

برآورد بهینه غلظت بار معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی استان خوزستان)

حسین اسلامی^۱، جعفر دستورانی^۲

۱- استادیار گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۲۵

چکیده

نمونه برداری از جریان رودخانه و بار رسوبی در ایستگاه‌های رسوب سنجی به منظور اطلاع و آگاهی از میزان فرسایش و رسوب حوزه‌های بالادست انجام می‌شود. اندازه‌گیری‌های مستقیم از بار معلق رودخانه‌ها باید طوری باشد که برای اکثر جریان‌ها نمونه برداری اتفاق افتاده باشد ولی این عمل معمولاً با فواصل زمانی نامساوی صورت می‌گیرد و از طرفی لازم است که به صحت برآوردها از میانگین غلظت بار معلق پی برد زیرا در برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز اثر گذار است. از آنجایی که داده‌های مربوطه نامتقارن و دارای چولگی بوده بررسی برآوردکننده‌های بهینه در کاهش آریبی موثر است. بنابراین در این مقاله روش‌های برآوردکننده فیلتر کالمن (آنلاین) و برآوردکننده تعدیل‌کننده کالمن (آفلاین) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برآورگرهای بهینه آنلاین و آفلاین دارای خطای برآورد کمتری نسبت به روش‌های رگرسیونی ساده و خطی چندگانه و روش حداقل مربعات تعمیم یافته هستند. مقایسه روش‌های آنلاین و آفلاین نیز نشان داد که روش آفلاین از دقت بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: غلظت بارمعلق، برآوردکننده بهینه، فیلتر کالمن، تعدیل‌کننده

مقدمه

جریان (صورت می‌گیرد. این برآوردکننده‌ها مکانیسم مناسبی برای تعیین عدم قطعیت مقادیر تولید شده ندارند اما برآوردهای منطبق بر داده‌ها در زمان‌های اندازه‌گیری ناپیوسته ارائه می‌کنند. برآوردکننده‌های بهینه مزایای دو روش متوسط زمانی و متوسط وزنی را ترکیب می‌کنند تا به شکل یک مدل ریاضی رسمی در آید و از طرفی، عدم قطعیت آماری را در برآوردها شرح می‌دهد. ولی مهم این است که دقت این روش‌ها به شدت تحت تاثیر فواصل زمانی نمونه برداریهای بارمعلق قرار می‌گیرد و اگر فواصل نمونه برداری افزایش یابد میزان خطای برآورد بارمعلق افزایش می‌یابد خصوصاً زمانی که دبی جریان دارای تغییرات زیاد است. از اینرو تعیین فواصل زمانی

برآورد صحیح و دقیق رسوبدهی بار معلق حوضه‌ها هنگامی با اطمینان مقدور است که اندازه‌گیری مداوم غلظت رودخانه انجام گیرد. به این دلیل، تفاوت‌های زیادی بین برآوردهای انجام شده توسط افراد مختلف مشاهده می‌شود که ناشی از اختلاف روش‌های آماری به کار رفته است (عرب خدری، ۱۳۸۴).

در اکثر رودخانه‌های طبیعی، رسوبات عمدتاً به صورت بار معلق حمل می‌شوند (یانگ ۱۹۹۶) و از طرفی برآورد میانگین بارمعلق نیاز به ادغام داده‌های اندازه‌گیری شده پیوسته جریان و داده‌های مقطعی و ناپیوسته غلظت رسوب دارد. این عمل معمولاً از طریق درونیابی (روش‌های متوسط زمانی و وزنی

حالت مفید است چون که به مدل های مختلف اجازه نقش آفرینی در چارچوب ریاضی دو معادله را می دهد: ۱- یک معادله سیستم ۲- یک معادله اندازه گیری

کالمن ماتریس کوواریانس خطای بهینه برآورد را بدون فراخواندن پایداری فرآیند استوکاستیک زیرین برآورد نمود. کالمن و باکی (۱۹۶۱)، کالمن فیلتر تعمیم یافته را توسعه دادند که در آن یک معادله دیفرانسیلی غیرخطی نوع Riccati برای ماتریس خطاها در خروجی فیلتر بهینه تولید شد. یک اشکال فیلتر باکی کالمن برای پیش بینی وضعیت اندازه بردار شرایط مورد نیاز، روند محاسباتی طولانی است. تئوری کالمن فیلتر سیستم مشاهده را برای اندازه گیری برآوردکننده شرایط بکار می گیرد. تمام خطاهای مشاهده مورد توجه قرار می گیرند حتی اگر برآوردکننده سیستم نتواند اندازه گیری شود. به خاطر محاسبات گام به گام برای حصول راه حل بهینه، دوره آماری طولانی نیاز نیست. تئوری متغیرهای وابسته را پیش بینی می کند (مثل رواناب، بار رسوب و غیره) همچنین پارامترهای مدل را تعیین می کند بنابراین عدم قطعیت پارامتر را کاهش می دهد. تئوری کالمن فیلتر توانایی درهم آمیزی دانسته های پیشین را در متدولوژی پیش بینی را دارد. از این رو در این مقاله مقایسه روش های رگرسیونی ساده و خطی چندگانه و روش حداقل مربعات تعمیم یافته با برآوردکننده های بهینه انجام شده و توانایی برآوردکننده های بهینه، جهت بالابردن دقت برآورد غلظت رسوبات معلق، مورد تحقیق قرار گرفته است.

