

بررسی کارایی روشهای نروفازی و رگرسیون درختی در برآورد بار رسوب معلق رودخانه

• جوادوروانی

استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران (نویسنده مسئول)

• نادرفلی ابراهیمی

عضو هیات علمی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

• مسعودیوسفی

عضو هیات علمی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی

• علیرضاشادمانی

عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

• شمساله نیکچه فراهانی

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی

تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: مهر ماه ۱۳۹۴

Email: Varvani_55@yahoo.com

چکیده

کاربرد روش‌های نروفازی و رگرسیون درختی در هیدرولوژی رسوب رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز توسعه چندانی ندارد و بیشتر از آن منحنی‌های سنجه رسوب به عنوان متداول‌ترین روش برآورد رسوب شناخته شده‌اند. در این تحقیق به منظور مقایسه و اصلاح روش‌های برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها، مقادیر برآوردی چند نوع منحنی سنجه رسوب تک متغیره و یک نوع منحنی سنجه رسوب چند متغیره با روش‌های نروفازی و رگرسیون درختی در ۵ ایستگاه هیدرومتری منتخب از مناطق اقلیمی مختلف کشور با شاخص‌های مختلف دقت و صحت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد متوسط شاخص صحت روش‌های نروفازی و رگرسیون درختی در ایستگاه‌های منتخب به ترتیب در حدود ۱۵۱ و ۵۳۶ درصد بوده که در مقایسه با منحنی‌های سنجه رسوب کارایی پایینی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که مقدار شاخص صحت این روش در مناسب‌ترین حالت مربوط به ایستگاه گلینک با مقدار شاخص ۱،۱۲ بوده است. از طرفی مقدار متوسط شاخص صحت این روش در حدود ۱،۵ بوده که مقدار قابل قبولی نسبت به روش‌های مختلف دیگر به حساب می‌آید.

کلمات کلیدی: نروفازی، رگرسیون درختی، منحنی سنجه رسوب، بار معلق.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 109 pp: 104-113

A performance evaluation of neuro-fuzzy and regression methods in estimation of sediment load of river

By: J. Varvani: Assistant Professor, collage of Agriculture and natural resources, Islamic Azad Univesity, Arak Branch. (Corresponding Author). N. Ebrahimi: Academic Member, SCWMRI. M. Yosefi: Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). M.R. Shadmani: SCWMRC. Sh. Nikche Farahani: Arak, Agricultural and Natural resources.

Application of Neuro-fuzzy and tree regression models is not too old in hydrology of river sediments and also in watersheds and in this regard, sediment rating curves have been identified as the most common method for estimating sediment. In this study for comparison and correction of estimation methods of river sediment load, estimated rates of several uni-variate types of sediment rating curves and a multivariate type of sediment rating curves were investigated with Neuro-fuzzy and tree regression models in five selective hydro-metric station of different climatic zones of Iran and with various indexes of the accuracy and the precision. The results show that the mean of the accuracy index of Neuro-fuzzy and tree regression models in selective stations are 151 and 536 percent respectively which shows low efficiency compared with sediment rating curves. The results of the application of multivariate sediment rating curve in various station shows that the rate of the accuracy index of multivariate sediment rating curve in the best case is belong to Glinak station with the rate of 1.12. Also the average value of the accuracy index of multivariate sediment rating curve is 1.15 which is an acceptable amount to the other considered various methods.

Keywords: Tree regression, neuro-fuzzy, sediment rating curve, suspended load

می‌شود که شامل برآوردکننده‌های میانگین، برآوردکننده‌های نسبتی و برآوردکننده‌های رگرسیونی می‌باشد. در هر طبقه، اصول آماری ویژه‌ای پیاده می‌شود و در صورتی که خصوصیات داده‌ها مشخص باشد می‌توان یکی از روش‌های مذکور را برای مطالعه و بررسی انتخاب کرد.

در زمینه استفاده از روش‌های رگرسیونی منابع متعددی وجود دارد که بیانگر خطاهای ناشی کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب می‌باشند. به طوریکه در پی گزارش‌های Koch و Fergusson و Smillie که علت اصلی برآورد کمتر روش‌های منحنی سنجه رسوب را خطای ناشی از تبدیل لگاریتمی بیان کرده بودند، Walling و Webb (۱۹۹۲) با تحلیل و بررسی آمارهای مفصلی از سه رودخانه در Devon انگلیس گزارش کردند که کاربرد ضرائب اصلاحی خطاهای ناشی از تبدیل لگاریتمی (۲CF و ۱CF) تأثیر کمتری در اصلاح برآوردهای تولید رسوب حاصل از کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب دارند. چون این ضرائب تنها یکی از علل خطا را نشان می‌دهند و عوامل متعدد دیگری نیز در این زمینه دخالت دارند. Cohn و همکاران، ۱۹۹۲ روش‌های مختلف QMLE، MVUE، RC و که به ترتیب، روش‌های نا اریب با حداقل واریانس، برآوردکننده با

مقدمه

فرسایش، انتقال رسوب، رسوب‌گذاری و کیفیت آب از مواردی هستند که در مدیریت حوزه‌های آبخیز اهمیت خاصی دارد. در این بین فهم مقدار رسوب منتقل شده توسط رودخانه‌های متعدد جهان از جهات مختلف ارزیابی اهمیت دارد. به عنوان مثال مخازن بایستی با حجم کافی طراحی شده تا بتواند هم میزان رسوب وارده در مدت عمر مفید خود را جای و هم کارایی مورد انتظار را حفظ کند. روش‌های متعددی برای برآورد بار معلق رودخانه‌ها پیشنهاد شده است و این روش‌ها از جنبه‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند به طور کلی روش‌های برآورد بار معلق رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم شده اند که دسته اول شامل روش‌های مبتنی بر قوانین دینامیک و مکانیک سیالات است که عموماً توسط متخصصان و صاحب‌نظران علم هیدرولیک ارائه شده است و دسته دیگر شامل روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری‌های مستقیم و تحلیل‌های آماری که بیشتر توسط صاحب‌نظران علم هیدرولوژی توصیه شده‌اند (میرابولقاسمی و مرید، ۱۳۷۴). تقسیم‌بندی دیگر توسط Preston و همکاران (۱۹۸۹) انجام شده است که به نظر طبقه‌بندی جامع‌تری می‌باشد و در این تقسیم‌بندی، سه طبقه عمده از روش‌های هیدرولوژیکی دیده

