

پیش‌بینی رسوب معلق با استفاده از روش‌های تجزیه جمع‌پذیر و ضربی مطالعه موردی: حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی

سعید آزادی^{۱*}، حامد نوذری^۲

۱ - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، S_azadi_ir@yahoo.com

۲ - استادیار، hanozari@yahoo.com

چکیده

آگاهی از میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه و تاثیرپذیری آن از عوامل مختلف، ضروری به نظر می‌رسد. برآورد حجم رسوبات رودخانه و آگاهی از نحوه و زمان انتقال رسوب بسیار با اهمیت بوده و منجر به استفاده از روش‌های مناسب برای محاسبه آورد رسوب رودخانه‌ها شده است. لذا در این تحقیق به بررسی روش‌های تجزیه جمع‌پذیر و تجزیه ضربی جهت پیش‌بینی رسوبات معلق در ایستگاه‌های هیدرومتری پرداخته شد. به منظور واسنجی و اعتباریابی نتایج مدل‌سازی از داده‌های رسوب معلق و دبی جریان سال‌های ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۳ که از رودخانه می‌سی‌سی‌پی جمع‌آوری شده بود، استفاده گردید. پس از تجزیه و تحلیل و استفاده از شاخص‌های آماری خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) میزان برآزش میان مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده رسوب معلق محاسبه شد. شاخص‌های آماری SE و R^2 در پیش‌بینی رسوب معلق رودخانه با روش تجزیه جمع‌پذیر به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۸ و با روش تجزیه ضربی ۰/۶۳ و ۰/۴۱ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه جمع‌پذیر، تجزیه ضربی، رسوب معلق، رودخانه می‌سی‌سی‌پی

مقدمه

یکی از مسائل مهم و کاربردی در مدیریت منابع آب و محیط زیست تخمین آورد رسوب رودخانه می باشد که از جنبه های مختلف دارای اهمیت است (قربانی و همکاران، ۲۰۱۳). برآورد مقدار رسوب در پروژه های مختلف از جمله طراحی و اجرای سازه های آبی، حفاظت خاک، آبخیزداری و منابع آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. آگاهی از کمیت بار رسوبی رودخانه ها منجر به اقدامات مهندسی و بهره برداری هرچه بهتر از منابع آب رودخانه ها خواهد شد. از این رو استفاده از روش های مناسب برای محاسبه آورد رسوب رودخانه ها از دیرباز مورد توجه متخصصین آب بوده و با توجه به تنوع و کاربردهای مختلف این طرح ها، آگاهی از روش های کارآمد برای محاسبه بار معلق را ضروری کرده است. اما اندازه گیری مستقیم میزان آورد رسوب رودخانه ها نیاز به صرف زمان و هزینه دارد. از طرف دیگر روش های محاسباتی در مهندسی رسوب و فرآیند انتقال آن بدلیل تنوع طبیعت رودخانه ها، از پیچیدگی خاصی برخوردار بوده و در انتخاب روش های مناسب محاسباتی باید دقت نمود (امیری و حقی زاده، ۱۳۹۳).

در صورت اندازه گیری های پیوسته و منظم از رودخانه ها، برآورد بار معلق رسوب با استفاده از تعیین غلظت رسوب معلق و دبی جریان صورت می پذیرد. اما با توجه به اینکه بسیاری از حوضه های آبخیز فاقد ایستگاه رسوب سنجی می باشند، استفاده از مدل های تجربی و روش های آماری برآورد رسوب انتقالی رودخانه ها ضروری به نظر می رسد. در اکثر ارزیابی های مقدار تولید رسوب حوضه های آبخیز، از نمونه برداری های پراکنده، محدود و نامنظم رسوبات معلق رودخانه ها استفاده می شود (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۳). در صورت کمبود اندازه گیری واقعی رسوب، متخصصین و هیدرولوژیست ها از منحنی سنج رسوب برای تخمین غلظت رسوب معلق استفاده می کنند که در این راستا معمولترین روش تخمین بار رسوب، استفاده از داده های غلظت رسوب معلق و دبی جریان می باشد (هوراویتز، ۲۰۰۳؛ هارینگتون و هارینگتون، ۲۰۱۳؛ هو و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات نشان - دهنده این واقعیت است که مدل های هیدرولیکی انتقال رسوب، با وجود نیاز بالا به داشتن ویژگی های فیزیکی و توپوگرافی حاکم بر رودخانه و رژیم جریان آب، قادر به پیش بینی دقیق بار معلق رودخانه ها نبوده و مدل های هیدرولوژیکی منحنی سنج رسوب برای این امر مناسب می باشند (نادال و همکاران، ۲۰۰۸).