مواد و روش ها

با بررسی آمار حدود ۱۱۴ ایستگاه هیدرومتری استان خوزستان و مشخص نمودن متوسط تعداد داده های هر ایستگاه بطور سالانه و ماهانه، در نهایت ۱۰ ایستگاه شامل ایدنک (بطور متوسط بیش از ۳ داده در هرماه)، پل شالو، اهواز، تنگ پنج بختیاری (بطور

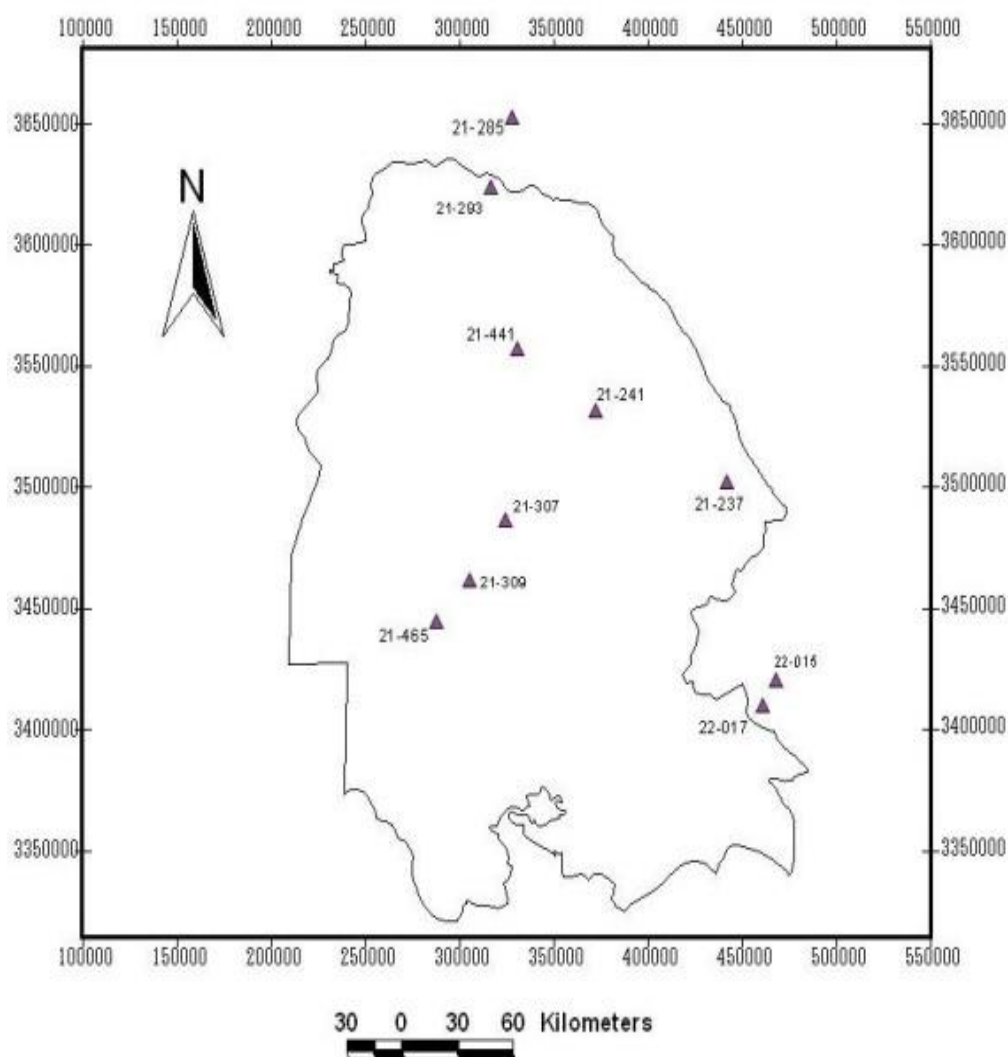
نمونه برداری جهت برآورد بهینه بار معلق بسیار حائز اهمیت است.