و قطر میدان ذرات در تعیین دبی بار بسستر در نظر گرفته شده است. Alp و Keremcigizoglu (۲۰۰۷) دو الگوریتم متفاوت از شبکه عصبی را برای برآورد بار رسوبی معلق رودخانه‌ها معرفی می‌کنند که هر دو آنها در مقایسه با رگرسیون خطی عملکرد بهتری داشته‌اند. Melesse و همکاران (۲۰۱۱) مدل شبکه عصبی را برای برآورد بار رسوبی به کار برده به طوری که متغیرهایی چون بارش، دبی همزمان، دبی جریان اولیه و دبی رسوب اولیه برای برآورد بار رسوبی به کار رفته‌اند. Abrahart و Abghani (۲۰۱۰) مدل فازی - شبکه عصبی را بامحنی‌های سنجه رسوب در برآورد بار رسوبی مقایسه کرده و نتیجه گیری می‌کنند که مدل‌های مذکور نسبت به روش‌های سنتی دقت بالاتری دارند. Rajaei و همکاران (۲۰۰۹) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نرو فازی، رگرسیون چند متغیره و منحنی سنجه رسوب معمولی را برای برآورد رسوب روزانه به کار برده و نتیجه گیری می‌کنند که مدل نروفازی نسبت به دیگر روش‌ها برآورد بهتری از رسوبات را دارد. Kisi و Guven (۲۰۱۱) بیان می‌دارند ماهیت مدل‌های شبکه عصبی جعبه سیاه بوده و ساختار شبکه‌ای آن براحتی قابل تعیین نیست بلکه بیشتر به روش سعی و خطا تعیین می‌شود لذا این افراد مدل برنامه‌ریزی ژنتیکی (GP) و برنامه‌ریزی ژنتیکی خطی (LGP) را در زمینه تولید رسوب پیشنهاد می‌کنند. در حال حاضر هیچ کدام از روش‌های مختلف برآورد بار رسوبی قطعی نشده و نیازمند تحقیقات مختلف می‌باشد. با انجام این تحقیق مد نظر است کارایی روش‌های مختلف نروفازی و رگرسیون درختی با چند نوع منحنی سنجه رسوب در ایستگاه‌های مختلف هیدرومتری و رسوب‌سنجی از مناطق مختلف کشور مورد مقایسه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی مورد مطالعه

با بررسی آمار رسوب ودبی جریان ایستگاه‌های مختلف کشور ۵ ایستگاه رسوب‌سنجی به نحوی انتخاب شدند که ضمن داشتن دوره‌های آماری با فراوانی نمونه‌برداری حداقل روزانه در بعضی از ماه‌های مختلف سال شرایط اقلیمی نسبتاً متفاوت نیز داشته باشند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه واطلاعات موردنیاز و شکل ۱ نقشه پراکنش آنها در سطح کشور را نشان می‌دهد.

احتمال بیشینه و منحنی سنجه می‌باشد را مورد آزمون قرار دادند. تحقیق بر اساس اندازه نمونه ۷۵ تایی و برای ۶ نوع پارامتر کیفی آب در چهار سرشاخه، به صورت دسته بندی داده‌ها انجام شد. در این مطالعه مشخص شد که مدل‌های خطی لگاریتمی ساده - روش مناسب و دقیقی برای برآورد غلظت مواد کیفی آب بوده هر چند که تا حدودی عدم برازش در مدل‌های مذکور مشاهده می‌شود. عرب خدري و همکاران (۱۳۸۲) نتیجه‌گیری می‌کنند که اعمال ضرایب اصلاحی نظیر فائو، پارامتری و غیر پارامتری نتایج متفاوتی داشته است. چون این ضرایب بر روش منحنی سنجه رسوب یک خطی اعمال می‌شوند هر نوع خطائی که در این روش وجود داشته باشد به طور مستقیم به برآوردهای ناشی از اعمال این ضرایب منتقل می‌شود. ضریب پارامتری تابعی از اشتباه استاندارد برآورد می‌باشد. در این روش فرض بر این است که خطاهای باقیمانده از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. بنابراین هرگاه اشتباه استاندارد کوچک (پراکنش داده‌ها کم) باشد این ضریب کوچک و برعکس هرگاه اشتباه استاندارد بزرگ باشد (تعداد نمونه‌ها کم یا پراکنش داده‌ها زیاد) باشد ضریب بزرگتر خواهد شد. در صورت اختلاف قابل توجه میزان رسوب برآورده شده به روش یک خطی با مقادیر مشاهده شده بویژه در دبی‌های بزرگ، این ضریب بیشتر می‌شود صحت و دقت برآوردهای این روش در برخی شرایط خاص بویژه در صورت نبودن داده‌های اضافی از سیلاب‌ها بهتر از روش حد وسط بوده است. در مورد ضریب غیر پارامتری فرض بر این است که خطاهای باقیمانده از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. در این روش طرز محاسبه ضریب (معادله) طوری است که ارزش بیشتری به دبی‌های بالا می‌دهد و از این رو در غالب موارد این ضریب بزرگتر از ضریب پارامتری است همانند ضریب فائو، داده‌های بزرگ و استثنائی اثر تعیین‌کننده‌ای بر آن دارند و در صورت وجود این داده‌ها، ضریب غیر پارامتری بزرگ و غیر واقعی خواهد بود. علاوه بر روش‌های آماری ذکر شده اخیراً روش‌های دیگری همانند روش‌های شبکه عصبی (ANN)، فازی، رگرسیون درختی و الگوریتم ژنتیک در بحث رسوبدهی حوزه‌های آبخیز دیده می‌شوند به عنوان مثال Yang و همکاران (۲۰۰۹) بیان می‌دارند که شبکه‌های عصبی قوانین مخفی موجود در پدیده‌های طبیعی مثل فرآیند حمل رسوب را آشکار می‌سازد. در داده‌های آموزشی مدل شبکه عصبی این افراد متغیرهای سرعت جریان، شیب سطح آب، عمق متوسط جریان