بر این اساس هوراویتز (۲۰۰۲) در تحقیقی در رودخانه می سی سی پی به این نتیجه رسید که به منظور بهترین ارزیابی بار رسوب معلق سالانه در یک دوره ۲۰ ساله، از منحنی های سنج رسوب می توان بهره برد.

فان و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی ارتباط بین دبی جریان و غلظت رسوب معلق در بالادست رودخانه زرد چین در فصول سیلابی طی یک دوره ۳۵ ساله، معادله تابع چندگانه با توان ۳ را برای برازش منحنی سنج رسوب مناسب معرفی کردند. از طرفی ذرتی پور (۱۳۹۴) در تحقیقی عنوان کرد که با بالا رفتن دبی لحظه ای رودخانه، خطای مدل های منحنی سنج رسوب افزایش می یابد.

هارینگتون و هارینگتون (۲۰۱۳) بدلیل فقدان اطلاعات جامع از رسوبات معلق، از منحنی سنج رسوبات معلق برای تخمین غلظت رسوب معلق ناشی از دبی جریان در رودخانه های باندون و آنابو واقع در جنوب ایرلند استفاده کردند. آنها از مقادیر غلظت رسوب معلق و دبی جریان در طی سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱، به منظور تولید منحنی های سنج رسوب هر دو رودخانه بهره بردند. رودخانه باندون بیشینه خطای ماهانه بین ۷۶٪- تا ۶۳٪+ و برای رودخانه آنابو بین ۶۵٪- تا ۳۵۹٪+ که مقدار متوسط خطای ماهانه برای رودخانه های فوق به ترتیب ۱۲٪- و ۸۷٪+ بدست آمد.

امیری و حقی زاده (۱۳۹۳) به بررسی کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی رسوب معلق در رودخانه جراحی استان خوزستان و مقایسه آن با منحنی سنج رسوب پرداختند. آنها نشان دادند روش شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با منحنی سنج رسوب از دقت بالاتری برخوردار است اما شبکه عصبی در پیش بینی نقاط اوج به درستی عمل نکرد و همین امر را به عنوان یکی از نقاط ضعف این روش عنوان نمودند.

باید در نظر داشت که عمل نمونه برداری از دبی جریان و رسوب در ایستگاه های هیدرومتری صورت می گیرد، ولی برای تمامی دبی های جریان، نمونه برداری رسوب انجام نمی شود، بلکه میزان رسوب آنها برآورد می گردد (دستورانی و همکاران، ۱۳۸۶). در این راستا، رایس (۱۹۸۲) و هادلی و همکاران (۱۹۸۵) به توسعه دیدگاه استوکاستیکی برای مدل سازی عملکرد رسوب پرداختند. در تحقیقی به بررسی تولید سری های زمانی مصنوعی و برآورد صحیح دبی ورودی با استفاده از مدل سازی استوکاستیکی پرداخته شد. مدل های استوکاستیکی اتورگرسیو^۱، میانگین متحرک^۲ و اتورگرسیو میانگین متحرک^۳ بر داده ها برازش داده شد. در نهایت با توجه به معیارهای آکائیک^۴ و شوارز^۵ نشان دادند که مدل ARMA(2,3) کارایی بهتری داشته است (عادلی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به مطالعات صورت گرفته، از مدل های مختلفی در شبیه سازی و پیش بینی رسوب معلق استفاده شده است. از آنجایی که اندازه گیری و برداشت رسوب معلق از ایستگاه ها به صورت نامنظم صورت می گیرد و همچنین دلیل فقدان و کمبود آمار در دسترس، نیاز به یافتن روشی مناسب جهت تخمین آن می باشیم. بنابراین در این تحقیق به منظور برآورد رسوب معلق رودخانه به ارزیابی روش های تجزیه جمع پذیر^۶ و روش تجزیه ضربی^۷ پرداخته شد، و نتایج آنها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش ها