اندازه گیری های مستقیم از بار معلق رودخانه ها باید به گونه ای باشد که برای اکثر جریان ها نمونه برداری اتفاق افتاده باشد ولی این عمل معمولاً با فواصل زمانی نامساوی صورت می گیرد و ضروری است که به صحت برآوردها از میانگین غلظت بار معلق پی برد زیرا در برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه های آبخیز اثرگذار است. از آنجایی که داده های مربوطه نامتقارن و دارای چولگی بوده و بررسی برآوردکننده های بهینه در کاهش آریبی، اثر به سزایی دارد. معینی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از فیلتر کالمن در فضای حالت خطی، نتایج مدل ماسکینگام جهت رودخانه دز را اصلاح نمودند. نتایج حاصل از فیلتر مدل ماسکینگام با روش های کاملاً وفقی مقایسه شده و گویای توانایی ملموس و قابل توجه فیلتر کالمن در کاهش خطای محاسبه نسبت به خطای برداشت است. آزادی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی برای پیش بینی دمای سطح زمین فیلتر کالمن را روی دماهای بیشینه و کمینه برای ۱۱۷ ایستگاه در ایران و به مدت ۱۲۰ روز اعمال کردند. نتایج نشان داد که فیلتر کالمن برای روزهایی که خطای مدل زیاد یا متوسط بود، توانست پیش بینی مدل را تا حد قابل قبولی اصلاح کند اما برای روزهایی که خطای مدل کم بود کاربست فیلتر تاثیر چندانی در تصحیح خطا نداشت. خطا در پیش بینی بار رسوب بخاطر عدم قطعیت که بوسیله فرآیند فیزیکی، مدل، و داده های ورودی بوجود می آیند اگر فیلتر کالمن در یک مدل بار رسوب ادغام شود. می تواند کاهش یابد (لی و سینگ، ۱۹۹۹).

کالمن (۱۹۶۰) ضرایب یک معادله دیفرانسیلی غیر خطی را از طریق یک تکنیک برآورد زنجیره ای بهینه که کالمن فیلتر شناخته می شود، برآورد نمود. این تکنیک بر مبنای فرمولاسیون وضعیت مکانی زمانی فرآیند مشتعل می شود. فرمولاسیون فضای

در سال های دیگر مورد بررسی قرار گرفت. از داده های لگاریتمی در روش های مختلف برآورد و میان یابی استفاده شد. در مرحله بعد از برآوردکننده های مختلف برای تخمین و برآورد داده های غلظت رسوب استفاده گردید و با استفاده از روش های مختلف، میزان خطای هر روش محاسبه شد. دوره آماری ایستگاه ها مختلف بوده و از ۱۳۴۶ تا سال ۱۳۸۴ بوده است.

متوسط ۳ داده در هر ماه، بهبهان تنگ تکاب، سپید دشت سزار، گذارلندر (بطور متوسط ۲ داده در هر ماه)، ملاثانی، دشت بزرگ، فارسیات (بطور متوسط ۱ داده در هر ماه) برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. در جدول شماره ۱ مشخصات ایستگاه های انتخابی تشریح شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه و ایستگاه های مورد بررسی را نشان می دهد. آمار ایستگاه ها از لحاظ صحت و وجود داده های پرت در مقایسه با ایستگاه های دیگر و آمار خود ایستگاه ها



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان) و ایستگاه های رسوب سنجی انتخاب شده برآورد کننده های رگسیون

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی و آماره‌های توصیفی داده‌های غلظت رسوب و دبی جریان

