برآورد بهینه غلظت بار معلق رودخانه ها(مطالعه موردی استان خوزستان)

حسین اسلامی[1]، جعفر دستورانی [2]

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

۲- دانشجوی دکترای دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۳۸۹/۵/۳۱

چکیده

نمونه برداری از جریان رودخانه و بار رسوبی در ایستگاه های رسوب سنجی به منظور اطلاع و آگاهی از میزان فرسایش و رسوب حوزه های بالادست انجام می شود. اندازه گیری های مستقیم از بار معلق رودخانه ها باید طوری باشد که برای اکثر جریان ها نمونه برداری اتفاق افتاده باشد ولی این عمل معمولاً با فواصل زمانی نامساوی صورت می گیرد و از طرفی لازم است که به صحت برآوردها از میانگین غلظت بار معلق پی برد زیرا در برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه های آبخیز اثر گذار است. از آنجایی که داده های مربوطه نامتقارن و دارای چولگی بوده بررسی برآوردکننده های بهینه در کاهش اریبی موثراست. بنابراین در این مقاله روش های برآوردکننده فیلتر کالمن (آنلاین) و برآوردکننده تعدیل کننده کالمن(آفلاین) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برآورگرهای بهینه آنلاین و آفلاین دارای خطای برآورد کمتری نسبت به روش های رگرسیونی ساده و خطی چندگانه و روش حداقل مربعات تعمیم یافته هستند. مقایسه روش های آنلاین و آفلاین نیز نشان داد که روش آفلاین از دقت بالاتری برخوردار است.

واژه های کلیدی: ***غلظت بارمعلق، برآوردکننده بهینه، فیلترکالمن،تعدیل کننده***

مقدمه

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

در اکثر رودخانه های طبیعی، رسوبات عمدتا به صورت بار معلق حمل می شوند(یانگ۱۹۹۶) و از طرفی برآورد میانگین بارمعلق نیاز به ادغام داده های اندازه گیری شده پیوسته جریان و داده های مقطعی و ناپیوسته غلظت رسوب دارد. این عمل معمولا از طریق درونیابی (روش های متوسط زمانی و وزنی جریان) صورت می گیرد. این برآوردکننده‌ها مکانیسم مناسبی برای تعیین عدم قطعیت مقادیر تولید شده ندارند اما برآوردهای منطبق بر داده ها در زمان‌های اندازه گیری ناپیوسته ارایه می کنند. برآوردکننده های 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 می گیرد و اگر فواصل نمونه‌برداری افزایش یابد میزان خطای برآورد بارمعلق افزایش می‌یابد خصوصا زمانی که دبیجریان دارای تغییرات زیاد است .از اینرو تعیین فواصل زمانی نمونه برداری جهت برآورد بهینه بار معلق بسیار حائز اهمیت است.

اندازه گیری‌های مستقیم از بار معلق رودخانه‌ها 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 اریبی، 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 کاملا 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).