نرم افزار MINITAB

شبیه سازی سری زمانی در مهندسی منابع آب در دهه های اخیر به طور وسیع برای مسائل مختلف مرتبط با برنامه ریزی و مدیریت سیستم های منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است. در این راستا محققین مختلف در تحقیقات خود از نرم افزارهای متنوعی استفاده کرده اند. به عنوان مثال می توان به نرم افزارهای SAS/ETS, MINITAB, STATGRAPHICS, IMSL, SPSS و MATLAB اشاره کرد. این نرم افزارها برای آنالیز سری آماری استاندارد در فرآیندهای هیدرولوژیکی بسیار مفید هستند. در این تحقیق نیز از میان نرم افزارهای مختلف، MINITAB مورد استفاده قرار گرفت. این نرم افزار توانایی بررسی و مقایسه تمامی خصوصیات یک سری هیدرولوژیکی از جمله رسم سری زمانی اولیه و نمایش روند، تغییر جهت ها، خطاها، رسم توابع خودهمبسته^۸، خودهمبستگی جزئی^۹ و طیف ها را دارا می باشد.

اعتبارسنجی مدل

با توجه به وجود آمار و اطلاعات کامل و طولانی مدت رودخانه می سی سی پی، از داده های رسوب معلق و دبی جریان روزانه سال های ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۳ این رودخانه استفاده شد. از داده های ۱۹۹۱/۱۰/۱۶ تا ۲۰۰۱/۱۲/۳۱ به منظور شبیه سازی و از ۲۰۰۲/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۳/۰۹/۳۰ به منظور اعتباریابی نتایج حاصل از پیش بینی مدل استفاده شد. به منظور ارزیابی و اعتباریابی نتایج مدل، از شاخص های آماری خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. شکل ریاضی این آماره ها بصورت زیر می باشد.

¹ AR

² MA

³ ARMA

⁴ Akaike

⁵ Schwarz

⁶ Decomposition Additive

⁷ Decomposition Multiplicative

⁸ ACF

⁹ PACF

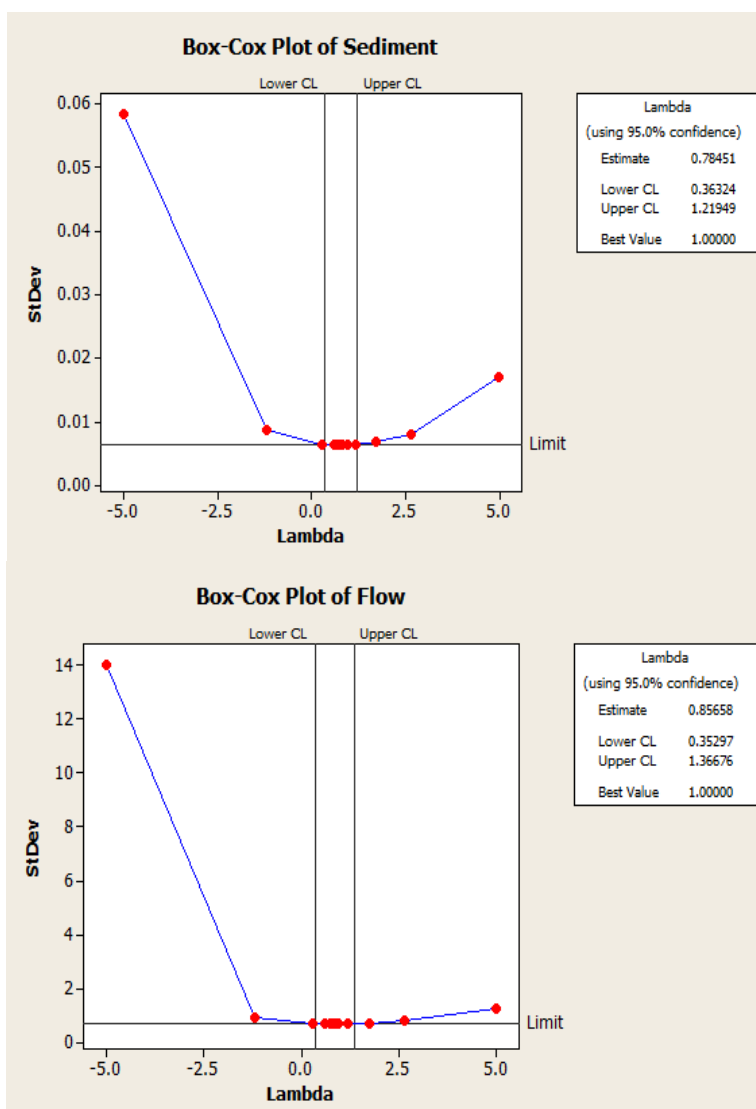
$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_m - Y_p)^2}}{\bar{Y}_m} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)(Y_p - \bar{Y}_p)]^2}{\sum_{i=1}^n (Y_m - \bar{Y}_m)^2 \sum_{i=1}^n (Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad (2)$$

در این روابط n تعداد روزهای دوره مورد مطالعه، Y_m مقادیر اندازه‌گیری شده در هر روز، Y_p مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل، \bar{Y}_m میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و \bar{Y}_p میانگین داده‌های پیش‌بینی شده می‌باشد.