نام ایستگاه	کد	متوسط تعداد داده در سال	دبی جریان (m ³ /s)					غلظت رسوب (mg/l)				
			حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
ایدنک	-۰۱۵	۴۶/۴۷	۰/۲۵	۸۱/۱۲۳	۱۸۵۷	۱۲۶/۲	۱/۵۶	۱۰	۷۶۹/۸۱	۹۳۷۳۲	۳۲۰۶/۳	۴/۱۶
پل شالو	-۲۳۷	۳۶/۸	۶/۴	۴۸۲/۹۴	۱۱۴۵۳۶	۴۱۲/۳۷	۰/۸۵	۱۵	۸۱۰/۷۰	۲۶۹۹۲۶	۲۳۰۰/۵	۲/۸۴
اهواز	-۳۰۹	۳۴/۲۱	۷/۷۷	۷۸۲/۸۹	۹۱۶۱/۳	۷۸۵/۱۳	۰/۹۲	۱۵	۷۷۰/۴۹	۱۷۷۴۱	۱۶۸۲/۵	۲/۲
تنگ پنج بختیاری	-۲۹۳	۳۱/۲	۹/۵	۲۴۰/۱۲	۹۰۱۸	۳۴۶/۵۸	۱/۴۴	۹/۶۷	۱۳۶۹/۴	۲۶۴۶۵	۲۳۳۵/۴	۱/۷
بهبهان - تنگ تکاب	-۰۱۷	۲۴/۳	۰/۰۱	۸۵/۰۳	۲۹۵۶/۳	۱۶۳/۰۸	۱/۹	۱۳/۳۳	۱۲۸۴/۷	۴۷۸۵۰	۴۲۲۷/۱	۳/۳
سپیددشت - سزار	-۲۸۵	۲۴/۳	۱/۰۸	۶۹/۲۱	۶۸۹	۸۵/۳۴	۱/۲۳	۱۰	۵۸۶/۰۳	۶۲۹۴۳	۲۶۳۴/۳	۴/۵
فارسیات	-۴۶۵	۱۲/۷	۱۳/۹	۷۴/۴۴	۹۴۶۵	۶۲۱/۵	۰/۹	۱۵	۵۲۳/۳۵	۵۱۶۴	۸۸۷/۹۱	۱/۷
ملاغانی	-۳۰۷	۱۴/۸	۱۷۲	۸۰۸/۹	۴۷۳۲	۷۷۸/۶	۰/۹۶	۱۵	۷۴۶/۱	۱۱۸۱۷	۱۴۱۴	۱/۹
دشت بزرگ	-۴۴۱	۱۲/۱۲	۰/۱۷	۲۶/۸۴۴	۹۰۵	۹۶/۵۴	۳/۴	۱۵	۱۶۴۷/۲	۵۳۰۶۰	۵۶۲۴/۴	۳/۶
گدارلندر	-۲۴۱	۲۷/۴	۲۰/۸	۵۱۴/۶۷	۳۳۵۶	۴۱۰/۱	۰/۸	۱۵	۵۵۵/۳۵	۱۷۳۵۳	۱۳۰۷/۳	۲/۳۵

متغیر مربوط به میزان تغییر در دبی جریان رودخانه در زمان K (یعنی زمان نمونه‌برداری) و متغیرهای تخمین تغییرپذیری فصلی لگاریتم غلظت بار معلق می‌باشد.

برآوردکننده‌های فضای حالت^۱

مدل‌های وضعیت، یک سیستم دینامیکی مانند غلظت‌های بار معلق را به مؤلفه‌های فرآیند و اندازه‌گیری تفکیک می‌کنند. مؤلفه فرآیند، تحول دینامیک‌های سیستم و عدم قطعیت‌های مرتبط با آن‌ها را توصیف می‌نماید. مؤلفه اندازه‌گیری، اثرات

در این روش‌ها، رابطه غلظت بار معلق (به عنوان متغیر پاسخ) با متغیرهای توصیفی دیگر مانند دبی جریان محاسبه می‌شود و سپس از آن برای برآورد غلظت بار معلق در دوره‌هایی که اندازه‌گیری مستقیم صورت نگرفته استفاده می‌شود. روش رگرسیون براساس اینکه یک متغیر یا بیش از یک متغیر به عنوان متغیر توصیفی در نظر گرفته شده باشد به رگرسیون‌های یک و چند متغیره معروفند. در رگرسیون خطی ساده، لگاریتم جریان تنها متغیر توصیفی است و رابطه لگاریتم غلظت بار معلق با لگاریتم جریان به دست می‌آید. همچنین در رگرسیون خطی چندگانه علاوه بر لگاریتم داده‌های دبی جریان از سایر متغیرها نیز استفاده شد که شامل

۱-State-space estimators

$$\chi_k = \varphi_{[gls]} \cdot \chi_{k-1} + w_{k-1} \quad (4)$$

$$y_k = \chi_k + U_k \cdot \beta_{[gls]} + v_k \quad (5)$$

معادله ۵ معادله حالت و معادله ۶ معادله اندازه‌گیری است.

$$\chi_k = \varphi_{[gls]} \cdot \chi_{k-1} + w_{k-1} \quad (6)$$

برآورد آنلاین

در این روش، با معلوم بودن برآوردهای اولیه از X حالت و کوواریانس خطای حالت، مدل فضای حالت می‌تواند به طور پیوسته جهت برآورد مقدار و عدم قطعیت حالت با استفاده از الگوریتم فیلتر کننده کالمن اصلاح شود.