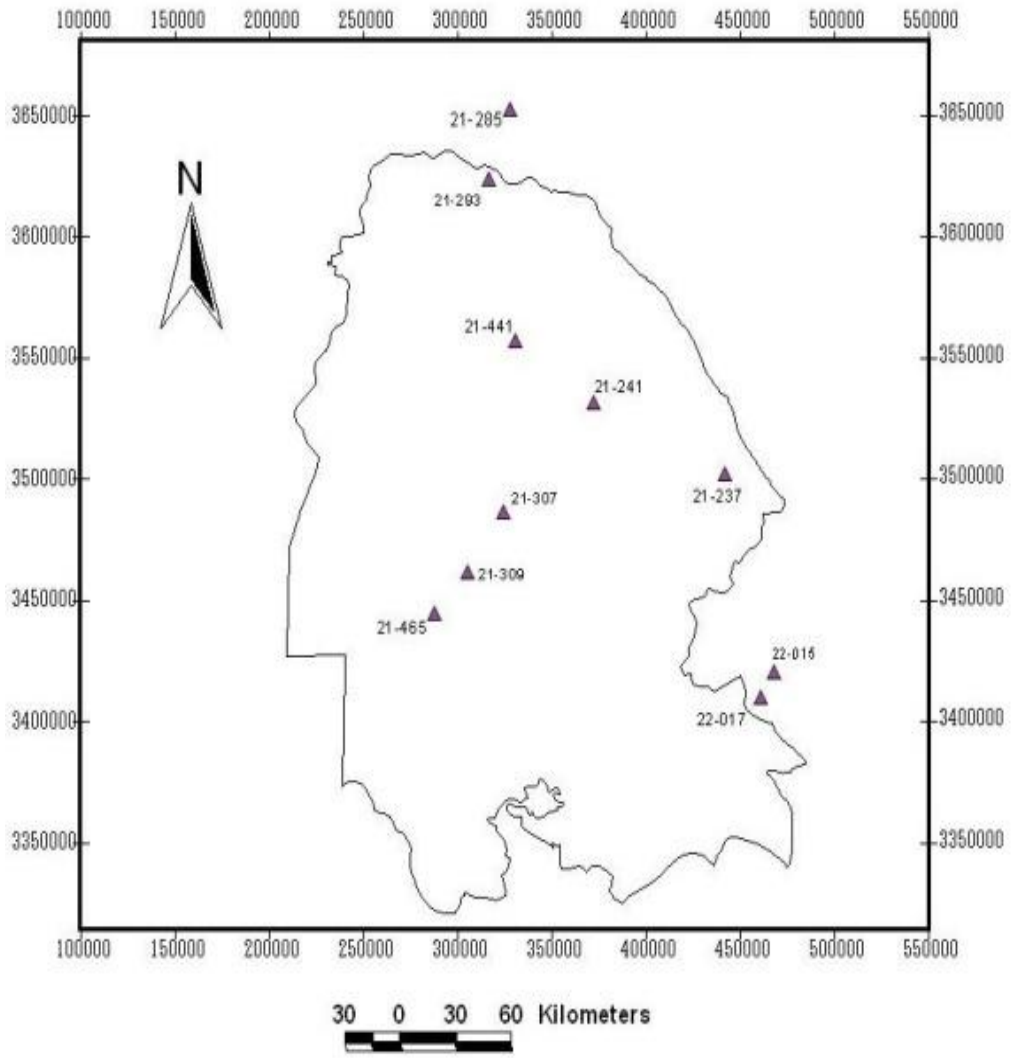
کالمن(۱۹۶۰) ضرایب یک معادله دیفرانسیلی غیر خطی را از طریق یک تکنیک برآورد زنجیره ای بهینه که کالمن فیلتر شناخته می شود، برآورد نمود. این تکنیک بر مبنای فرمولاسیون وضعیت مکانی زمانی فرآیند مشتمل می شود. فرمولاسیون فضای حالت مفید است چون که به مدل های مختلف اجازه نقش آفرینی در چارچوب ریاضی دو معادله را 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 می‌کند(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 متوسط ۳ داده در هر ماه)، بهبهان تنگ تکاب، سپید دشت سزار، گدارلندر(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 ایستگاه‌های انتخابی تشریح شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه و ایستگاه‌های 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 در سال های دیگر مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های 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 تاسال ۱۳۸۴ بوده است.



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

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی و آماره های توصیفی داده های غلظت رسوب و دبی جریان

نام ایستگاه	کد وزارت نیرو	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	۰۱۵-۲۲	۴۶/۴۷	۰/۲۵	۸۱/۱۲۳	۱۸۵۷	۱۲۶/۲	۱/۵۶	۱۰	۷۶۹/۸۱	۹۳۷۳۲	۳۲۰۶/۳	۴/۱۶
پل شالو	۲۳۷-۲۱	۳۶/۸	۶/۴	۴۸۲/۹۴	۱۱۴۵۳۶	۴۱۲/۳۷	۰/۸۵	۱۵	۸۱۰/۷۰	۲۶۹۹۲۶	۲۳۰۰/۵	۲/۸۴
اهواز	۳۰۹-۲۱	۳۴/۲۱	۷/۷۷	۷۸۲/۸۹	۹۱۶۱/۳	۷۸۵/۱۳	۰/۹۲	۱۵	۷۷۰/۴۹	۱۷۷۴۱	۱۶۸۲/۵	۲/۲
تنگ پنج بختیاری	۲۹۳-۲۱	۳۱/۲	۹/۵	۲۴۰/۱۲	۹۰۱۸	۳۴۶/۵۸	۱/۴۴	۹/۶۷	۱۳۶۹/۴	۲۶۴۶۵	۲۳۳۵/۴	۱/۷
بهبهان - تنگ تکاب	۰۱۷-۲۲	۲۴/۳	۰/۰۱	۸۵/۰۳	۲۹۵۶/۳	۱۶۳/۰۸	۱/۹	۱۳/۳۳	۱۲۸۴/۷	۴۷۸۵۰	۴۲۲۷/۱	۳/۳
سپیددشت-سزار	۲۸۵-۲۱	۲۴/۳	۱/۰۸	۶۹/۲۱	۶۸۹	۸۵/۳۴	۱/۲۳	۱۰	۵۸۶/۰۳	۶۲۹۴۳	۲۶۳۴/۳	۴/۵
فارسیات	۴۶۵-۲۱	۱۲/۷	۱۳/۹	۷۴/۴۴	۹۴۶۵	۶۲۱/۵	۰/۹	۱۵	۵۲۳/۳۵	۵۱۶۴	۸۸۷/۹۱	۱/۷
ملاثانی	۳۰۷-۲۱	۱۴/۸	۱۷۲	۸۰۸/۹	۴۷۳۲	۷۷۸/۶	۰/۹۶	۱۵	۷۴۶/۱	۱۱۸۱۷	۱۴۱۴	۱/۹
دشت بزرگ	۴۴۱-۲۱	۱۲/۱۲	۰/۱۷	۲۶/۸۴۴	۹۰۵	۹۶/۵۴	۳/۴	۱۵	۱۶۴۷/۲	۵۳۰۶۰	۵۶۲۴/۴	۳/۶
گدارلندر	۲۴۱-۲۱	۲۷/۴	۲۰/۸	۵۱۴/۶۷	۳۳۵۶	۴۱۰/۱	۰/۸	۱۵	۵۵۵/۳۵	۱۷۳۵۳	۱۳۰۷/۳	۲/۳۵