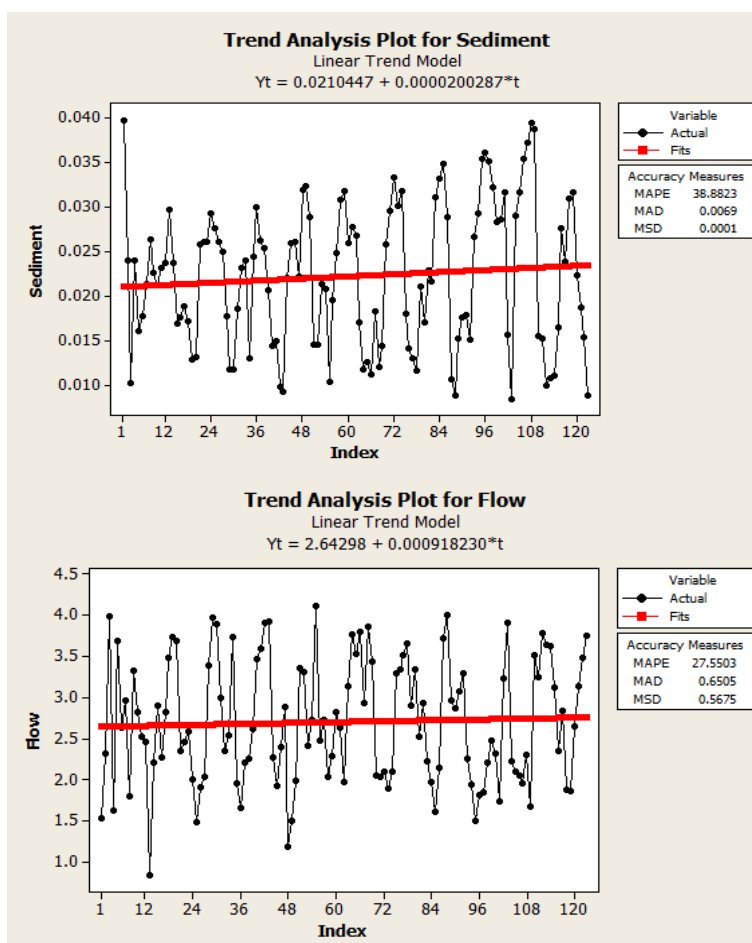
نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا ایستایی در واریانس و میانگین بررسی شد. به منظور بررسی ایستایی در واریانس از تبدیل باکس کاکس استفاده شد. شکل ۱ ایستایی در واریانس را پس از تبدیل باکس کاکس برای پارامترهای رسوب معلق و دبی متوسط ماهانه اصلاح شده با عامل λ را نشان می‌دهد (λ عامل تبدیل باکس کاکس می‌باشد).



شکل ۱- تغییرات انحراف معیار رسوب معلق ماهانه و دبی متوسط ماهانه اصلاح شده با عامل λ

شکل ۲ روند موجود در سری زمانی ماهانه رسوب و دبی متوسط جریان ماهانه را نشان می دهند. ملاحظه می شود که شیب معادله خط برازش داده شده بر داده‌ها به صفر نزدیک می باشد. لذا می توان گفت داده‌ها در میانگین ایستا هستند.