برآورد آفلاین

تعدیل کننده یک روش ریاضی است که برآورد فیلتر رو به جلو را با برآورد فیلتر رو به عقب ترکیب می‌کند. بنابراین، تمام داده‌های قبل و بعد از زمانی که برآورد محاسبه می‌گردد مورد استفاده قرار می‌گیرند تا مقدار بهینه را تعیین نمایند. تعدیل کننده‌ها بر اساس داده‌های بیشتر از فیلترهای رو به جلو هستند و درست‌تر هستند. تعدیل کننده یک روش برآورد آفلاین در نظر گرفته می‌شود زیرا برآوردها تا اندازه‌گیری‌ها در انتهای فواصل برآورد که در دسترس می‌باشند به تأخیر انداخته می‌شوند. معمولاً سه نوع تعدیل کننده وجود دارد. نخست، تعدیل کننده به فاصله ثابت، برآوردکننده ای است که مقادیر بهینه از تمام وضعیت‌های درون فاصله برآورد (با تعریف ابتدا و انتهای اندازه‌گیری‌ها) فراهم می‌نماید. دوم، تعدیل گر نقطه ثابت، برآوردکننده ای است که مقادیر بهینه برای یک نقطه ثابت در زمان (مانند شرایط اولیه) فراهم می‌نماید. سوم، تعدیل کننده Fixedlay برآوردکننده ای است که مقدار بهینه وضعیت در فاصله زمانی ثابت بعد از آخرین اندازه‌گیری فراهم می‌نماید. برای این تحقیق

استاتیک متغیرهای توصیفی و عدم قطعیت مرتبط در فرآیند اندازه‌گیری را توصیف می‌کند. فرآیند تعدیل برای اندازه‌گیری‌های مستقیم، بسته به مجموعه اندازه‌گیری مستقیم مورد استفاده در برآورد، به صورت پیش‌بینی کننده، فیلتر کننده یا تعدیل کننده توصیف می‌شود. پیش‌بینی کننده فقط اندازه‌گیری‌های قبل از زمان برآورد استفاده می‌کند. فیلتر کننده فقط اندازه‌گیری‌های تا زمان برآورد و خود زمان برآورد را استفاده می‌کند و تعدیل کننده اندازه‌گیری‌های قبل و بعد از زمان برآورد را استفاده می‌کند. برآوردهای پیش‌بینی شده و فیلتر شده، داده‌های آنلاین^۱ (یعنی اطلاعاتی که به طور پیوسته می‌تواند تا زمان حاضر (واقعی) به هنگام شوند) را عرضه و آماده می‌کند. برآوردهای تعدیل شده فقط داده‌های آفلاین^۲ را تهیه و آماده می‌کنند (یعنی برآوردها تا اندازه‌گیری‌های مستقیم بعدی که در دسترس هستند به تأخیر انداخته می‌شوند). به هر حال، صحت برآوردهای آفلاین در مجموع بیشتر از صحت برآوردهای مقادیر آنلاین هستند. معادله رگرسیون حداقل مربعات تعمیم یافته برای انتقال بین مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های فضای حالت استفاده می‌شود. در این مقاله مدل حداقل مربعات تعمیم داده شده (gls) به صورت زیر است.

$$y_k = [U_{k,0} \quad U_{k,1} \quad \dots \quad U_{k,p}] \cdot \beta + \chi_k \quad (1)$$

$$\chi_k = \varphi \chi_{k-1} + \varepsilon_k \quad (2)$$

معادله شماره ۲ پارمتر φ را دارد که توصیف کننده مؤلفه خطا به عنوان یک فرآیند اتورگرسیون درجه اول است. جهت تکمیل انتقال از مدل رگرسیون gls به مدل وضعیت، مؤلفه خطا به مؤلفه اختلال (noise) فرآیند (w_k) و مؤلفه اختلال اندازه‌گیری v_k تفکیک شد.

$$\varepsilon_k = w_k + v_k \quad (3)$$

۱-Online

۲-Offline

MAE میانگین قدر مطلق خطا، MBE میانگین خطای انحراف، RMSE ریشه دوم میانگین مربع خطا $Z^*(x_i)$ مقادیر برآورده شده متغیر x در نقطه i و $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده شده متغیر x در نقطه i و n تعداد متغیر مشاهده شده است که هر قدر این معیارها به صفر نزدیک تر باشند نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده ای است.

نتایج

با استفاده از نرم افزار Minitab پارامترهای روابط رگرسیون ساده و چندگانه و GLS همراه با مقادیر R^2 ، RMSE و آماره دوربین واتسون جهت مقایسه و انتخاب مدل رگرسیونی بهتر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است. نتایج نشان می دهد که روش حداقل مربعات تعمیم داده شده دقت بیشتری در برآورد مقادیر غلظت رسوبات دارد بطوریکه در تمام ایستگاه ها دارای مقدار r^2 بیشتر و RMSE کمتر نسبت به دو روش دیگر دارد. رگرسیون خطی چندگانه هم نسبت به روش رگرسیون ساده ارجحیت داشته بطوریکه دارای دقت برآورد بیشتری می باشد.