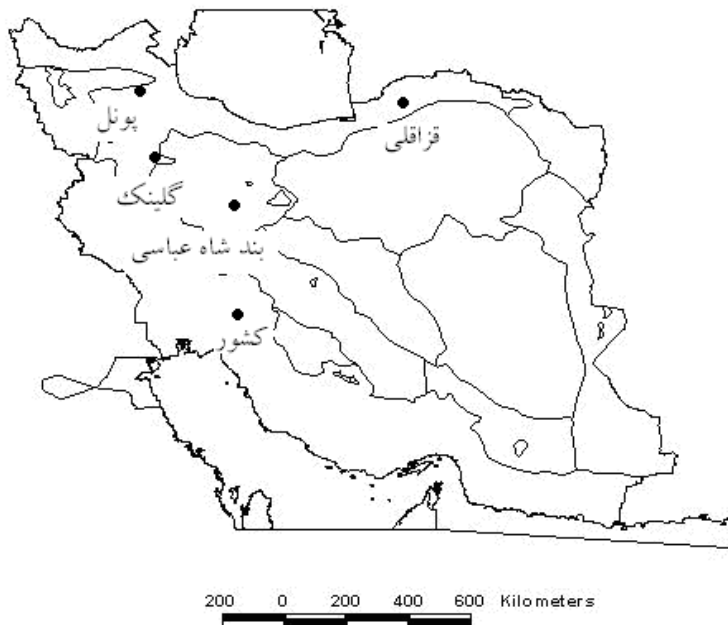
جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و هیدرومتری مورد مطالعه

ایستگاه رودخانه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت حوزه آبخیز (بالادست) کیلومتر مربع	طول دوره آماری
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی			
قزاقلی - گرگانرود	۳۷° - ۱۳'	۵۵° - ۰۰'	۳۰	۶۸۱۱	۳۸
پونل - شفارود	۳۷° - ۳۲'	۴۹° - ۰۵'	۵۰	۳۵۰	۳۶
کشور - سرخاب	۳۳° - ۰۸'	۴۸° - ۳۸'	۷۶۰	۳۳۵	۴۰
گلینک - طالقان رود	۳۶° - ۱۰'	۵۰° - ۴۴'	۱۸۲۰	۷۷۵	۳۸
بندشاه عباسی - ورفقان	۳۴° - ۵۴'	۵۰° - ۰۹'	۱۵۷۰	۱۴۳۰۰	۴۲

محیط Excel منحنی‌های سنجه رسوب یک خطی و حدوسط با ضرایب مختلف CF2, CF1 و فائو ترسیم شد. برای استفاده از ضریب MVUE در ابتدا پارامترهای مورد نیاز این ضریب از هر یک از منحنی‌های سنجه یک خطی و حد وسط بدست آمد و سپس از برنامه‌ای در محیط فرترن (بونینگ، ۲۰۰۱) به منظور سهولت در محاسبات پیچیده استفاده گردید. در نهایت با استفاده از مقادیر دبی جریان متوسط روزانه و منحنی‌های سنجه مختلف مقادیر رسوب روزانه برآورد گردید.

جامعه آماری و نمونه برداری و ترسیم منحنی‌های سنجه رسوب

با توجه به داده‌های همزمان دبی جریان و رسوب معلق هریک از ایستگاه‌های مذکور در طی یک دوره طولانی مدت جامعه آماری تشکیل شد. عملیات نمونه برداری به صورت تصادفی (عرب خدري و همکاران، ۱۳۸۴) در ۵ تکرار در اندازه‌های مختلف نمونه برداری توصیه شده (کن و همکاران، ۱۹۹۲) اعم از ۷۵، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۵۰ جفت داده همزمان دبی جریان و رسوب صورت گرفت. این قسمت توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. بعد از برداشت نمونه‌ها در



شکل ۱- نقشه پراکنش تقریبی ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوبسنجی مورد مطالعه

موجود به دو دسته تقسیم شده در یکی از دسته‌ها پارامترهای معادله مذکور به دست آمده و در دسته دوم کارایی معادله مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

سیستم استنتاجی فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)

ANFIS قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه بندی دارد و همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد و به طور تطبیقی یک قاعده - بنیاد می‌سازد. علاوه بر این می‌تواند تبدیل پیچیده هوش بشری به سیستم‌های فازی را تنظیم کند. مشکل اصلی مدل پیش بینی ANFIS احتیاج نسبتاً زیاد به زمان برای آموزش ساختار و تعیین پارامترها می‌باشد. به منظور ساده‌سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی X, Y و یک خروجی Z دارد. در این تحقیق به منظور استفاده از روش نروفازی بعد از تشکیل جامعه آماری و آموزش شبکه بهترین ساختار در نرم افزار مطلب تعیین شد و برآوردهای بار رسوبی بر اساس آن انجام گرفت.

منحنی سنجه رسوب چندمتغیره (Multivariate sediment rating curve)

در این قسمت به منظور بررسی بیشتر دقت و صحت برآوردهای منحنی‌های سنجه رسوب با به کارگیری فرم جدیدی از معادلات مذکور تحت عنوان منحنی سنجه رسوب چند متغیره که در چند منبع به آن اشاره شده بود اقدام به برآورد بار رسوبی دوره‌های آماری با فراوانی نمونه برداری زیاد گردید. فرم معادله منحنی سنجه رسوب چند متغیره (Cohn و همکاران، ۱۹۹۲) که در این تحقیق به کار گرفته شد به صورت زیر است:

$$\ln(Q_s) = \beta_0 + \beta_1 \ln[Q/\bar{Q}] + \beta_2 \{[\ln Q/\bar{Q}]\}^2 + \beta_3 [T - \bar{T}] + \beta_4 [T - \bar{T}]^2 + \beta_5 \sin(2\pi T) + \beta_6 \cos(2\pi T) + \varepsilon \quad (1)$$

در این مدل ε : اشتباه، T : زمان، Q : دبی جریان، Q_s : دبی رسوب β : ضریب و \bar{Q} و \bar{T} مقدار متوسط متغیرهای دبی و زمان می‌باشند. در هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه ابتدا جامعه آماری

رگرسیون درختی Regression Tree

فرآیند تشکیل دادن رگرسیون درختی شامل ۴ مرحله است.