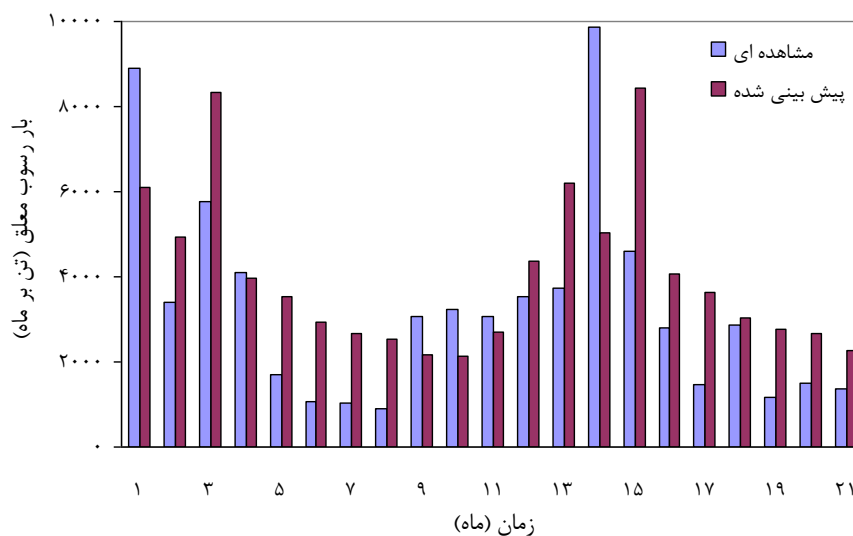


شکل ۲- تغییرات معادله خط برازش داده شده بر رسوب معلق ماهانه و دبی متوسط ماهانه اصلاح شده

همانطور که بیان شد، به منظور دستیابی به روش مناسب جهت پیش‌بینی رسوبات معلق، از روش‌های تجزیه جمع پذیر و تجزیه ضریبی استفاده گردید. به منظور مقایسه بین نتایج، در این روش‌ها از آمار و اطلاعات رودخانه می‌سی‌سی‌پی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱، برای شبیه‌سازی، و از سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ به منظور اعتباریابی رسوب معلق ماهانه استفاده گردید.

روش تجزیه جمع‌پذیر در پیش‌بینی رسوبات معلق رودخانه

با استفاده از آمار و اطلاعات رسوب معلق ماهانه رودخانه می‌سی‌سی‌پی، اقدام به شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه به کمک روش تجزیه جمع‌پذیر گردید. شکل ۳ مقادیر برآورد شده رسوب معلق ماهانه براساس روش تجزیه جمع‌پذیر را نشان می‌دهد. همچنین نتایج شاخص‌های آماری R^2 و SE در شبیه‌سازی و پیش‌بینی به روش مدل‌سازی تجزیه جمع‌پذیر در جدول ۱ نشان داده شده است.

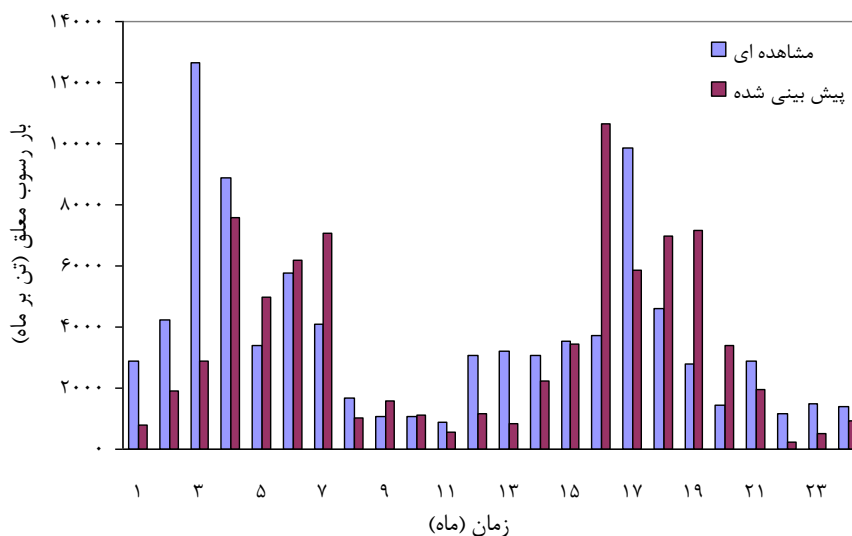


شکل ۳- مقادیر رسوب معلق ماهانه پیش‌بینی شده با روش تجزیه جمع‌پذیر

جدول ۱- پارامترهای آماری محاسبه شده در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه

شاخص آماری	شبیه‌سازی شده	پیش‌بینی شده
R^2	۰/۲۹	۰/۳۸
SE	۰/۷۶	۰/۶۲

از طرفی شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه، به صورت منحصربفرد برای تک تک ماه‌های سال نیز مطابق با مطالب گفته شده صورت گرفت. شکل ۴ مقادیر برآورد شده رسوب معلق برای تک تک ماه‌های سال به طور جداگانه را نشان می‌دهد. نتایج شاخص‌های آماری R^2 و SE در شبیه‌سازی و پیش‌بینی به روش مدل‌سازی تجزیه جمع‌پذیر در جدول ۲ نشان داده شده است.



