالا زیاد بوده و برخی از

متغیر مستقل یک متغیر وابسته جدید با قرار دادن متغیر مستقل در مدل و جمع آن با یک مقدار باقیمانده که به صورت تصادفی از مقادیر باقی مانده قبلی نمونه‌برداری شده است، بدست می‌آید. در رویکرد دوم به صورت تصادفی همراه با جایگذاری مقادیر متغیر مستقل و وابسته متناظر آن به تعداد زیاد نمونه‌برداری می‌شوند و بدین صورت مجموعه متغیرهای مستقل و وابسته به تعداد زیاد تولید می‌گردد. رویکرد اول بر اساس این فرض که توزیع باقیمانده‌ها بستگی به مقدار متغیر مستقل ندارد بنا گذاشته شده است. این فرض یک فرض قوی است بطوری که ممکن است حتی در حالتی که مدل رگرسیون صحیح باشد این فرض برآورده نگردد (۱۱). بنابراین در این تحقیق از رویکرد دوم استفاده گردید. مراحل کار برای روش خودگردان ساز به صورت زیر می‌باشد:

۱- چنانچه تعداد داده‌های دبی و رسوب برای یک ایستگاه برابر با n باشد از مجموعه این داده‌های دبی و رسوب متناظر آن به صورت تصادفی همراه با جایگزاری n داده برداشت می‌گردد. این عمل به تعداد زیاد به عنوان مثال B بار تکرار می‌گردد.
در این گام معادله مربوطه (منحنی سنجه) به هر یک از مجموعه داده n تایی برازش داده می‌شود و بدین صورت B (در این تحقیق مقدار B برابر با ۳۰۰۰ گرفته شد) مجموعه پارامترها بدست می‌آیند.
۲- در این گام برای مجموعه داده‌های تست برای هر دبی با استفاده از رابطه (۸) مقدار غلظت رسوب با استفاده از B مجموعه پارامترهای بدست آمده در گام قبلی برآورد گردید.

$$C_j = f(Q_j) + e \quad (8)$$

در این رابطه C_j مقدار غلظت رسوب، Q_j دبی مشاهداتی، f تابع برازش داده شده و e مقدار خطای می‌باشد که بصورت تصادفی همراه با جایگزاری از خطاهای مرحله دوم بدست آمده است.
۳- در این گام با استفاده از مقادیر بدست آمده در مرحله سوم حدود اطمینان ۹۵ درصدی (صدک های ۰/۰۲۵ و ۰/۹۷۵ درصدی) برای مقادیر غلظت رسوب بدست می‌آید.

برای اجرای دو روش برنامه آن در محیط مطلب نوشته شده و به اجرا در آمد. برای مقایسه مدل‌های مختلف در حالتی که هدف مقایسه مقادیر میانه پیش‌بینی شده با هر یک از روش‌ها با مقدار رسوب مشاهداتی بود از دو معیار R و RMSE استفاده گردید و در حالتی که هدف مقایسه عملکرد دو مدل در دامنه‌های عدم قطعیت بدست آمده بود از دو معیار متوسط طول دامنه عدم قطعیت^۱ (ARIL) (رابطه ۹) (۱۷) و تعداد داده‌های مشاهداتی قرار گرفته در محدوده دامنه عدم قطعیت (۲۵) بودند.

$$ARIL = \frac{1}{n} \sum_{C_{0,i}} \frac{\text{limitUpper},i - \text{limitLower},i}{C_{0,i}} \quad (9)$$

در اینجا $\text{limitUpper},i$ و $\text{limitLower},i$ به ترتیب حد بالا و پایین و

است که این نشان می‌دهد با کاهش مقدار آستانه اختلاف بین میانه و داده‌های مشاهداتی بیشتر شد. در ایستگاه استور که تابع چند جمله ای مرتبه دو به آن برازش داده شد این روند بر عکس بوده بطوری که با کاهش آستانه مقدار RMSE افزایش پیدا کرد.

