



پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
(آبخیزداری و امنیت ملی)

۶-۷ آبان ماه ۱۳۹۹ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

15th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Watershed Management and National Security

مدل سازی رسوب معلق با استفاده از مدل های فرآیند گاوسی و پرسپترون چندلایه (مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری تیره درود، حوضه دز)

علیرضا سپه وند^۱، زینب عزیزی نجفقلی^۲

چکیده

بررسی و پیش بینی رسوب معلق رودخانه نقش مهمی در مدیریت کیفیت و کمیت منابع آب سطحی دارد. لذا در سال های اخیر، روش های مبتنی بر الگوریتم یادگیری برای مدل سازی رسوبات معلق مورد توجه قرار گرفته اند. بر این اساس در این تحقیق به مقایسه کارایی مدل های GP-PUK، GP-RBF و MLR برای پیش بینی رسوب معلق پرداخته شد. نتایج نشان داد که مدل GP با کرنل RBF به ترتیب با ریشه میانگین مربعات، ضریب همبستگی و میانگین خطای مطلق، ۱/۰۷۹، ۰/۹۹۹۹ و ۰/۵۷۵۹ در مرحله آموزش و همچنین به ترتیب با مقادیر ۲/۸۸۸، ۹۵۱۳ و ۲/۱۹ در مرحله آزمایش به عنوان بهترین تخمینگر برای تخمین رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری تیره درود انتخاب شد.

کلمات کلیدی: لرستان، ایستگاه هیدرومتری، رسوب معلق، رگرسیون گاوسی، پرسپترون چند لایه.

مقدمه

رودخانه ها عامل معنی دار ژئومورفولوژیکی هستند که کار انتقال رسوبات را از سطح زمین تا اقیانوس ها انجام می دهند (۹) که این حمل و ته نشینی رسوب معلق رودخانه ها، باعث بروز مشکلات و مخاطرات فراوانی شامل رسوب گذاری در پشت سدها، کاهش حجم مفید مخازن، از بین رفتن خاک، کاهش حاصلخیزی، کم شدن عمر سازه های آبی، آلودگی آب برای کشاورزی و شرب، مرگ ماهیان و غیره می شود (۲، ۴، ۷، ۸، ۱۲). رسوبات رودخانه ها، مواد جامدی است که بر اثر فعالیت های فیزیکی و شیمیایی می باشند که حاصل فرآیند فرسایش هستند که انتقال این مواد توسط آب، باد، یخچال های طبیعی، ... صورت می گیرد (۵). از این رو تخمین بار رسوب معلق رودخانه یا امر حیاتی در رابطه تحقیقات کیفیت و کمیت منابع آب می باشد (۶، ۱۳). پیش بینی حجم مفید مخزن و همچنین مقدار تقریبی رسوبات از اهمیت بالایی برای اجرای پروژه های آبی، آبخیزداری و بهره برداری از منابع آب برخوردار است و برای محاسبه و تخمین بار معلق رودخانه ها روابط و معادله های زیادی ارائه شده که در بیشتر آن ها به علت پیچیدگی پدیده

^۱استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران (sepahvand.a@lu.ac.ir)

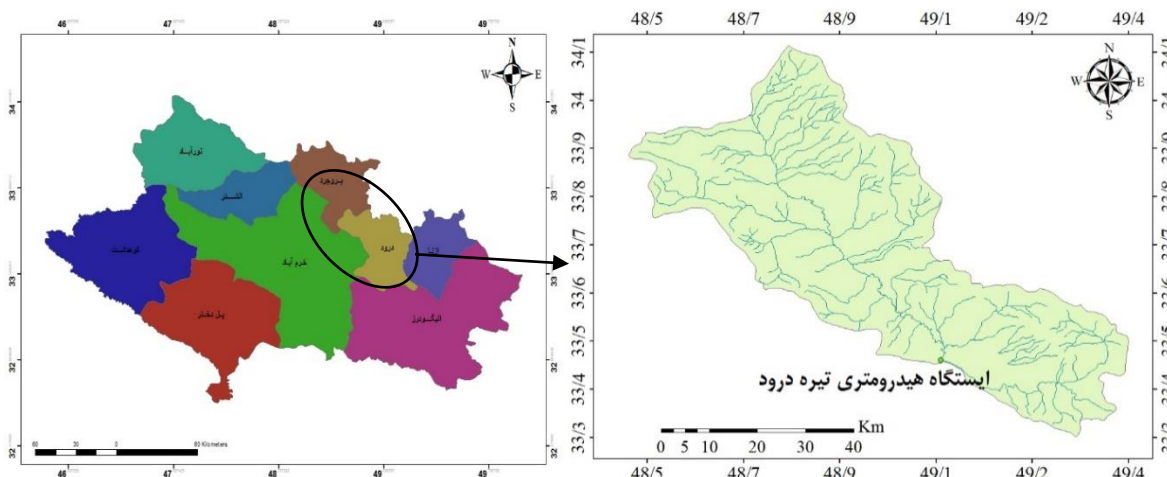
^۲دانش آموخته مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران (zeynabazizi34@gmail.com)