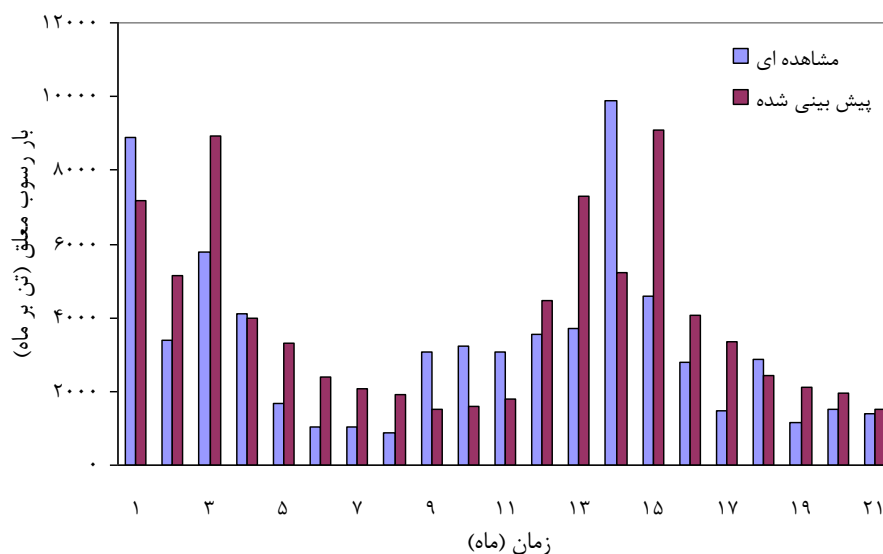
شکل ۴- مقادیر پیش‌بینی شده رسوب معلق ماه‌های سال به طور جداگانه با روش تجزیه جمع‌پذیر

جدول ۲- پارامترهای آماری محاسبه شده در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه

ماه	شبیه‌سازی		پیش‌بینی
	SE	R ²	
Jan	۰/۴۳	۰/۵۹	۰/۷۹
Feb	۰/۴۶	۰/۰۹	۰/۴۶
Mar	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۳۳
Apr	۰/۶۹	۰/۰۳	۱/۰۹
May	۰/۵۱	۰/۳۱	۰/۹۱
Jun	۰/۵۰	۰/۰۸	۰/۳۹
Jul	۰/۶۴	۰/۲۹	۰/۶۱
Aug	۰/۱۹	۰/۶۸	۰/۶۳
Sep	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۶۳
Oct	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۷۳
Nov	۰/۵۰	۰/۱۷	۰/۴۷
Dec	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۸۵
میانگین	۰/۴۷	۰/۲۱	۰/۶۶

روش تجزیه ضریبی در پیش‌بینی رسوبات معلق رودخانه

به منظور مقایسه نتایج، در این روش سناریو مشابه با روش تجزیه جمع‌پذیر به کار گرفته شد. مقادیر شبیه‌سازی و پیش‌بینی شده رسوب معلق توسط نرم افزار MINITAB محاسبه گردید، که در شکل ۵ مقادیر برآورد شده رسوب معلق ماهانه براساس روش تجزیه ضریبی نشان داده شده است. همچنین نتایج شاخص‌های آماری SE و R² در شبیه‌سازی و پیش‌بینی به روش مدل - سازی تجزیه ضریبی در جدول ۳ نشان داده شده است.