در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر معیار ضریب همبستگی دو روش خودگردان ساز و گلو تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته‌اند اما از نظر معیار RMSE در دو ایستگاه میانه تونل شماره ۷ و گلینک روش خودگردان ساز و در دو ایستگاه موتورخانه و استور روش گلو عملکرد بهتری داشت. از نظر معیار ARIL روش گلو به دلیل کوچک‌تر بودن حدود اطمینان آن عملکرد بهتری داشته است اما از نظر معیار تعداد داده‌های خارج از حدود اطمینان ۹۵ درصدی روش خودگردان ساز به دلیل داشتن محدوده اطمینان ۹۵ درصدی بزرگتر عملکرد بهتری داشت در این حالت تعداد داده‌های خارج از دامنه اطمینان ۹۵ درصدی در روش خودگردان ساز کمتر از روش گلو بود. در شکل (۲) حدود اطمینان و مقدار میانه به همراه داده‌های مشاهداتی برای هر دو روش (در روش گلو به خاطر زیاد شدن تعداد شکل‌های فقط آستانه بالا و پایین آورده شده است) در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه آورده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود در ایستگاه‌های موتورخانه و میانه تونل شماره ۷ که در آنها تابع سیگموئید برازش داده شد در روش گلو به ترتیب برای داده‌های دبی پایین و بالا دامنه عدم قطعیت افزایش پیدا کرد و در روش خودگردان ساز هم برای داده‌های دبی بالا و هم دبی پایین این دامنه عدم قطعیت کمی افزایش یافت در کل دامنه‌های عدم قطعیت بدست آمده با استفاده از روش خودگردان ساز نسبت به روش گلو بزرگتر بوده و تعداد بیشتری داده‌های مشاهداتی در محدوده این دامنه عدم قطعیت قرار گرفته‌اند.

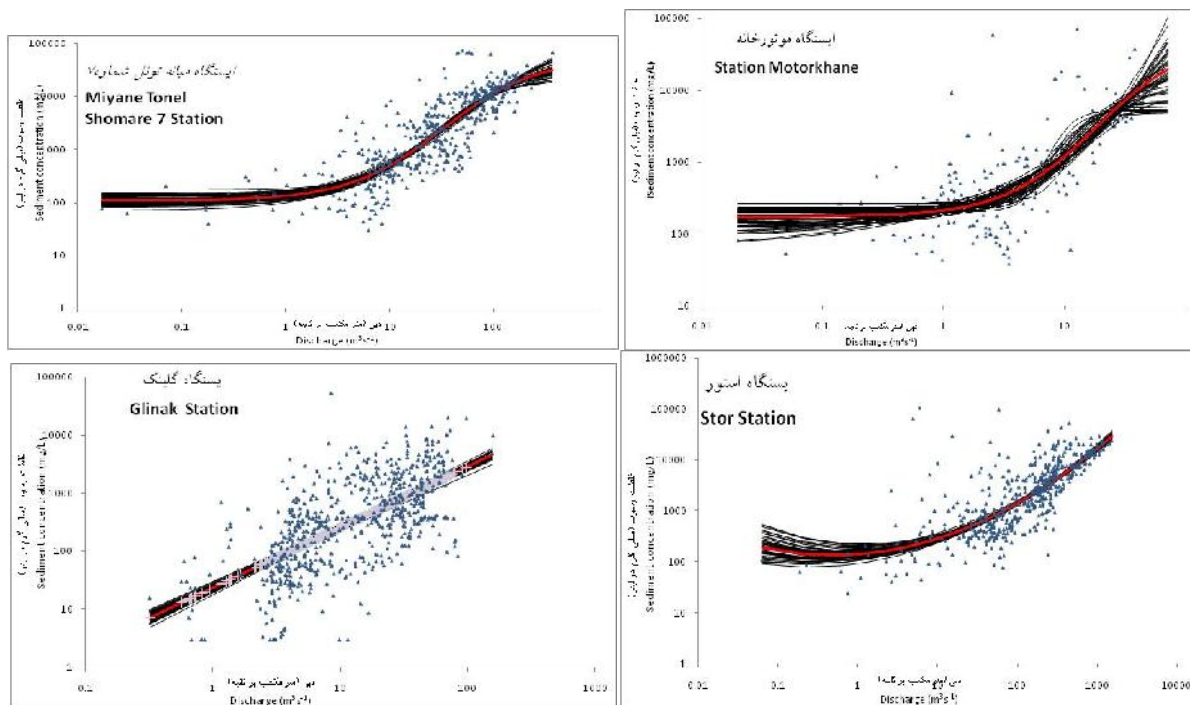
این منحنی سنج‌ها مقدار رسوب برآوردی را خیلی بالا تخمین زده- اند. یکی از پارامترهای حساس در روش گلو مقدار آستانه انتخابی جهت تعریف پارامترهای رفتاری و غیر رفتاری است (۱۷ و ۲۵) در تعیین این آستانه انتخابی هیچ الگوی مشخصی وجود ندارد، در این تحقیق با توجه به پراکنش بالای داده‌ها (با توجه به شکل (۱)) بالاترین آستانه انتخابی برابر با ۰/۴۵ (در ایستگاه گلینک که پراکنش نقاط آن بیشتر بود و عملکرد مدل هم پایین‌تر بود آستانه در نظر گرفته شده برابر با ۰/۴۲ بود) در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این آستانه مشاهده گردید مقدار دامنه عدم قطعیت بدست آمده نسبت به روش خودگردان ساز خیلی پایین بود بنابراین در این تحقیق مقدار آستانه را تا ۰/۱ تغییر داده تا دامنه عدم قطعیت بزرگتر شده و همچنین حساسیت دامنه عدم قطعیت نسبت به تغییرات آن برآورد گردد.