- مرحله مقدار دهی اولیه (initialization)

- ساختن درخت (Tree building)

- هرس کردن درخت (Tree pruning)

- انتخاب درخت بهینه (Optimal tree selection)

در این تحقیق بعد از تشکیل جامعه آماری در هر ایستگاه نمونه برداری تصادفی از هر ایستگاه صورت گرفته و بر اساس نمونه‌های بدست آمده درخت تصمیم توسعه داده شد و در نهایت برآورد مدل با مقادیر واقعی مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج

مقادیر شاخص صحت (نسبت بار رسوبی برآورد شده به بار رسوبی مبنای) و شاخص دقت (ضریب تغییرات برآورد) روش‌های

مختلف در ایستگاه‌های منتخب در جداول ۳ و ۲ خلاصه شده است. مقدار شاخص صحت در بهترین حالت برابر مقدار واحد بوده و فاصله گرفتن این شاخص از مقدار یک نشان می‌دهد که مقدار برآوردی با مقدار مشاهداتی اختلاف دارد.

منحنی سنج رسوب چند متغیره

در جدول ۴ مقادیر شاخص‌های صحت و دقت منحنی سنج رسوب چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف آورده شده است و شکل ۲ منحنی تغییرات پارامترهای مذکور را نشان می‌دهد. با توجه به جدول و منحنی مربوطه می‌توان گفت که شاخص صحت منحنی سنج رسوب چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف متغیر از ۰,۳۳ تا ۰,۳۳ برای ایستگاه پونل تا ۳,۱۳ در ایستگاه سرخاب بوده است. همچنین کمترین مقدار ضریب تغییرات برآورد (۱,۱۸) برای ایستگاه پونل و بیشترین مقدار آن ۵,۱۷ در ایستگاه سرخاب بوده است.

جدول ۲- مقادیر متوسط شاخص صحت روش‌های مختلف برآورد رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب

میانگین	حد وسط				یک خطی				حد وسط	یک خطی	ویژگی نام تیب
	MVUE	CF2	CF1	ضریب فائو	MVUE	CF2	CF1	ضریب فائو			
۱۹/۲۳	۵/۲۲	۱۷/۳۲	۱۲/۰۹	۴۷/۰۵	۳/۸۰	۲۹/۴۲	۲۰/۳۱	۴۱/۵۷	۹/۶۹	۹/۲۶	قزاقلی
۱/۵۹	۱/۴۶	۱/۶۰	۱/۹۵	۲/۸۳	۰/۷۷	۱/۲۳	۱/۱۴	۲/۸۴	۱/۴۲	۰/۷۱	پونل
۱/۳۸	۰/۰۱	۱/۲۴	۱/۲۷	۲/۴۹	۰/۷۵	۱/۳۱	۱/۲۴	۲/۸۸	۰/۹۷	۰/۶۷	سرخاب
۱/۵۵	۱/۲۳	۱/۶۲	۱/۸۷	۲/۳۹	۰/۶۴	۱/۵۶	۱/۸۰	۲/۲۶	۱/۴۹	۰/۷۱	گلینک
۰/۹۴	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۸۹	۲/۰۸	۰/۲۷	۱/۲۹	۰/۶۴	۲/۱۰	۰/۵۳	۰/۲۲	بند شاه عباسی

جدول ۳- مقادیر متوسط شاخص دقت روش‌های مختلف برآورد رسوب معلق در ایستگاه‌های منتخب

میانگین	حد وسط				یک خطی				حد وسط	یک خطی	ویژگی نام تیب
	MVUE	CF2	CF1	ضریب فائو	MVUE	CF2	CF1	ضریب فائو			
۳۱/۱۹	۱۱/۵۰	۳۶/۲۴	۳۵/۸۴	۳۵/۹۰	۳/۷۹	۳۸/۲۱	۳۸/۲۱	۳۸/۲۱	۳۵/۸۴	۳۸/۲۱	قزاقلی
۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۷۲	پونل
۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۲	۱/۱۶	۱/۱۲	سرخاب
۱/۰۴	۱/۳۸	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۱/۱۵	۰/۸۶	گلینک
۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۸	بند شاه عباسی