رسوب و عدم مطابقت نتایج حاصل از روابط تجربی با مقادیر واقعی و مشاهداتی، محققین به استفاده از الگوریتم‌های یادگیری مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار، به عنوان یک ابزار جدید روی آوردند (۱،۲،۴). در این زمینه تحقیقاتی در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است. Kermani و همکاران (۱۴) از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان بر پایه توابع کرنل متفاوت و شبکه‌های عصبی مبتنی بر الگوریتم‌های آموزشی متفاوت جهت مدل‌سازی غلظت رسوبات معلق استفاده نمودند نتایج نشان داد که با توجه به شاخص‌های ارزیابی خطا، مدل رگرسیون بردار پشتیبان بر پایه تابع کرنل شعاعی از عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بود. در این راستا مدل‌های مختلفی به منظور برآورد مقدار رسوب یا فرسایش در مقیاس‌های زمانی و مکانی تحت شرایط مختلف ایجاد شده است. بنابراین انتخاب مدلی که بتواند با استفاده از عوامل تاثیر گذار بر تولید رسوب، رسوب معلق را به طور قابل قبولی تخمین زند امری ضروری بنظر می‌رسد (۳). لذا هدف از انجام این تحقیق مدل‌سازی رسوب معلق ایستگاه هیدرومتری تیره درود با استفاده از برخی الگوریتم‌های یادگیری می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه مورد مطالعه شهرستان درود استان لرستان قرار گرفته است. ایستگاه هیدرومتری تیره درود مطابق شکل ۱ در طول جغرافیایی $45^{\circ} 03' 49''$ و عرض $33^{\circ} 28' 37''$ شمالی قرار دارد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه هیدرومتری تیره درود در استان لرستان

روش کار

در این پژوهش برای مدل‌سازی رسوبات معلق از داده‌های هیدرومتری (رسوب و دبی) ایستگاه هیدرومتری تیره درود تهیه شده از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان و داده‌های هواشناسی (دما، باران، تبخیر) گرفته شده از سازمان هواشناسی استان لرستان استفاده شد. بعد از تهیه داده‌های مورد نیاز، برای مدل‌سازی از داده‌های یک دوره‌های آماری ۳۰ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۷) استفاده شد.



در این تحقیق برای مدل سازی رسوب معلق از مدل های GP^1 با کرنل های PUK و RBF و همچنین MLR^2 استفاده شد. فرآیند مدل سازی در این تحقیق شامل دو مرحله آموزش و تست می باشد که از کل داده ها ۷۰ درصد برای آموزش مدل استفاده شد و ۳۰ درصد باقیمانده داده ها برای آزمایش مدل مورد استفاده قرار گرفتند. داده های ورودی مدل ها شامل بارندگی، دما، دبی و تبخیر و خروجی مدل رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری بودند.

معیارهای ارزیابی کارایی مدل

در این تحقیق برای ارزیابی کارایی مدل های استفاده شده از ضریب همبستگی ($C.C^3$) و ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$) استفاده شد. بر این اساس هر چه میزان C.C بیشتر و میزان RMSE کمتر باشد، مدل از کارایی بیشتری برای ارائه بهترین جواب برخوردار است.

ضریب همبستگی برای تعیین نوع و درجه رابطه بین دو متغیر کمی مورد استفاده قرار می گیرد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است و از رابطه زیر محاسبه می شود (۱۰، ۱۱).

$$C.C = \frac{n \sum Q_{obs} Q_{sim} - (\sum Q_{obs})(\sum Q_{sim})}{\sqrt{n(\sum Q_{obs}^2) - (\sum Q_{obs})^2} \sqrt{n(\sum Q_{sim}^2) - (\sum Q_{sim})^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: X مقادیر مشاهداتی، Y مقادیر مقدار برآوردی و $\bar{x}$ میانگین مقادیر مشاهداتی می باشد.