نتایج مربوط به دو روش گلو و خودگردان ساز برای تمام ایستگاه- ها در جدول (۲) (در این جدول به دلیل طولانی شدن فقط دو آستانه حداکثر و حداقل آورده شده‌اند) آورده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود با کاهش مقدار آستانه تعداد داده‌های خارج از دامنه اطمینان کاهش یافته و مقدار ARIL افزایش یافته است. البته حتی در حالتی که مقدار آستانه ۰/۱ است نیز تعداد داده‌های خارج از دامنه اطمینان نسبت به روش خودگردان ساز بیشتر بود و مقدار ARIL نیز نسبت به روش خودگردان ساز کمتر بود. لی و همکاران (۲۵) در مقایسه دو روش گلو و بی‌زین در برآورد عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی نشان دادند با افزایش آستانه انتخابی باند عدم قطعیت بدست آمده بزرگتر شده و عملکرد روش گلو در برآورد دامنه عدم قطعیت بیشتر شبیه روش بی‌زی می‌گردد. به غیر از ایستگاه استور در سایر ایستگاه‌ها با کاهش آستانه مقدار RMSE افزایش پیدا کرده

جدول ۱- مقایسه توابع مختلف برازش داده شده برای داده‌های تست

Table 1- Comparison of different fitted function for test data

ایستگاه	معیار	سیگموئید	چند جمله مرتبه دوم	چند جمله مرتبه سوم	خطی
Station	Criteria	Sigmoid	Second order polynomial	Third order polynomial	Linear
گلینک	RMSE	1907.22	1900.672	1900.482	1898.426
Glinak	R ضریب همبستگی	0.57	0.567	0.572	0.568
استور	RMSE	15488.277	15417.561	15444.878	15610.849
Stor	R ضریب همبستگی	0.738	0.755	0.748	0.718
میانه تونل شماره ۷	RMSE	10995.291	15099.684	14370.365	11283.267
MiyaneToneIShomare 7	R ضریب همبستگی	0.877	0.864	0.865	0.850
موتورخانه	RMSE	2503.752	2561.579	2583.608	2900.095
Motorkhane	R ضریب همبستگی	0.740	0.754	0.743	0.732



شکل ۱- ۵۰ شبیه اول با استفاده از روش خودگردان ساز در مقیاس لگاریتمی در ایستگاه‌های مختلف در این نمودارها منحنی قرمز تابع برازش داده شده اولیه است

Figure 1- The first 50 bootstrapped rating curves in log scale for all station, the red curves are the primary fitted curve

منحنی سنجه اشاره کرده اند البته در تحقیق ویجیاک و بندمیکل (۳۲) روش بیزی عملکرد نسبتاً بهتری نسبت به روش خودگردان ساز در برآورد دامنه عدم قطعیت داشت و در دو مورد از سه نمونه داده‌های مورد بررسی روش خودگردان ساز دامنه‌های عدم قطعیت بزرگتری تولید کرد البته در تحقیق مذکور در تمام موارد در روش بیزی نسبت به روش خودگردان ساز تعداد داده‌ها مشاهداتی بیشتری در محدوده اطمینان قرار گرفتند.