الگوریتم تعدیل کننده فاصله ثابت موسوم به تعدیل کننده Ranch- Tung- Striebel (RTS) استفاده می شود (گلب، ۱۹۷۴؛ گریوال و اندریو، ۱۹۹۳). برای اجرای تعدیل گر، فیلتر کالمن تا اندازه گیری انتهای فاصله برآورد می رسد. تمام عناصر (المنت های) حالت و کوواریانس که از طریق فیلتر محاسبه شده اند، بهره برداری می شوند.

مقایسه برآورد کننده ها

فیلترها و تعدیل گرها با استفاده از داده های روزهای نمونه برداری شده بروز می شوند و صحت برآورد کننده ها براساس ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی از معیارهای زیر تعیین می شود:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (8)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad (10)$$

جدول ۲ - ارزیابی دقت برآورد کننده های مختلف (Slr رگرسیون خطی ساده، Mlr رگرسیون خطی چندگانه و GlS حداقل مربعات تعمیم داده شده)

آماره	تعداد داده	معادله	نام ایستگاه	آماره	تعداد داده	معادله	نام ایستگاه
دوربین واتسون	RMSE	r^2		دوربین واتسون	RMSE	r^2	
۱/۰۳	۰/۵۸۹۵	۰/۱۱۵	Slr	۱/۲۴	۰/۶۵۶۵	۰/۱۳۶	Slr
۱/۱	۰/۵۶۹۹	۰/۱۷۳	۱۷۲۱ Mlr	۱/۳۳	۰/۶۳۰۸	۰/۲۰۲	۹۵۲ Mlr
۲/۰۵	۰/۵۱۳۷	۰/۳۲۸	Gls	۲	۰/۶۰۱۲	۰/۲۷۶	Gls
۱/۰۳	۰/۴۱۳۵	۰/۴۵۰	Slr	۱/۰۶	۰/۴۴۸۷	۰/۳۷۲	Slr
۱/۱۴	۰/۳۹۰۷	۰/۵۱۷	۱۲۸۹ Mlr	۱/۱۲	۰/۴۴۱۲	۰/۳۹۳	۷۸۱ Mlr
۱/۸۱	۰/۳۶۵۱	۰/۵۷۸	Gls	۲/۰۴	۰/۳۹۸۴	۰/۵۰۵	Gls
۱/۰۵	۰/۴۳۵۷	۰/۳۳۵	۱۲۰۴ Slr	۱/۴۴	۰/۴	۰/۳۷۸	۵۵۴ Slr

بهبهان - تنگ تکاب

سپیددشت - سزار

ملائانی

۱/۱۷	۰/۴۰۵۴	۰/۴۲۴	MIr	تنگ پنج	۱/۵۶	۰/۳۸۴۷	۰/۴۳۱	MIr
۱/۹۶	۰/۳۷۶۹	۰/۵۰۳	Gls	بختیاری گدارلندر	۱/۸۵	۰/۳۸۰۹	۰/۴۴۳	Gls
۱/۲۲	۰/۳۸۸۴	۰/۵۱۵	Slr		۱/۱۵	۰/۴	۰/۴۴۷	Slr
۱/۳۵	۰/۳۶۱۲	۰/۵۸۱	MIr	تنگ پنج	۱/۲۹	۰/۳۷۷۹	۰/۵۱۷	MIr
۱/۸۸	۰/۳۴۷۹	۰/۶۱۱	Gls	بختیاری	۲/۱۱	۰/۳۶۳۲	۰/۵۵۴	Gls
۱	۰/۴۷۷۱	۰/۲۵۴	Slr		۱/۲۱	۰/۵۰۰۷	۰/۴۴	Slr
۱/۰۵	۰/۴۵۸۶	۰/۳۱۱	MIr	گدارلندر	۱/۲۳	۰/۴۸۸	۰/۴۷۷۶	MIr
۲/۰۹	۰/۴۰۸۲	۰/۴۵۵	Gls		۲/۱۱	۰/۴۶۶۹	۰/۵۰۹	Gls

نتایج برآوردکننده های بهینه

روش های فیلتر کالمن بوضوح نتایج دقیقتری نسبت به روش های رگرسیونی ارائه کرده اند. در تمام ایستگاه ها روش های آنلاین و آفلاین، RMSE کمتری نسبت به روش های رگرسیونی برخوردار هستند. همچنین این دو روش دارای R^2 بیشتری نسبت به روش های رگرسیونی هستند. مقایسه روش های آنلاین و آفلاین نیز نشان دهنده دقت بیشتر روش آفلاین می باشد (جدول شماره ۳).

آماره دوربین-واتسون آزمونی برای همبستگی سریالی است و هرچقدر مقدارش پایین باشد خود همبستگی مثبت بالایی را نشان می دهد. مقادیر این آزمون برای داده های مورد بررسی، وجود همبستگی را نشان می دهد. بنابراین، نقض فرض باقیمانده های مستقل، مرتبط با رگرسیون حداقل مربعات معمولی است. لذا روشهای رگرسیونی دارای خطا هستند و استفاده از آنها جای تامل دارد.