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در واقع مجذور شاخص میانگین مربعات خطا (MSE^5) می باشد (رابطه ۲). مقدار این دو شاخص آماری بین صفر تا بینهایت متغیر است و مقدار بهینه آن صفر می باشد. بنابراین بهترین شبیه سازی مربوط به شبیه سازی با حداقل مقدار RMSE می باشد (۱۰، ۱۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن: Q_i^{sim} مقدار برآوردی بر نقطه i ام و Q_i^{obs} مقدار مشاهده ای برای نقطه i ام می باشد.

نتایج

در این تحقیق برای مدل سازی رسوب معلق ایستگاه تیره درود از سه مدل از مدل های GP با کرنل های PUK و RBF و همچنین MLR استفاده شد. جدول ۱ خلاصه خصوصیات آماری داده های استفاده شده برای مدل سازی را نشان می دهد.

جدول ۱ خصوصیات داده های ورودی برای مدل سازی

پارامتر	حداقل	حداقل	میانگین	انحراف معیار
---------	-------	-------	---------	--------------

^۱ Gaussian Processes

^۲ Multi-Layer Perceptron

^۳ Coefficient of correlation

^۴ Root Mean Square Error

^۵ Mean Square Error



پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
(آبخیزداری و امنیت ملی)

۶-۷ آبان ماه ۱۳۹۹ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

15th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Watershed Management and National Security

آموزش	۲۴/۸۷	۰/۴۱	۶/۰۳	۵/۵۴	دبی
آزمایش	۵۲/۱	۰/۶	۵/۱	۹/۲	
آموزش	۲۹/۵۹	-۱/۲۸	۱۳/۴۹	۸/۱۶	دما
آزمایش	۳۰/۰	-۰/۸	۱۹/۵	۹/۳	
آموزش	۲۰۴/۵۰	۰/۰۰	۵۸/۱۲	۴۷/۱۷	بارندگی
آزمایش	۱۷۹/۰	۰/۰	۲۸/۱	۴۷/۱	
آموزش	۳۹۲/۶۰	۰/۰۰	۱۳۹/۶۱	۱۳۵/۵۰	تبخیر
آزمایش	۴۶۵/۹	۰/۰	۲۶۰/۶	۱۵۴/۶	
آموزش	۸۹۹/۹۰	۰/۵۵	۵۷/۷۹	۱۱۵/۰۳	رسوب معلق
آزمایش	۷۲/۶	۱/۱	۱۸/۲	۱۷/۷	

جدول ۲ مقادیر بهینه پارامترهای مدل‌های GP-PUK، GP-RBF و MLR را نشان می‌دهد.

جدول ۲ مقادیر بهینه پارامترهای ورودی مدل‌های GP-PUK، GP-RBF و MLR

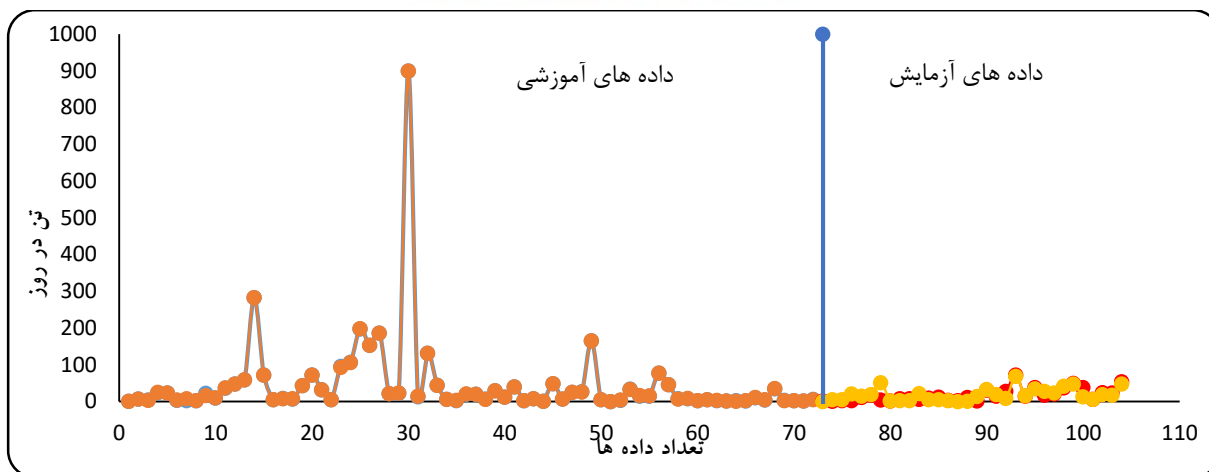
مدل	مقادیر بهینه
GP-PUK	Gaussian noise = 0.001, $\omega = 1$, $\sigma = 1.0$
GP-RBF	Gaussian noise = 0.0001, $\omega = 0.01$, $\gamma = 4.0$
MLR	HI= a, LR=0.3, m=0.2