در برآورد مقادیر رسوب مقادیر میانه برآورد با استفاده از دو روش گلو و خودگردان ساز در تمام ایستگاه‌ها تقریباً مشابه یکدیگر عمل کردند و نسبت به مقادیر غلظت برآورد شده با منحنی سنجه معمولی (جدول ۱) تفاوت چندانی نداشتند، حتی در برخی موارد دو روش گلو و خودگردان ساز عملکرد بهتری نسبت منحنی سنجه معمولی داشتند. در تحقیق ویجیاک و بندمیکل (۳۲) عملکرد روش بیزی نسبت به روش خودگردان ساز کمی بهتر بود و نسبت به روش معمولی تفاوت چندانی نداشت.

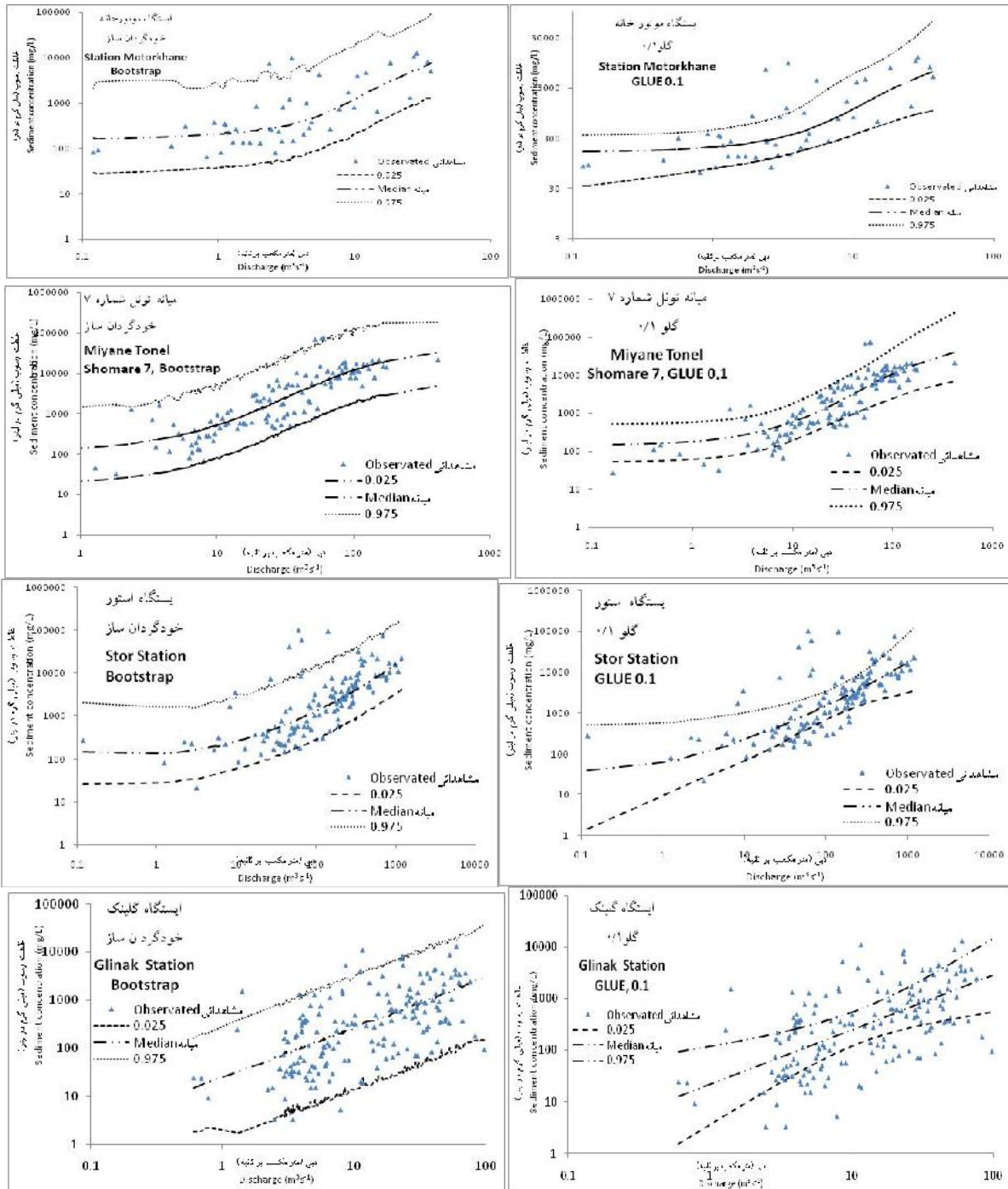
در ایستگاه استور در روش گلو داده‌های دبی بالا که تراکم داده‌های مشاهداتی بیشتر است دامنه عدم قطعیت ۹۵ درصدی کوچک بوده و در داده‌های دبی پایین که تعداد داده‌های مشاهداتی نیز کم هستند دامنه عدم قطعیت بدست آمده نیز بزرگتر می‌باشد این در حالی است که در روش خودگردان ساز این دامنه عدم قطعیت بدست آمده نسبت به روش گلو بزرگتر بوده و تغییرات آن برای داده‌های دبی بالا و پایین (برای داده‌های پایین این دامنه عدم قطعیت کمی بیشتر) کم می‌باشد. در ایستگاه گلینک که تابع خطی برازش داده شد، در روش گلو دامنه عدم قطعیت بدست آمده در وسط منحنی جایی که تراکم داده‌ها بیشتر بودند، کمتر بود و در داده‌های دبی کمینه و بیشینه این دامنه عدم قطعیت افزایش پیدا کرد در کل دامنه عدم قطعیت بدست آمده با استفاده از روش گلو با استفاده از آستانه ۰/۴۲ خیلی کوچک بود بطوری که تعداد کمی داده‌های مشاهداتی را در بر گرفت. در روش خودگردان ساز دامنه عدم قطعیت بدست آمده بزرگتر بوده و تعداد زیادی داده‌های مشاهداتی را در بر می‌گیرد. در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه حدود اطمینان بدست آمده با استفاده از روش گلو از نوسانات کمتری برخوردار بود.