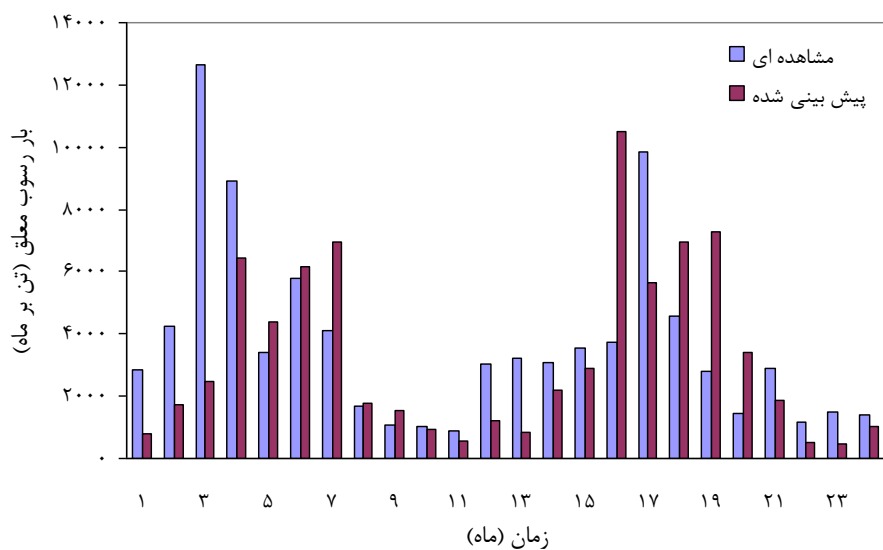


شکل ۵- مقادیر رسوب معلق ماهانه پیش‌بینی شده با روش تجزیه ضریبی

جدول ۳- پارامترهای آماری محاسبه شده در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه

شاخص آماری	شبیه‌سازی شده	پیش‌بینی شده
R^2	۰/۳۱	۰/۴۱
SE	۰/۷۶	۰/۶۳

همچنین نتایج شبیه‌سازی و پیش‌بینی رسوب معلق ماهانه به روش مدل‌سازی تجزیه ضریبی، به صورت منحصربفرد برای تک تک ماه‌های سال نیز در شکل ۶ و جدول ۴ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقادیر پیش‌بینی شده رسوب معلق ماه‌های سال به طور جداگانه با روش تجزیه ضریبی

جدول ۴- پارامترهای آماری محاسبه شده در شبیه سازی و پیش بینی رسوب معلق ماهانه

ماه	شبیه سازی		پیش بینی
	SE	R ²	
Jan	۰/۴۱	۰/۶۸	۰/۸۱
Feb	۰/۴۶	۰/۱۰	۰/۴۶
Mar	۰/۴۵	۰/۰۹	۰/۳۳
Apr	۰/۷۰	۰/۰۲	۱/۱
May	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۸۷
Jun	۰/۵۰	۰/۰۸	۰/۴۰
Jul	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۴۱
Aug	۰/۱۹	۰/۶۸	۰/۶۴
Sep	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۶۰
Oct	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۷۳
Nov	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۵۲
Dec	۰/۶۴	۰/۰۲	۰/۸۹
میانگین	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۶۵

بطور کلی کاربرد روش های فوق در شبیه سازی و پیش بینی رسوبات معلق رودخانه به ترتیب در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. با توجه به شاخص SE می توان نتیجه گرفت که مدل سازی به روش تجزیه ضریبی برای تک تک ماههای سال در شبیه سازی رسوب معلق، از دقت بیشتری نسبت به سایر روش ها برخوردار بوده است حال آنکه این روش در تخمین رسوب معلق دقت مطلوبی نسبت به سایر روش ها نداشته است. با توجه به نتایج حاصل از پیش بینی رسوب معلق ماهانه، مدل سازی به روش تجزیه جمع پذیر ماهانه دارای شرایط مناسبی نسبت به سایر روش ها است.

جدول ۵- پارامترهای آماری محاسبه شده در شبیه سازی رسوب معلق ماهانه

رسوب معلق		شاخص آماری
SE	R ²	
۰/۷۶	۰/۲۹	تجزیه جمع پذیر ماهانه
۰/۴۷	۰/۲۱	تجزیه جمع پذیر تک تک ماههای سال
۰/۷۶	۰/۳۱	تجزیه ضریبی ماهانه
۰/۴۶	۰/۲۳	تجزیه ضریبی تک تک ماههای سال

جدول ۶- پارامترهای آماری محاسبه شده در پیش بینی رسوب معلق ماهانه

رسوب معلق		شاخص آماری
SE	R ²	
۰/۶۲	۰/۳۸	تجزیه جمع پذیر ماهانه
۰/۸۳	۰/۲۰	تجزیه جمع پذیر تک تک ماههای سال
۰/۶۳	۰/۴۱	تجزیه ضریبی ماهانه
۰/۸۵	۰/۱۶	تجزیه ضریبی تک تک ماههای سال