در این تحقیق برای ارزیابی مدل‌های GP-PUK، GP-RBF و MLR، از ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و میانگین مطلق خطا استفاده شد. جدول ۳ نتایج ارزیابی مدل‌ها را برای انتخاب بهترین مدل برای مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ ارزیابی کارایی مدل‌های GP-PUK، GP-RBF و MLR

رتبه مدل	تست			آموزش			مدل
	MAE	C.C	RMSE	MAE	C.C	RMSE	
۲	۲/۸۵	۰/۹۲۱۵	۳/۵۹۸	۰/۹۸۶۸	۰/۹۹۹۹	۱/۶۲۷۶	GP-PUK
۱	۲/۱۹	۰/۹۵۱۳	۲/۸۸۸	۰/۵۷۵۹	۰/۹۹۹۹	۱/۰۷۹	GP-RBF
۳	۱۳۴/۰۱	۰/۲۵۱	۳۹۴/۹۷	۴۹/۷۹	۰/۹۵۸۴	۵۷/۲۶	MLR

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل‌های GP-RBF، GP-PUK و MLR با توجه به نتایج معیارهای ارزیابی به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. در این بین مدل GP با کرنل RBF به ترتیب با ریشه میانگین مربعات، ضریب همبستگی و میانگین خطای مطلق، ۱/۰۷۹، ۰/۹۹۹۹ و ۰/۵۷۵۹ در مرحله آموزش و همچنین به ترتیب با مقادیر ۲/۸۸۸، ۰/۹۵۱۳ و ۲/۱۹ در مرحله آزمایش به عنوان بهترین تخمینگر برای تخمین رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری تیره درود انتخاب شد. شکل ۲ نمودار داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده رسوب معلق در مرحله آموزش و مرحله آزمایش را در ایستگاه تیره درود را نشان می‌دهد. نتایج شکل ۲ مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده در مراحل آموزش و آزمایش مدل GP_RBF را نشان می‌دهد که مطابق آن همخوانی خوبی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده مشاهده می‌شود.



شکل ۲ داده های واقعی و پیش بینی شده در مرحله آموزش و آزمایش مدل GP_RBF

بحث و نتیجه گیری

مدل سازی رسوب معلق رودخانه ها از اهمیت به بالایی برخوردار می باشد که می تواند بر مدیریت و بهره برداری از سازه های آبی و مورفولوژی رودخانه تاثیر گذار باشد. در این تحقیق به بررسی و ارزیابی کارایی مدل های GP با کرنل های PUK و RBF و همچنین MLR برای پیش بینی میزان رسوب معلق رودخانه تیره در ایستگاه هیدرومتری تیره درود پرداخته شد. برای مدل سازی رسوب معلق با مدل های ذکر شده، مقادیر همزمان دبی جریان، تبخیر، بارندگی و دما به عنوان پارامتر ورودی (مستقل) و مقادیر میزان رسوب معلق به عنوان پارامتر خروجی (وابسته) به مدل معرفی شدند. نتایج این تحقیق نشان دهنده این موضوع بود که مدل GP با دو کرنل PUK و RBF از کارایی خوبی برای تخمین رسوب معلق برخوردار است. ولی با مقایسه این مدل ها مشخص شد که کارایی مدل GP با کرنل RBF نسبت به کرنل PUK بیشتر می باشد و نتایج قابل قبول تری ارائه داد و می توان این مدل را برای تخمین میزان رسوب معلق مورد استفاده قرار داد و از نتایج آن برای اجرای مدیریت بهتر در رابطه کیفیت و کمیت آب های سطحی استفاده کرد.