جدول ۳- مقایسه دو روش آنلاین و آفلاین در کاهش میزان خطای برآورد بار معلق

MBE	MAE	RMSE	R^2	روش	نام ایستگاه	کد ایستگاه
-۰/۰۴۰۸	۰/۰۴۴	۰/۰۵۵۵	۰/۹۹۸	آنلاین	ایدنک	۲۲-۰۱۵
-۰/۰۲۴۵	۰/۰۳۴۶	۰/۰۴۷۰	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۲۶	۰/۰۳۴۹۷	۰/۴۲۳۷	۰/۹۹۸	آنلاین	پل شالو	۲۱-۲۳۷
-۰/۰۲۱۸	۰/۰۳۲۱	۰/۳۹۴۴	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۴۲۲	۰/۰۴۳۱	۰/۰۵۰۵	۰/۹۹۹	آنلاین	اهواز	۲۱-۳۰۹
-۰/۰۲۸۳	۰/۰۳۱۹	۰/۰۴۰۲	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۳۶۸	۰/۰۳۸۸	۰/۰۴۵۰	۰/۹۹۹	آنلاین	تنگ پنج بختیاری	۲۱-۲۹۳
-۰/۰۲۹۰	۰/۰۳۲۴	۰/۰۳۸۸	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۴۳۵	۰/۰۴۵۵	۰/۰۵۲۸	۰/۹۹۹	آنلاین	گدارلندر	۲۱-۲۴۱
-۰/۰۲۴۵	۰/۰۳۱۴	۰/۰۴۰۶	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۳۶۳	۰/۰۴۲۹	۰/۰۵۷	۰/۹۹۹	آنلاین	بهبهان - تنگ تکاب	۲۲-۰۱۷
-۰/۰۲۶۱	۰/۰۳۸۱	۰/۰۵۲۳	۰/۹۹۸	آفلاین		

۰/۰۴۱	۰/۰۴۳۴	۰/۰۵۰۵	۰/۹۹۹	آنلاین	سپیددشت-سزار	۲۱-۲۸۵
-۰/۰۲۵۱	۰/۰۳۲۵	۰/۰۳۹۹	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۷۸	۰/۰۳۶۴	۰/۹۹۸	آنلاین	ملائانی	۲۱-۳۰۷
-۰/۰۲۰۲	۰/۰۲۵۷	۰/۰۳۴۴	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۵۹	۰/۰۴۳۶	۰/۹۹۸	آنلاین	فارسیات	۲۱-۴۶۵
-۰/۰۲۵۸	۰/۰۲۹۷	۰/۰۳۷۲	۰/۹۹۸	آفلاین		
-۰/۰۲۵۹	۰/۰۳۴۹	۰/۰۴۲۳	۰/۹۹۸	آنلاین	دشت بزرگ	۲۱-۴۴۱
-۰/۰۲۱۸	۰/۰۳۲۱	۰/۰۳۹۴	۰/۹۹۸	آفلاین		

بحث و نتیجه گیری

مقایسه سه مدل رگرسیونی SLR ، MLR و GLS نشان می دهد که RMSE سه مدل فوق ارتباط کمتری با متوسط تعداد نمونه در ماه دارد بلکه بیشتر با ضریب تغییرات غلظت بار معلق در ارتباط است. مثلا در ایستگاههای بهبهان، گذارلند و سپید دشت سزار با دو نمونه در ماه اما با ضریب تغییرات غلظت رسوب به ترتیب ۴/۵ ، ۳/۳ ، ۱/۷ و ضریب تغییرات جریان همین ایستگاهها به ترتیب ۱/۹ ، ۰/۸ ، ۱/۳۳ ، میزان RMSE سه مدل به ترتیب از ایستگاه سپید دشت سزار به گذارلند و بهبهان افزایش می یابد. مقایسه RMSE سه مدل در ایستگاه بهبهان وایدنک به ترتیب با دو نمونه و بیش از سه نمونه در ماه و با ضریب تغییرات بالای رسوب و جریان نزدیک به هم، نشان می دهد که افزایش حدود دو نمونه در ماه نتوانسته میزان RMSE را به حد کافی کاهش دهد. (RMSE حداقل برابر با ۰/۵۱۳۷ است). دو ایستگاه تنگ پنج بختیاری با سه نمونه و سپید دشت سزار با یک نمونه در ماه اما با ضریب تغییرات یکسان برای غلظت بار معلق و البته پایین (ضریب تغییرات ۱/۷)، RMSE حدود ۰/۰۲ در ایستگاه سپید دشت سزار است. لذا در رودخانه های با ضریب تغییرات پایین غلظت رسوب و هنگام استفاده از روشهای رگرسیونی جهت برآورد غلظت با RMSE حدود ۰/۳۵ می توان به سه نمونه و با

RMSE حدود ۰/۳۸ می توان به یک نمونه در ماه اکتفا نمود.