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Minitab و بهره بردن از روش های تجزیه جمع پذیر و تجزیه ضریبی به پیش بینی آورد رسوبات معلق رودخانه می‌سی‌سی‌پی پرداخته شد. با توجه به شاخص‌های آماری خطای استاندارد و ضریب تبیین، نتایج زیر از کاربرد روش‌های فوق حاصل گردید:

- ۱- روش تجزیه جمع پذیر در پیش بینی رسوبات معلق رودخانه: شاخص‌های SE و R^2 در شبیه‌سازی به این روش ۰/۷۶ و ۰/۲۹ و در پیش‌بینی به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۸ بدست آمد. از طرفی متوسط این شاخص‌ها در شبیه‌سازی رسوب معلق برای تک ماه‌های سال به طور جداگانه به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۲۱ و متوسط SE در اعتباریابی ۰/۶۶ حاصل شد.
- ۲- روش تجزیه ضریبی در پیش بینی رسوبات معلق رودخانه: شاخص‌های SE و R^2 در شبیه‌سازی به این روش ۰/۷۶ و ۰/۳۱ و در پیش‌بینی به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۴۱ بدست آمد. از طرفی متوسط شاخص‌های SE و R^2 در شبیه‌سازی رسوب معلق برای تک ماه‌های سال به طور جداگانه به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۲۳ و متوسط SE در اعتباریابی ۰/۶۵ حاصل شد.

مراجع

امیری، علی، حقی‌زاده، علی، (۱۳۹۳)، مقایسه دو روش شبکه عصبی مصنوعی و منحنی سنج رسوب در برآورد رسوب معلق، مطالعه موردی: رودخانه جراحی، استان خوزستان، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال دوم، شماره ۵، ص ۲۸-۳۶.

دسترنج، علی، خزایی، مجید، کاظمی، محمد، فلاح، ساناز، عادل، بهزاد، (۱۳۹۳)، ارزیابی روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بشار)، فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۴، شماره ۳ (۱۵)، ص ۴۷-۵۷.

دستورانی، ج، بابائی، ا، رضایی‌راد، ن، (۱۳۸۶)، کاربرد آمار دبی جریان و رسوب در بررسی اثر زمین لرزه بر رسوبزایی حوزه آبخیز سفیدرود، خلاصه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج.

ذرتی‌پور، امین، (۱۳۹۴)، ارزیابی روش‌های برآورد رسوب منحنی سنج در مواقع سیلابی، مطالعه موردی: حوزه گلینک، استان البرز، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال ۳، شماره ۲، ص ۱۰-۱.

عادلی، عاطفه، فتحی مقدم، منوچهر، موسوی جهرمی، حبیب، (۱۳۹۳)، استفاده از مدل استوکاستیک برای تولید سری‌های زمانی مصنوعی و پیش‌بینی جریان ورودی، مطالعه موردی: مخزن سد تالوگ، استان خوزستان، فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه، سال ۲، شماره ۵، ص ۱۳-۱.

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

Nadal Romero, E., Latron, J., Marti-Bono, C. & Regues, D. (2008) temporal distribution of suspended sediment transport in a humid Mediterranean badland area: the Araguás catchment. *Central Pyrenees. Geomorphology*, 97(2), 601-616.

Hu, B. Q., Wang, H. J., Yang, Z. S. & Sun, X. X. (2011) Temporal and spatial variations of sediment rating curves in the Changing (Yangtze River) basin and their implications. *Quaternary International*, 230(1-2), 34-43.

Fan, X. L., Shi, C. X., Zhou, Y. Y. & Shao, W. (2012) Sediment rating curves in the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River and their implications. *Quaternary International*, 3(1), 1-11.

Horowitz, A.J. (2002). The use of rating (transport) curves to predict suspended sediment concentration: a matter of temporal resolution. *Turbidity and other sediment surrogates Workshop*. U.S. Geological Survey. 3 pp.

Harrington, S. Harrington, J. (2013). An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland. *Geomorphology*. 185: 27-38.

Rice, R.M. (1982). Sedimentation in the Chaparall: How do you Hhandle unusual events? In:



Sediment budgets and routing in forested drainage basins (Eds. F.J. Swanson, R.J. Janda, T. Dunne and D.N. Swanston) PNW-141. U.S. Forest Service Report.

Hadley RF, Lal R, Onstad CA, Walling DE, Yairo A. (1985). Recent developments in erosion and sediment yield studies. IHP, Unesco Project, A.1.3.1.