در تحقیقات رستم‌جی و ویلکینسون (۲۸) و ویجیاک و بندمیکل (۳۲) به کارایی روش خودگردان ساز در برآورد عدم قطعیت روش

جدول ۲- مقایسه دو روش گلو و خودگردان ساز در ایستگاه های مختلف

Table 2- Comparison of Glue and bootstrap methods in different stations

ایستگاه Station	روش Method	تعداد داده تست Number of test data	ضریب همبستگی R	RMSE	تعداد دادهای خارج از دامنه اطمینان Data out of confidence intervals	C
موتورخانه Motorkhane	خودگردان ساز؛ Bootstrap	44	0.740	2540.04	2	798.54
	گلو؛ GLUE		0.739	2505.35	35	46.75
	گلو؛ GLUE		0.743	2584.38	8	177.09
میانه تونل شماره ۷ Miyane TonelShomare 7	خودگردان ساز؛ Bootstrap	119	0.877	10944.76	3	1746.30
	گلو؛ GLUE		0.877	10976.59	34	331.39
	گلو؛ GLUE		0.874	11115.95	19	622.28
استور Stor	خودگردان ساز؛ (Bootstrap)	125	0.728	15547.35	10	1670.73
	گلو؛ GLUE		0.730	15482.22	106	51.46
	گلو؛ GLUE		0.724	15442.80	34	465.14
گلیک Glinak	خودگردان ساز؛ (Bootstrap)	169	0.606	1893.50	11	5997.40
	گلو؛ GLUE		0.605	1898.96	162	104.17
	گلو؛ GLUE		0.605	1895.73	82	1212.59



شکل ۲- حدود اطمینان بدست آمده با استفاده از دو روش گلو و خودگردان ساز در ایستگاه‌های مختلف در مقیاس لگاریتمی
 Figure 2- Glue and bootstrap prediction intervals for all stations (Log Scale)

نتیجه‌گیری

ناتوانی در شناخت و کمی کردن متغیرهای حاکم بر فرآیندهای مربوط می باشد. شبیه‌سازی یک فرایند به دلیل عواملی مانند خطاهای اندازه‌گیری، ماهیت تصادفی پارامترها و خطاهای تخمین داده‌ها