به طور کلی می توان چنین نتیجه گرفت که تعداد نمونه برداری را باید بر اساس ضریب تغییرات غلظت بار معلق تعیین نمود و در شرایط تقریباً یکسان اما با ضریب تغییرات بالای غلظت رسوب (در اینجا ۴/۵) افزایش نمونه از یک بار به بیش از سه بار در ماه می توان حدود ۰/۰۶ میزان RMSE را کاهش دهد. ولی در ضریب تغییرات پایین رسوب (در اینجا ۱/۷) با افزایش نمونه برداری از یکبار به سه بار در ماه میزان RMSE را فقط به اندازه ۰/۰۲ کاهش می دهد.

نتایج اعمال روشهای بهینه سازی برآورد بار معلق یعنی رویکردهای آنلاین و آفلاین نشان داد که میزان خطا به طور قابل توجه کاهش یافت و در برخی ایستگاهها به کمتر از نصف خطا در روشهای رگرسیونی رسید. همچنین روش آفلاین که به عنوان تعدیل کننده روش فیلتر کالمن شناخته می شود نسبت به خود کالمن از دقت بیشتری برخوردار است هر چند که اختلاف زیادی با آن ندارد. آقای هولشتلگ (۲۰۰۱) نیز با مقایسه روش های برآورد بهینه (آنلاین و آفلاین) با روشهای رگرسیونی و درون یابی به این نتیجه رسید که برآوردکننده های بهینه دارای دقت بالاتری هستند. در نهایت اعمال

روش‌های بهینه سازی برآورد غلظت بار معلق پیشنهاد می گردد.

سیاسگزاری

اعتبار لازم برای اجرای این تحقیق از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر در قالب طرح پژوهشی "اثر فواصل زمانی نمونه برداری در برآورد بهینه از غلظت بار معلق رودخانه ها" (مطالعه موردی استان خوزستان) تامین شده است که بدینوسیله از فرصت ایجاد شده سیاسگزاری می شود.

منابع

- ۱- عرب خدری، م. (۱۳۸۴). بررسی رسوبدهی معلق حوزه های آبخیز ایران، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۲): ۵۱-۶۰.
- ۲- آزادی، م.، جعفری، س.، میرزایی، ا. و عربلی، پ. (۱۳۸۷). پس پردازش برون داد مدل میان مقیاس MM5 برای دمای بیشینه و کمینه با استفاده از فیلتر کالمن. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۱، ۴۵-۶۱.
- ۳- معینی، ع.، عبداللهی معمارزاده، س. ح. ر. و ناصری، م. (۱۳۸۶). بررسی نتایج اصلاح ناشی از بکارگیری فیلتر کالمن بر مدل ماسکینگام. مجموعه مقالات همایش ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد.
- ۴- Gelb A. ۱۹۷۴. Applied Optimal Estimation. MIT Press: Cambridge, MA; ۳۷۴.
- ۵- Grewal MS, Andrews AP. ۱۹۹۳. Kalman Filtering-Theory and Practice. Prentice Hall Information and System Science Series: Englewood Cliffs, NJ; ۳۸.
- ۶- Holtschlag, D.J. ۲۰۰۱. Optimal estimation of suspended-sediment concentrations in streams. Hydrol. Process. ۱۵, ۱۱۳۳-۱۱۵۵.
- ۷- Kalman, R. E. ۱۹۶۰. A new approach to linear filtering and prediction problems, Trans. Asme J. of Basic Eng., ۸۲, ۳۴-۴۵.
- ۸- Kalman, R. E. and Bucy, R. S. ۱۹۶۱. New results in linear filtering and prediction theory, Trans Asme, J. of Basic Eng., ۸۳, ۹۵-۱۰۷.
- ۹- Lee, Y.H., Singh, V.P. (۱۹۹۹). Prediction of sediment yield by coupling Kalman filter with instantaneous unit sediment graph. Hydrological processes, ۱۳(۱۷), ۲۸۶۱-۲۸۷۵.
- ۱۰- O'Connell, P. E. and Clarke, R. T. ۱۹۸۱. Adaptive hydrological forecasting & a review, Hydrol. Sci. Bull., ۲۶, ۱۷۹-۲۰۵.
- ۱۱- Yang CT. ۱۹۹۶. Sediment Transport-Theory and Practice. McGraw-Hill: New York; ۳۹۶.