منابع

۱. اسدی، ه.، شاهی، ک.، ری سایدل، ر.، کلامی هریس، س.م.، ۱۳۹۸: پیش بینی رسوب معلق با استفاده از داده های هیدرولوژیک و هیدروژئومورفیک در مدل های هوشمند، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳): ۱۰۵-۱۱۹.
۲. دهقانی، ر.، یونسی، ح.، ترابی پوده، ح.، ۱۳۹۶: مقایسه عملکرد مدل های ماشین بردار پشتیبان، برنامه ریزی بیان ژن و شبکه بیزین در پیش بینی جریان رودخانه ها، نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۴): ۱۷۷-۱۶۱.
۳. عشقی، پ.، فرزاد مهر، ج.، دستورانی، م.ت.، عرب اسدی، ز.، ۱۳۹۵: بررسی کارایی مدل های هوشمند در برآورد رسوبات معلق رودخانه ای، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۴): ۹۶-۸۸.



پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
(آبخیزداری و امنیت ملی)

۶-۷ آبان ماه ۱۳۹۹ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

15th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran
Watershed Management and National Security

۴. نیک پورم.ر.، ثانیخانی.ه.، ۱۳۹۶: مدل سازی رسوبات معلق رودخانه با استفاده از محاسبات نرم، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۸(۳۰): ۲۹-۴۴.
۵. هنریخش.ا.، نیازی.ع.، سلطانی کوپایی.س.، طهماسبی.پ.، ۱۳۹۸: مدلسازی رابطه میزان رسوب و ویژگیهای هیدرولوژیکی و محیطی حوضه، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱): ۱۱۷-۱۰۵.
6. Buyukyildiz M., and S.Y, Kumcu. 2017. An Estimation of the Suspended Sediment Load Using Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, Support Vector Machine and Artificial Neural Network Models, Water Resources Management, 31(4): pages1343–1359.
7. Choubin B., H, Darabi. O, Rahmati. F. Sajedi-Hosseini. and B, Kløve. 2018. River suspended sediment modelling using the CART model: A comparative study of machine learning techniques, Science of the Total Environment, 615: 272–281.
8. Mu, D., D, Yuan. H, Feng. F, Xing. F.Y, Teo. and S, Li. 2017. Nutrient fluxes across sediment water interface in Bohai Bay Coastal Zone, China. Mar. Pollut. Bull. 114:705–714.
9. Rovira A., C, Alcaraz. and C, Ibanez. 2012. Spatial and temporal dynamics of suspended load at-a-crosssection: The lowermost Ebro River (Catalonia, Spain), Water Research, 46(11): 3671-3681.
10. Sepahvand A., P, Sihag. B, Singh. and M, Zand. 2018. Comparative Evaluation of Infiltration Models, KSCE Journal of Civil Engineering, 22(10):4173-4184.
11. Sihag P., V.P, Singh. A. Angelaki. V, Kumar. A, Sepahvand. and E, Golia. 2019. Modelling of infiltration using artificial intelligence techniques in semi-arid Iran, Hydrological Sciences Journal, 64(13):1647-1658.
12. Suif, Z., A, Fleifle. C, Yoshimura. and O, Saavedra. 2016. Spatio-temporal patterns of soil erosion and suspended sediment dynamics in the Mekong River Basin. Sci. Total Environ. 568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.134>.
13. Tabatabaei, M., A, Salehpour Jam. and S.A, Hosseini. 2019. Suspended sediment load prediction using non-dominated sorting genetic algorithm II, International Soil and Water Conservation Research, 7(2): 119-129.

Modeling of Suspended sediment load by Gaussian process and multilayer perceptron models (Case study: Tir Droud station)

Alireza Sepahvand¹, Zeynab Azizi Najafgholi²

Abstract

Investigation and forecasting of suspended sediment load of river has an important role in the optimum management the quality and quantity of surface water resources. Therefore, in recent years, methods based on learning algorithms have been considered for modeling of suspended sediment load. The purpose of this study was comparison of performance of GP-RBF, GP-PUK and MLR models for prediction of suspended sediment load. The results showed that Gaussian Processes by RBF kernel with C.C= 0.9999, RMSE= 1.079 and MAE=0.5759 in training stage and C.C= 0.9513, RMSE= 2.888 and MAE=2.19 in testing stage was the best model for prediction of suspended sediment load.

Key Words: Lorestan, Hydrometric station, Suspended sediment load, Gaussian Processes, Multi-Layer Perceptron

¹ Assistant Prof., Department of Range and Watershed Management Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

² Graduate student, Department of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.