یکی از مشکلات اصلی شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی

مشاهداتی کمتر بود، به دلیل عدم مدل سازی تمام فرآیندهای حاکم بر رابطه دبی- رسوب توسط منحنی سنج، عدم قطعیت بیشتر بود. همچنین نتایج مطالعه نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دامنه عدم قطعیت بدست آمده با استفاده از روش خودگردان ساز بزرگتر از دامنه عدم قطعیت بدست آمده با استفاده از روش خودگردان ساز تعداد بیشتری داده‌های مشاهداتی تست را در برگرفته بود. در روش گلو با کاهش مقدار آستانه دامنه عدم قطعیت بزرگتر شده و به نوعی عملکرد آن بیشتر شبیه روش خودگردان ساز گردید. در این تحقیق فقط عدم قطعیت ناشی از روش تخمین برآورد گردید و از سایر منابع عدم قطعیت مهم موثر در منحنی سنج رسوب مانند عدم قطعیت ناشی از دبی (که در هر ایستگاه دبی توسط رابطه اشل دبی برآورد می‌گردد) و عدم قطعیت ناشی از اندازه گیری رسوب معلق در نظر گرفته نشد با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق مشاهده می‌شود با افزایش تعداد داده‌های دبی و رسوب برداشتی دامنه عدم قطعیت کاهش پیدا کرد و به نوعی می‌توان گفت در رودخانه‌هایی که تعداد داده‌های برداشتی بیشتر هستند مقدار رسوب برآوردی با استفاده منحنی سنج از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار بوده و عدم قطعیت کمتری در رسوب برآوردی وجود دارد.

همواره با نوعی عدم قطعیت همراه هستند. لذا کاربرد مدل‌ها مستلزم داشتن اطلاعاتی درباره عدم قطعیت خروجی آنها است، تا با اطمینان بیشتری در خصوص تصمیم‌گیری ناشی از کاربرد این معادلات حاصل شود و در این راستا تجزیه و تحلیل عدم قطعیت مربوط به این پدیده می‌تواند راه گشا بوده و درک درستی از اهمیت عوامل تاثیرگذار بر آنها را ایجاد کند. در این تحقیق با استفاده از دو روش خودگردان ساز و گلو اقدام به برآورد عدم قطعیت روش منحنی سنج رسوب در چهار ایستگاه حوضه قزل اوزن گردید. نتایج نشان داد در دو ایستگاه موتورخانه و میانه تونل شماره ۷ تابع سیگموئید، در ایستگاه استور تابع سیگموئید درجه دو و در ایستگاه گلینک تابع خطی برازش بهتری به داده‌های مشاهداتی داشتند. پس از تعیین بهترین توابع برای هر ایستگاه با استفاده از دو روش گلو و خودگردان ساز اقدام به برآورد عدم قطعیت روش منحنی سنج رسوب گردید. نتایج نشان داد مقدار دامنه عدم قطعیت بستگی به شکل منحنی سنج رسوب (به عنوان مثال در ایستگاه استور که تابع چند جمله‌ای درجه دو برازش داده شد مقادیر دامنه عدم قطعیت برای داده دبی پایین خیلی بزرگ بود) و تراکم نقاط نمونه‌برداری شده دارد. به طوری که در دبی‌های متوسط که تراکم داده‌های نمونه برداری شده بیشتر بود مقدار دامنه عدم قطعیت بدست آمده کمتر بود در حالی که در دبی‌های بالا و پایین که تعداد نقاط