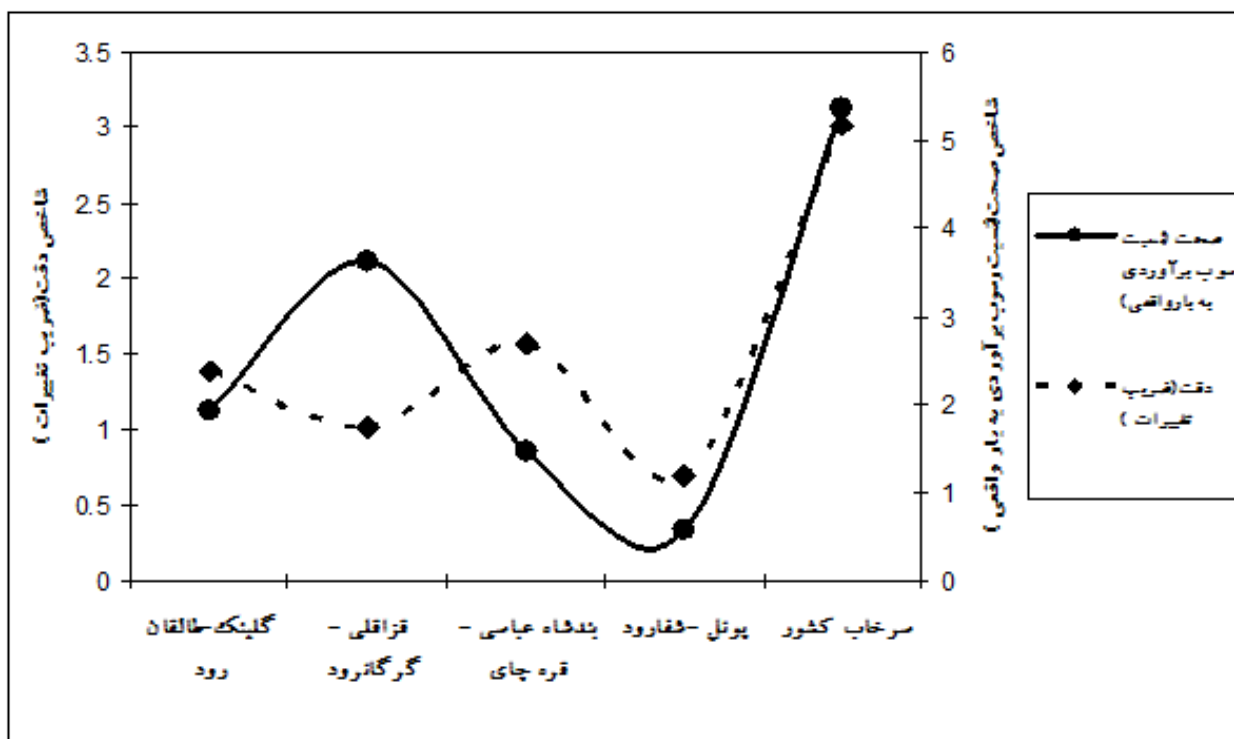
جدول ۴- مقادیر شاخص‌های صحت و دقت منحنی سنج رسوب چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف

پارامتر ایستگاه	گلینک-طالقان رود	قزاقلی-گرگانرود	بندشاه عباسی-قره‌چای	پونل-شفارود	سرخاب کشور
صحت (نسبت رسوب برآوردی به بار واقعی)	۱/۱۲	۲/۱۱	۰/۸۵	۰/۳۳	۳/۱۳
دقت (ضریب تغییرات)	۲/۳۸	۱/۷۴	۲/۷۰	۱/۱۸	۵/۱۷

۳-۲- روش نروفازی

در جدول ۵ و شکل ۳ مقادیر شاخص صحت و دقت روش نروفازی و تغییرات آن در ایستگاه‌های مختلف آورده شده است. مقدار نسبت رسوب برآوردی به بار واقعی در ایستگاه پونل شفارود کمترین مقدار

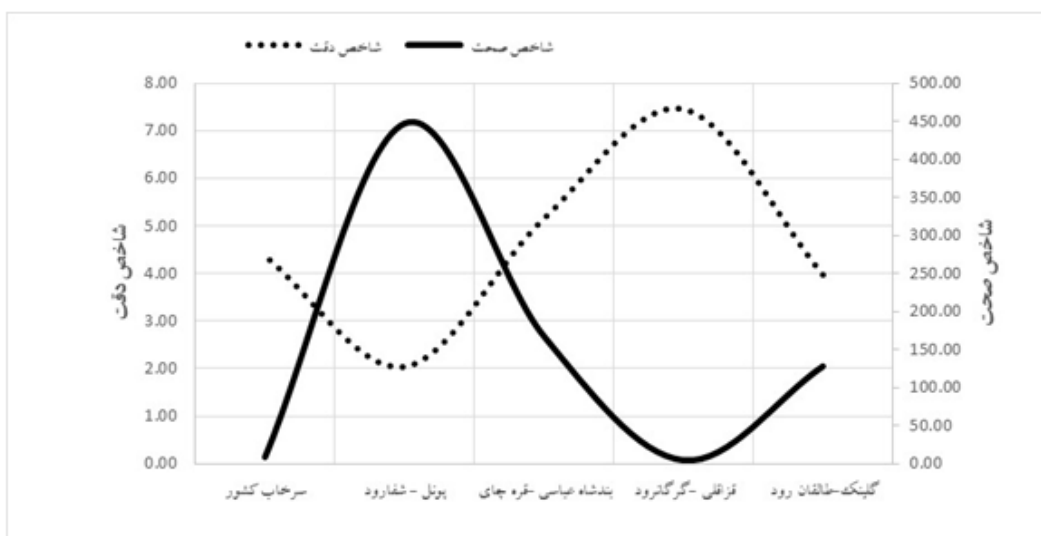
و در حد ۴,۵ و در ایستگاه قزاقلی-گرگانرود بیشترین مقدار و برابر ۴۴۷ بوده است. بنابراین می‌توان اظهار داشت که روش نروفازی در ایستگاه پونل - شفارود عملکرد بهتری داشته است.



شکل ۲- منحنی تغییرات شاخص دقت و صحت منحنی سنج رسوب چند متغیره در ایستگاههای مورد مطالعه

جدول ۵- مقادیر شاخص های صحت و دقت روش نروفازی در ایستگاههای مختلف

پارامتر/ایستگاه	گلینک-طالقان رود	قزاقلی-گرگانرود	بندشاه عباسی-قره چای	پونل-شفارود	سرخاب-کشور
صحت (نسبت رسوب برآوردی به بارواقعی)	۸/۵۰	۴۴۷/۰۱۴۸	۱۶۷/۴۱	۴/۵۰	۱۲۷/۹۱
دقت (ضریب تغییرات)	۳/۹۷	۷/۴۵	۵/۱۵	۲/۰۳	۴/۳۷