در این روش‌ها، رابطه غلظت بار معلق(به عنوان متغیر پاسخ) با متغیرهای توصیفی دیگر مانند دبی جریان محاسبه می شود 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 متغیر مربوط به میزان تغییر در دبی جریان رودخانه در زمان K (یعنی زمان نمونه‌برداری) و متغیرهای تخمین تغییرپذیری فصلی لگاریتم غلظت بار معلق می باشد.

برآوردکننده های فضای حالت[1]

مدل‌های وضعیت، یک سیستم دینامیکی مانند غلظت‌های بار معلق را به مؤلفه‌های فرآیند و اندازه‌گیری تفکیک می‌کنند. مولفه فرآیند، تحول دینامیکهای سیستم و عدم قطعیتهای مرتبط با آن‌ها را توصیف می نماید. مولفه اندازه‌گیری، اثرات استاتیک متغیرهای توصیفی و عدم قطعیت مرتبط در فرآیند اندازه‌گیری را توصیف می‌کند. فرآیند تعدیل برای اندازه‌گیری‌های مستقیم، بسته به مجموعه اندازه‌گیری

1-State-space estimators

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[1] (یعنی اطلاعاتی که به طور پیوسته می‌تواند تا زمان حاضر (واقعی) به هنگام شوند) را عرضه و آماده می‌کنند. برآوردهای تعدیل شده فقط داده‌های آفلاین[2]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 رگرسیونی 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.

$$y_k = [U_{k,0}\ U_{k,1}\ \ \dots\ \ U_{k,p}\ ].\ \beta + \chi_k \qquad (۱)$$

$$\chi_k = \varphi\ \chi_{k-1} + \varepsilon_k \qquad (۲)$$

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

$$\varepsilon_k = w_k + \upsilon_K \qquad (۳)$$

$$\chi_k = \varphi_{[gls]}.\ \chi_{k-1} + w_{k-1} \qquad (۴)$$

$$y_k = \chi_k + U_k.\ \beta_{[gls]} + \upsilon_K \qquad (۵)$$

معادله ۵ معادله حالت و معادله ۶ معادله اندازه‌گیری است.

$$\chi_k = \varphi_{[gls]}.\ \chi_{k-1} + w_{k-1} \qquad (۶)$$

برآورد آنلاین

در این روش، با معلوم بودن برآوردهای اولیه از X_0 حالت و کوواریانس خطای حالت، مدل فضای حالت می‌تواند به طور پیوسته جهت برآورد مقدار و عدم قطعیت حالت با استفاده از الگوریتم فیلتر کنندهٔ 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 درنظر گرفته می‌شود زیرا برآوردها تا اندازه گیری‌ها در انتهای فواصل برآورد که در دسترس می‌باشند به تأخیر انداخته می‌شوند.معمولا 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، تعدیل‌گر نقطهٔ ثابت، برآوردکننده ای است که مقادیر بهینه برای یک نقطهٔ ثابت در زمان (مانند شرایط اولیه) فراهم می‌نماید. سوم، تعدیل کنندهٔ Fixedlay برآوردکننده ای است که مقدار بهینه وضعیت در فاصله زمانی ثابت بعد از آخرین اندازه‌گیری فراهم می‌نماید. برای این تحقیق الگوریتم تعدیل کنندهٔ فاصله ثابت موسوم به تعدیل کنندهٔ Ranch- Tung- Striebel (RTS) استفاده می‌شود(گلب،۱۹۷۴:گریوال و اندریو،۱۹۹۳). برای اجرای تعدیل‌گر، فیلتر کالمن تا اندازه‌گیری انتهای

1- Online
2- Offline

فاصله برآورد می‌رسد. تمام عناصر (المنت‌های) حالت و کوواریانس که از طریق فیلتر محاسبه شده‌اند، بهره‌برداری می‌شوند.