منابع

- 1- Asselman N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sedimentrating curves, J. Hydrol, 234: 228–248.
- 2- Bayat A., Bandar D., and Lotfi S. 2013. Evolution of suspended sediment curve in estimation GhezelOzan catchment sediment using Sefidroud dam data Iranian, J. Soil and Water Research, Vol.44, No. 3: 321-327.(in Persian)
- 3- Beven K.J., and Binley A.M. 1992. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction, Hydrol Process, 6: 279–98.
- 4- Chon T.A., Delong L.L., Gilroy E.J., Hirsch R.M., and Wells D.K. 1989. Estimating constituent loads, Water Resources Research, 25(5): 937-942.
- 5- Cigizoglu H.K. 2004. Estimation and forecasting of daily suspended sediment databy multi-layer perceptrons, Advances in Water Resources, 27: 185–195.
- 6- Cobaner A., Unal B., and Kisi O. 2009. Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro-fuzzyand neural network approach using hydro-meteorological data, Journal of Hydrology, 367: 52–61.
- 7- Cohn T. A., Caulder D. L., Gilroy E. J., Zynjuk L.D., and Summers R. M. 1992. The validity of a simple statistical model for estimating fluvial constituent loads: An empirical study involving nutrient loads entering Cheasa peak Bay, Water Resour. Res, 28: 2353–2363.
- 8- Crawford C. G. 1991. Estimation of suspended-sediment rating curvesand mean suspended-sediment loads, J. Hydrol, 129:331 – 348.
- 9- Crowder D.W., Demissie M., and Markus M. 2007. The accuracy of sediment loads whenlog-transformation produces nonlinear sediment load discharge relationships, Journal of Hydrology, 336: 250– 268.
- 10- Demissie M., Xia R., Keefer L., and Bhowmik N. 2004. The sediment budget of the Illinois River. Illinois State Water Survey, Contract Report 2004-13, Champaign, IL, 51p.
- 11- Efron B., and Tibshirani R. 1993. An Introduction to the Bootstrap, Chapman and Hall, NewYork, London.
- 12- Ferguson R. 1986a. Reply, Water Resour. Res, 22: 2123 – 2124.
- 13- Ferguson R. I. 1986b. River loads underestimated by rating curves, Water Resour. Res, 22: 74– 76.
- 14- Hicks D. M., Gomez B., and Trustrum N. 2000. Erosion thresholds and suspended sediment yields, Waipoa River Basin, New Zealand, Water Resour. Res, 36:1129– 1142.

- 15- Horowitz A.J. 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations, *Hydrol. Process*, 17: 3387– 3409.
- 16- Hudson P. 2003. Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico, *Catena*, 52: 57– 76.
- 17- Jin X., Xu C.Y., Zhang Q., and Singh V.P. 2010. Parameter and modeling uncertainty simulated by GLUE and a formal Bayesian method for a conceptual hydrological model, *Journal of Hydrology* 383: 147–155.
- 18- 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: 271-284.
- 19- Kisi O. 2004. Daily suspended sediment modeling using a fuzzy-differential evolution approach, *Hydrol. Sci. J.*, 49 (1):183–197.
- 20- Kisi O. 2005. Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches, *Hydrol. Sci. J.*, 50 (4): 683–696.
- 21- Kisi O. 2008. Constructing neural network sediment estimation models using a data-driven algorithm, *Mathematics and Computers in Simulation*, 79: 94–103.
- 22- Kisi O., Karahan M.E., and Sen Z. 2006. River suspended sediment modelling using a fuzzy logic approach, *Hydrologic Processing*, 20: 4351–4362.
- 23- Koch R.W., and Smillie G.M. 1986. Comment on “River loads under-estimated by rating curves” by Ferguson, R. I., *Water Resour. Res.*, 22: 2121– 2122.
- 24- Krishnaswamy J., Richter D., Halpin P., and Hofmockel M. 2001. Spatial patterns of suspended sediment yields in a humid tropical watershed in Costa Rica, *Hydrol. Processes*, 15: 2237– 2257.
- 25- Li L., Xia J., Xu C.-Y., and Singh V. P. 2010. Evaluation of the subjective factors of the GLUE method and comparison with the formal Bayesian method in uncertainty assessment of hydrological models, *J. Hydro* 390 (3-4): 210-221.
- 26- Mohammadi A., Mosaedi A., and Heshmatpour A. 2007. Determination of the Best Model to Estimate Suspended Sediment loads in Ghazaghly Gauge Station-Gorganrood River, Iran. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, Vol. 14(4): 232-241. (in Persian with English abstract)
- 27- Nistor C., and Church M. 2005. Suspended sediment transport regime in a debris-flow gully on Vancouver Island, British Columbia, *Hydrol. Processes*, 19: 861– 885.
- 28- Rustomji P., and Wilkinson S. N. 2008. Applying bootstrap resampling to quantify uncertainty in fluvial suspended sediment loads estimated using rating curves, *Water Resour. Res.*, 44.
- 29- Sansalone John J., and Steven Buchberger G. 1997. Partitioning and first flush of metals in urban roadway storm water, *Journal of Environmental Engineering*, 123 (2): 134-143.
- 30- Tarras-Wahlberg N. H., and Lane S. N. 2003. Suspended sediment yield and metal contamination in a river catchment affected by El Niño events and gold mining activities: The Puyango River basin, southern Ecuador, *Hydrol. Processes*, 17: 3101– 3123.
- 31- Thomas R.B. 1985. Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resources Research*, 21: 1381-1388.
- 32- Vigiak O., and Bende-Michl U. 2013. Estimating bootstrap and Bayesian prediction intervals for constituent load rating curves, *Water Resources Research*, 49: 8565–8578.