شکل ۳- منحنی تغییرات شاخص دقت و صحت روش نروفازی در ایستگاههای مورد مطالعه

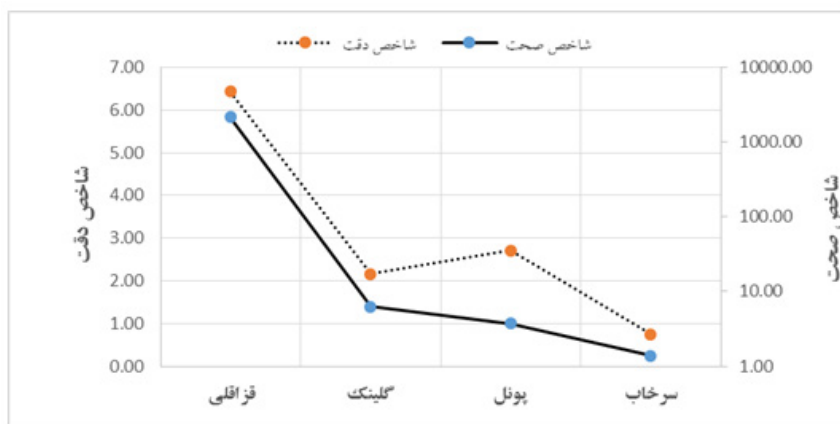
روش رگرسیون درختی

در جدول ۶ و شکل شماره ۴ مقادیر شاخص صحت و دقت روش‌های مختلف در ایستگاه‌های منتخب آورده شده است. در ایستگاه بند شاه عباسی به دلیل پراکندگی زیاد داده‌های رسوب امکان ارائه

مدل رگرسیون درختی وجود نداشت با این وجود مقادیر شاخص صحت و دقت روش‌ها در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که بهترین برآورد در ایستگاه سرخاب کشور انجام شده است و در ایستگاه قزاقلی این مدل برآورد ضعیفی از خود نشان داده است.

جدول ۶- مقادیر شاخص های صحت و دقت روش رگرسیون درختی در ایستگاههای مختلف

کشور - سرخاب	پونل - شفارود	قزاقلی - گرگانرود	گلینک - طالقان رود	پارامتر/ایستگاه
۱/۳۸	۳/۷۳	۲۱۳۶/۶۱	۶/۲۳	صحت (نسبت رسوب برآوردی به بار واقعی)
۰/۷۵	۲/۷۱	۶/۴۳	۲/۱۶	دقت(ضریب تغییرات)



شکل ۴ - تغییرات مقادیر شاخص دقت و صحت روش رگرسیون درختی در برآورد بار رسوبی ایستگاههای منتخب

دیگر مشخص می‌باشد. (Ferguson, 1987, Walling, 1977). اما سهولت کاربرد این معادلات باعث شده است که استفاده زیادی از این معادلات در برآوردهای با ررسوبی رودخانه‌ها صورت گیرد. داشتن برآورد دقیق از بار رسوبی رودخانه‌ها مستلزم نمونه برداری در فواصل زمانی کوتاه از دبی جریان و غلظت رسوبات معلق است. اما در شرایط کنونی عملیات مذکور بندرت و در بعضی ایستگاه‌های خاص انجام می‌گیرد به طوری که ایستگاه‌های انتخاب شده در این تحقیق دارای شرایط نسبتاً مناسبی از نقطه نظر آمار رسوب روزانه بوده‌اند و در این بین فراوانی نمونه برداری در ایستگاه قزاقلی از سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده است. این موضوع در انتخاب مبنای ارزیابی و مقایسه برآورد منحنی‌های سنج رسوب اهمیت فراوانی دارد.

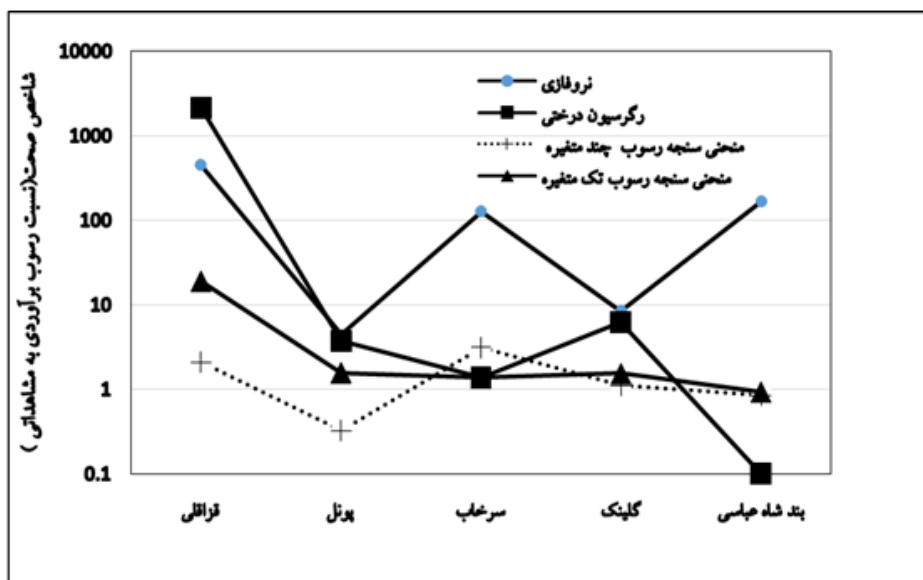
بحث و نتیجه‌گیری

در جدول شماره ۷ مقادیر شاخص دقت و صحت روش‌ها در ایستگاه‌های مختلف و شکل ۵ تغییرات کلی روش‌ها در ایستگاه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است همانطوریکه از این اشکال و جداول برمی‌آید در بین روش‌های منتخب روش منحنی سنج رسوب چند متغیره عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها داشته است.