مقایسه برآوردکننده ها

فیلترها و تعدیل‌گرها با استفاده از داده‌های روزهای نمونه‌برداری شده بروز می‌شوند و صحت برآوردکننده ها براساس ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی از معیارهای زیر تعیین می شود:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|(Z^*(x_i) - Z(x_i)\right| \quad (۸)$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left((Z^*(x_i) - Z(x_i)\right) \quad (۹)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(xi) - Z(xi)\right]^2}{n}} \quad (۱۰)$$

MAE میانگین قدر مطلق خطا، MBE میانگین خطای انحراف ، RMSE ریشه دوم میانگین مربع خطا$Z^*(x_i)$ مقادیر برآورده شده متغیرx در نقطه i و $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده شده متغیرx 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.

جدول۲ - ارزیابی دقت برآوردکننده های مختلف (Slr رگرسیون خطی ساده، Mlr رگرسیون خطی چندگانه و Gls حداقل مربعات تعمیم داده شده)

نام ایستگاه	معادله	تعداد داده	r^2	RMSE	آماره دوربین واتسون	نام ایستگاه	معادله	تعداد داده	r^2	RMSE	آماره دوربین واتسون
بهبهان- تنگ تکاب	Slr	۹۵۲	۰/۱۳۶	۰/۶۵۶۵	۱/۲۴	ایدنک	Slr	۱۷۲۱	۰/۱۱۵	۰/۵۸۹۵	۱/۰۳
	Mlr		۰/۲۰۲	۰/۶۳۰۸	۱/۳۳		Mlr		۰/۱۷۳	۰/۵۶۹۹	۱/۱
	Gls		۰/۲۷۶	۰/۶۰۱۲	۲		Gls		۰/۳۲۸	۰/۵۱۳۷	۲/۰۵
سپیددشت- سزار	Slr	۷۸۱	۰/۳۷۲	۰/۴۴۸۷	۱/۰۶	پل شالو	Slr	۱۲۸۹	۰/۴۵۰	۰/۴۱۳۵	۱/۰۳
	Mlr		۰/۳۹۳	۰/۴۴۱۲	۱/۱۲		Mlr		۰/۵۱۷	۰/۳۹۰۷	۱/۱۴
	Gls		۰/۵۰۵	۰/۳۹۸۴	۲/۰۴		Gls		۰/۵۷۸	۰/۳۶۵۱	۱/۸۱
ملاثانی	Slr	۵۵۴	۰/۳۷۸	۰/۴	۱/۴۴	اهواز تنگ پنج بختیاری گدارلندر	Slr	۱۲۰۴	۰/۳۳۵	۰/۴۳۵۷	۱/۰۵
	Mlr		۰/۴۳۱	۰/۳۸۴۷	۱/۵۶		Mlr		۰/۴۲۴	۰/۴۰۵۴	۱/۱۷
	Gls		۰/۴۴۳	۰/۳۸۰۹	۱/۸۵		Gls		۰/۵۰۳	۰/۳۷۶۹	۱/۹۶

فارسیات	Slr	۱/۱۵	۰/۴	۰/۴۴۷		Slr		۰/۵۱۵	۰/۳۸۸۴	۱/۲۲
	Mlr	۱/۲۹	۰/۳۷۷۹	۰/۵۱۷	۲۵۲	Mlr	تنگ پنج بختیاری	۰/۵۸۱	۰/۳۶۱۲	۱/۳۵
	Gls	۲/۱۱	۰/۳۶۳۲	۰/۵۵۴		Gls		۰/۶۱۱	۰/۳۴۷۹	۱/۸۸
دشت بزرگ	Slr	۱/۲۱	۰/۵۰۰۷	۰/۴۴		Slr		۰/۲۵۴	۰/۴۷۷۱	۱
	Mlr	۱/۲۳	۰/۴۸۸	۰/۴۷۷۶	۳۰۱	Mlr	گدارلندر	۰/۳۱۱	۰/۴۵۸۶	۱/۰۵
	Gls	۲/۱۱	۰/۴۶۶۹	۰/۵۰۹		Gls		۰/۴۵۵	۰/۴۰۸۲	۲/۰۹

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.