Sediment Curve Uncertainty Estimation Using GLUE and Bootstrap Methods

A. Fathabadi^{1*}- H. Rouhani²

Received: 19-11-2014

Accepted: 29-06-2015

Introduction: In order to implement watershed practices to decrease soil erosion effects it needs to estimate output sediment of watershed. Sediment rating curve is used as the most conventional tool to estimate sediment. Regarding to sampling errors and short data, there are some uncertainties in estimating sediment using sediment curve. In this research, bootstrap and the Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) resampling techniques were used to calculate suspended sediment loads by using sediment rating curves.

Materials and Methods: The total drainage area of the Sefidrood watershed is about 560000 km². In this study uncertainty in suspended sediment rating curves was estimated in four stations including Motorkhane, Miyane Tonel Shomare 7, Stor and Glinak constructed on Ayghdamosh, Ghrangho, GHezelOzan and Shahrod rivers, respectively. Data were randomly divided into a training data set (80 percent) and a test set (20 percent) by Latin hypercube random sampling. Different suspended sediment rating curves equations were fitted to log-transformed values of sediment concentration and discharge and the best fit models were selected based on the lowest root mean square error (RMSE) and the highest correlation of coefficient (R²). In the GLUE methodology, different parameter sets were sampled randomly from priori probability distribution. For each station using sampled parameter sets and selected suspended sediment rating curves equation suspended sediment concentration values were estimated several times (100000 to 400000 times). With respect to likelihood function and certain subjective threshold, parameter sets were divided into behavioral and non-behavioral parameter sets. Finally using behavioral parameter sets the 95% confidence intervals for suspended sediment concentration due to parameter uncertainty were estimated. In bootstrap methodology observed suspended sediment and discharge vectors were resampled with replacement B (set to 3000) times. Sediment rating curves equation was fitted to each sampled suspended sediment and discharge data sets. Using these sediment rating curve and their residual suspended sediment concentration were calculate for test data. Finally using the 2.5 and 97.5 percentile of the B bootstrap realizations, 95% bootstrap prediction intervals were predicted.

Results and Discussion: Results showed that Motorkhane and MiyaneTonelShomare 7 stations were best fitted by a sigmoid function and Stor and Glinak stations were best fitted by second order polynomial and liner function, respectively. The first 50 of the B bootstrapped curves were plotted for all stations. with respect to these plots implied that bootstrapped curves more scattered whereas observed data were less. The suspended sediment curve parameters estimated more accurately where, the suspended sediments were sampled more, as a result of reduced uncertainty in estimated suspended sediment concentration due to parameter uncertainty. In addition to sampling density bootstrapped curves, uncertainty depends on the curve shape. For GLUE methodology to assess the impact of threshold values on the uncertainty results, threshold values systematically changed from 0.1 to 0.45. Study results showed that 95% confidence intervals are sensitive to the selected threshold values and higher threshold values will result in an increasing 95% confidence interval. However, the highest 95% confidence intervals obtained by GLUE method (when threshold value was set to 0.1) was little than those values obtained by Bootstrap.

Conclusions: The uncertainty of sediment rating curves was addressed in this study by considering two different procedures based on the GLUE and bootstrap methods for four stations in Sefidrood watershed. Results showed that nonlinear equation fitted log-transformed values of sediment concentration and discharge better than linear equation. Uncertainty result using GLUE depend on chosen threshold values. As threshold values increased, 95% confidence intervals decreased. Uncertainty results showed that 95% confidence intervals estimated by bootstrap were higher than the biggest 95% confidence intervals (when threshold value set to 0.1) estimated by GLUE method. Overall, in all stations, 95% confidence intervals arising from suspended sediment curve shapes (e.g. linear, second order polynomial and sigmoid function), data sampling density and uncertainty estimation methods (here were GLUE and Bootstrap).

Keywords: Polynomial Function, River Discharge, Sensitivity Analysis, Sigmoid Function, Suspended Load

1 and 2- Assistant Professors of Agricultural and Natural Research Department, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
(*- Corresponding Author Email: fathbabadi@ut.ac.ir)