از آنجایی که در معادلات رگرسیونی منحنی‌های سنج رسوب تنها یک متغیر مستقل وارد می‌شود لذا به طور کلی این منحنی‌ها قادر به پیش بینی دقیق و صحیح مقدار بار رسوبی واقعی رودخانه‌ها نمی‌باشند و این موضوع به خوبی در نتایج این تحقیق و تحقیقات

جدول ۷- مقادیر متوسط شاخص صحت ودقت روشهای مختلف برآورد رسوب معلق در ایستگاههای منتخب

ایستگاه-روش	نرو فازی		رگرسیون درختی		منحنی سنج رسوب چند متغیره	
	صحت	دقت	صحت	دقت	صحت	دقت
قزاقلی	۴۴۷/۰۱	۷/۴۵	۲۱۳۶/۶۱	۶/۴۳	۲/۱۱	۱۹/۲۳
پونل	۴/۵۰	۲/۰۳	۳/۷۳	۲/۷۱	۰/۳۳	۱/۵۹
سرخاب	۱۲۷/۹۱	۴/۳۷	۱/۳۸	۰/۷۵	۳/۱۳	۳۸/۱
گلینک	۸/۵۰	۳/۹۷	۶/۲۳	۲/۱۶	۱/۱۲	۲/۳۸
بند شاه عباسی	۱۶۷/۴۱	۵/۱۵	-	-	۰/۸۵	۰/۹۴



شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص صحت (نسبت رسوب برآوردی به مشاهداتی) روش‌های مختلف در ایستگاه‌های منتخب

جامعه آماری که با توجه به آن نمونه‌برداری انجام می‌شود و در نهایت منحنی سنجه رسوب بر اساس آن نمونه‌ها ترسیم می‌گردد تاثیر زیادی در دقت منحنی‌های مذکور دارد. همچنین گذشته از اندازه نمونه بیش از همه نوع داده‌های نمونه برداری شده در دقت منحنی‌ها تاثیر دارد به طوری که هر چه داده‌های اولیه پراکنده تر باشند برآورد منحنی‌های سنجه رسوب با خطای زیادی روبرو می‌باشد. از طرفی در صورتی که منحنی سنجه رسوب به گونه‌ای ترسیم شود که اطلاعات زیادی از جامعه آماری اولیه را داشته باشد در این صورت میزان خطای برآورد کاهش می‌یابد. در مورد ضریب $MVUE$ این حالت مطرح می‌باشد چرا که اطلاعات زیادی از داده‌های اولیه و همچنین تک تک داده‌های دبی جریان که بر اساس آنها برآورد انجام می‌دهد بدست می‌آورد.

روش حد وسط دسته‌ها که به نوعی تغییر شکل منحنی سنجه رسوب یک خطی می‌باشد کارایی بهتری نسبت به روش $LMVUE$ خطی نداشته و حتی در بعضی موارد خطای برآورد زیادتری نسبت به این روش نشان می‌دهد. کاربرد ضریب $MVUE$ در این روش نیز باعث کاهش خطا گردیده و تا حدود زیادی برآوردهای این روش رانیز بهبودبخشیده است. از آنجاییکه ضریب های فائو، CF_1 و CF_2 اطلاعات اندکی از داده‌های کالیبراسیون را در نظر می‌گیرند لذا کارایی آنها در برآورد بار رسوبی متوسط دوره های در نظر گرفته شده ضعیف بوده و نسبت به روش $LMVUE$ دقت و صحت کمتری داشته اند.

بالا بودن مقادیر شاخص صحت و دقت در بین روش‌های مختلف در ایستگاه قزاقلی به نوع داده‌های این ایستگاه و دوره های انتخاب شده بر می‌گردد به طوری که تغییرات بار واقعی دوره های انتخاب شده زیاد بوده (به علت تغییر رسوبدهی در فصول و زمانهای مختلف

شاخص صحت به کار گرفته شده نسبت بین متوسط رسوب برآوردی به مقدار رسوب واقعی دوره‌های مختلف در ایستگاه‌ها مورد مطالعه بوده است. این نسبت در ایستگاه قزاقلی متغیر از ۰٫۳۸ برای روش یک خطی - $MVUE$ تا ۴۷٫۰۵ در روش فائو - حد وسط بوده است. همچنین مقادیر این نسبت برای ایستگاه قزاقلی در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها بالاتر می‌باشد. در ایستگاه پونل نیز صحیح ترین روش منحنی سنجه رسوب یک خطی - $MVUE$ بوده است که برآورد آن نسبت به بار واقعی در حدود ۰٫۷۷ بوده است. در ایستگاه گلینک و سرخاب روش حد وسط - $MVUE$ بهترین نتیجه را داشته است (با شاخص صحت به ترتیب ۱٫۲۳ و ۱٫۰۱). از نظر دقت در ایستگاه قزاقلی ضریب تغییرات روش یک خطی - $MVUE$ به طور قابل ملاحظه‌ای با دیگر روش‌ها متفاوت می‌باشد. اما میزان این تفاوت در ایستگاه‌ها دیگر کاهش می‌یابد.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان اظهار نمود که در بین منحنی‌های مختلف سنجه رسوب روش $LMVUE$ نتایج نسبتاً قابل قبولی بدست می‌دهد و برآورد این روش در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه به مقدار واقعی نزدیک است. از طرفی تغییرات شاخص صحت این روش در اندازه نمونه‌های مختلف کمتر می‌باشد یا به عبارتی دیگر اندازه نمونه تاثیر زیادی در دقت و صحت برآورد این روش نداشته است ولی در روش‌های دیگر با کاهش اندازه نمونه مقدار خطای برآورد زیادتر می‌گردد. همچنین بر خلاف روش‌های دیگر روش $LMVUE$ در تمامی موارد باعث برآورد زیر حد واقعی می‌گردد اما روش‌های دیگر هر دو حالت برآورد بیش و کم برآورد را داشته اند. در حالت میانگین میتوان گفت که روش $LMVUE$ خطای برآوردی در حدود ۴۰ درصد زیر حد واقعی داشته است و تا حدودی نسبت به روش‌های دیگر بهتر عمل می‌کند.

نداشته است که علت آن پراکندگی زیاد داده‌های رسوب رودخانه‌ها بوده است. از آنجاییکه در ایستگاه پونل شفارود با توجه به اقلیم این ایستگاه ضریب تغییرات دبی جریان کمتر است و رژیم آبدهی رودخانه منظم‌تر می‌باشد می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روش‌های نروفازی و رگرسیون درختی برآورد بهتری در این گونه از ایستگاه‌ها دارند.