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) .

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

کد ایستگاه	نام ایستگاه	روش	R^2	RMSE	MAE	MBE
۲۲-۰۱۵	ایدنک	آنلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۵۵۵	۰/۰۴۴	-۰/۰۴۰۸
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۴۷۰	۰/۰۳۴۶	-۰/۰۲۴۵
۲۱-۲۳۷	پل شالو	آنلاین	۰/۹۹۸	۰/۴۲۳۷	۰/۰۳۴۹۷	-۰/۰۲۶
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۳۹۴۴	۰/۰۳۲۱	-۰/۰۲۱۸
۲۱-۳۰۹	اهواز	آنلاین	۰/۹۹۹	۰/۰۵۰۵	۰/۰۴۳۱	-۰/۰۴۲۲
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۴۰۲	۰/۰۳۱۹	-۰/۰۲۸۳
۲۱-۲۹۳	تنگ پنج بختیاری	آنلاین	۰/۹۹۹	۰/۰۴۵۰	۰/۰۳۸۸	-۰/۰۳۶۸
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۸۸	۰/۰۳۲۴	-۰/۰۲۹۰
۲۱-۲۴۱	گدارلندر	آنلاین	۰/۹۹۹	۰/۰۵۲۸	۰/۰۴۵۵	-۰/۰۴۳۵
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۴۰۶	۰/۰۳۱۴	-۰/۰۲۴۵
۲۲-۰۱۷	بهبهان - تنگ تکاب	آنلاین	۰/۹۹۹	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲۹	-۰/۰۳۶۳
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۵۲۳	۰/۰۳۸۱	-۰/۰۲۶۱
۲۱-۲۸۵	سپیددشت-سزار	آنلاین	۰/۹۹۹	۰/۰۵۰۵	۰/۰۴۳۴	-۰/۰۴۱
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۹۹	۰/۰۳۲۵	-۰/۰۲۵۱

۲۱-۳۰۷	ملاثانی	آنلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۶۴	۰/۰۲۷۸	-۰/۰۲۳۴
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۴۴	۰/۰۲۵۷	-۰/۰۲۰۲
۲۱-۴۶۵	فارسیات	آنلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۴۳۶	۰/۰۳۵۹	-۰/۰۳۴۴
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۷۲	۰/۰۲۹۷	-۰/۰۲۵۸
۲۱-۴۴۱	دشت بزرگ	آنلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۴۲۳	۰/۰۳۴۹	-۰/۰۲۵۹
		آفلاین	۰/۹۹۸	۰/۰۳۹۴	۰/۰۳۲۱	-۰/۰۲۱۸

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، گدارلند 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 گدارلند و بهبهان افزایش می یابد. مقایسه RMSE سه مدل در ایستگاه بهبهان وایدنک به‌ترتیب 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 تقریبا یکسان اما با ضریب تغییرات بالای غلظت رسوب (در اینجا ۴/۵) افزایش نمونه از یک بار به بیش از سه بار در ماه می‌توان حدود ۰/۰۶میزان 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 ی 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.

سپاسگزاری

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 سپاسگزاری 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 برونداد مدل میان مقیاس MM5 برای دمای بیشینه و کمینه با استفاده از فیلتر کالمن.مجله فیزیک زمین و فضا،دوره۳۴،شماره۱، 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..

4- Gelb A .1974. Applied Optimal Estimation. MIT Press:Cambridge, MA; 374.

5- Grewal MS, Andrews AP. 1993. Kalman Filtering-Theory and Practice. Prentice Hall Information and System Science Series: Englewood Cliffs, NJ; 38.

6- Holtschlag,D.J. 2001. Optimal estimation of suspended-sediment concentrations in streams. Hydrol. Process. 15, 1133–1155 .

7- Kalman, R. E. 1960. A new approach to linear ®ltering and prediction problems, Trans. Asme J. of Basic Eng., 82, 34-45.

8- Kalman, R. E. and Bucy, R. S. 1961. New results in linear filltering and prediction theory, Trans Asme, J. of Basic Eng., 83, 95-107.

9- Lee,Y.H.,Singh,V.P.(1999). Prediction of sediment yield by coupling Kalman filter with instantaneous unit sediment graph. Hydrological processes ,13(17),2861-2875.

10- O'Connell, P. E. and Clarke, R. T. 1981. Adaptive hydrological forecasting Ð a review, Hydrol. Sci. Bull., 26, 179-205.

11- Yang CT. 1996. Sediment Transport-Theory and Practice. McGraw-Hill: New York; 396.