تقدیر تشکر

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک می‌باشد

منابع مورد استفاده

۱. عرب خدری، محمود، حکیم‌خانی شاهرخ، ولی خوجینی، علی، ۱۳۷۷، ضرورت تجدید نظر در روش متداول بار معلق رودخانه‌ها، پژوهش و سازندگی، شماره ۳۹ صفحات ۳۷ تا ۴۲
۲. عرب خدری محمود، شاهرخ حکیم‌خانی، داود نیک‌کامی (۱۳۸۲) مقایسه چند روش آماری برآورد بار معلق یک حوزه با رژیم برفی و بارانی، وزارت جهاد کشاورزی پژوهش‌کنده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی
۳. عرب خدری، محمود، اکبر، زرگر، ۱۳۷۴، برآورد تولید رسوب در بخش شمالی البرز با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۲۱، صفحات ۲۲ تا ۲۸.
۴. میر ابوالقاسمی، هادی و مرید، سعید، ۱۳۷۴، بررسی روش‌های هیدرولوژیکی برآورد بار معلق رودخانه‌ها، آب و توسعه شماره ۱۰، صفحات ۵۴ تا ۶۷.
5. Abrahart R. J., N. AbGhani, 2010, Neuro- fuzzy modelling of suspended sediment load: The need for a sound comparison with established methods, *Advances in Engineering Software*, 878-874 ;6, 41
6. Alp M., H. Kerem Cigizoglu, 2007, Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data, *Environmental Modelling & Software*, 13-2 ;22, 1
7. Boning, W.C., 2001. Recommendations for use of retransformation methods in
8. regression, models used to estimate sediment loads, <http://water.usgs.gov>.
9. Cohn, T.A., Delong, L.L., Gilroy, E. J., Hirsch R.M. and Wells, D.K. 1989. Estimating constituent loads, *Water Resources Research*. 942-937 : (5)25.
10. Cohn, A.T., Dana, L.C., Edward J.G., Linda D.Z., Roubert M.S., 1992. The validity of a simple statistical model for estimating fluvial constituent loads: An empirical study involving nutrient loads entering

سال) و این تغییرات زیاد باعث می‌شود برآوردهای منحنی سنجه رسوب با خطای زیادی روبرو شود. اما در سایر ایستگاه‌ها دوره‌های انتخاب شده مربوط به ماههای پرباران بوده که تغییرات بار واقعی آنها نسبت به قزاقلی کمتر بوده است.

نتایج حاصل از کاربرد منحنی‌های سنجه رسوب چند متغیره در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که مقدار شاخص صحت این روش در مناسب‌ترین حالت مربوط به ایستگاه گلینک با مقدار شاخص ۱,۱۲ بوده است. از طرفی مقدار متوسط شاخص صحت این روش در حدود ۱,۵ بوده که مقدار قابل قبولی نسبت به روش‌های مختلف منحنی سنجه تک متغیره به حساب می‌آید. طبق نتایج بدست آمده می‌توان اظهار نمود که به طور کلی منحنی سنجه رسوب چند متغیره کارایی بهتری نسبت به منحنی‌های رسوب تک متغیره داشته است و کاربرد آن در محاسبه بار رسوبی ایستگاه‌ها مختلف کشور می‌تواند برآورد قابل قبولی داشته باشد. علت برآورد بهتر منحنی سنجه رسوب چند متغیره در نظر گرفتن تغییرات بیشتر داده‌های اولیه بار معلق می‌باشد. داده‌های مذکور معمولاً در یک رودخانه در طی یک سال نوسانات زیادی داشته و هر چه میزان این نوسانات و تغییرات بیشتر لحاظ شود معادله می‌تواند بار واقعی را درست تخمین بزند.

در استفاده از منحنی‌های سنجه تک متغیره که تنها مزیت آن نسبت به چند متغیره سهولت کاربرد آن می‌باشد بایستی سعی شود داده‌هایی که برای کالیبراسیون به کار می‌رود دامنه گسترده‌ای داشته باشد. بدین معنی که داده‌های کالیبراسیون هم از دبی‌های پایین و هم از دبی‌های سیلابی انتخاب شده تا میزان برآورد منحنی‌های سنجه تک‌متغیره اختلاف زیادی با بار واقعی نداشته باشد.

اعمال ضرایب تصحیح تبدیل لگاریتمی در منحنی‌های سنجه رسوب تک متغیره به استثنای روش MVUE در بیشتر موارد نتایج پراکنده‌ای داشته است از این رو کاربرد آنها باید با احتیاط بیشتری صورت گیرد. لیکن ضریب حداقل واریانس ناریب یا MVUE در این بین نتایج قابل قبولی را در بر داشته است. تغییرات برآورد آن نسبت به سایر روش‌ها کمتر بوده و در بیشتر موارد مقادیر صحیح‌تری را داشته است و دلیل این کار باز هم احتساب بیشتر تغییرات داده‌های اولیه در این روش می‌باشد. این روش برای هر دبی جریان روزانه یک مقدار ضریب تصحیح تبدیل لگاریتمی محاسبه می‌کند و در مجموع باعث می‌شود مقدار برآوردی به مقدار مشاهداتی بیشتر نزدیک شود در شرایط موجود به خصوص با توجه به وضعیت آمار و ارقام هیدرولوژیکی کشور به نظر می‌رسد در برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها و حوزه‌های آبخیز روش LMVUE نسبت به منحنی‌های سنجه دیگر خطای کمتری داشته باشد. از آنجایی که این روش تا کنون در منابع داخلی گزارش نشده است لذا با توجه به توصیه‌های افراد دیگر و همچنین نتایج این تحقیق که در اقلیم مختلف کشور بدست آمده است کاربرد این روش توصیه می‌گردد.

روش‌های نروفازی و رگرسیون درختی در بررسی‌های بدست آمده از این تحقیق کارایی بهتری نسبت به منحنی‌های سنجه رسوب

