

Investigating the Ability of Support Vector Machine and Wavelet Transform Method in Predicting Water Quantity and Quality (Case Study: Anzali Lagoon)

S.S. Mirfallah Nasiri¹, E. Amiri^{2*}, and J. Behzadi³

Abstract

In this research, a numerical prediction infrastructure is developed using the support vector machines and the wavelet transform to predict the changes of water quantity and quality in Anzali lagoon. Due to the necessity of accurate measurement of climate forecasts from the existing quantitative and qualitative statistics of the surface flow, field data and ground level in a 20-year period from 1999 to 2020 were pre-processed in PYTHON software environment and used as the calculation base. The results indicated that the regression extracted with the RBF function had a high match compared to the linear regression. Also, after confirming the experimental method using the SVM model, a wavelet transform model was developed to determine the final parameter of CWT. The results showed very close values for the target function in the radial function and the linear model in the data range of -2 to 2 in the range of -0.9 to 0.1. But these numbers were different in the polynomial function, which indicated a high compatibility of the regression extracted with the RBF function compared to the linear regression. Also, the results showed that the SVM prediction model well fitted the RBF function on the data in accordance with the linear regression fitting in the experimental method of discovering the trend and the time series of the user's data. The results in this case indicated CWT with a density of four in the recorded periods in accordance with the images.

Keywords: Flow Model, Anzali Lagoon, SVM, Wavelet.

Received: December 20, 2023

Accepted: March 10, 2024

بررسی قابلیت روش ماشین بردار پشتیبان و تبدیل موجک در پیش‌بینی کمیت و کیفیت آب (مطالعه موردی: تالاب انزلی)

سیدسامان میرفلاح نصیری^۱، ابراهیم امیری^{۲*} و جلال بهزادی^۳

چکیده

در این پژوهش به منظور تهیه یک زیرساخت پیش‌بینی عددی از وضعیت تغییرات کمیت و کیفیت تالاب انزلی، از قابلیت روش ماشین بردار پشتیبان و تبدیل موجک استفاده شده است. با توجه به لزوم سنجش دقیق پیش‌بینی‌های اقلیمی از آمار موجود کمی و کیفی جریانات سطحی، از داده‌های صحرایی و رقوم زمینی در یک بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ به صورت پایه محاسبات با پیش‌پردازش در محیط نرم‌افزاری پایتون استفاده شد. نتایج در این مورد حاکی از تطابق بالای رگرسیون استخراج شده با تابع RBF در مقابل رگرسیون خطی محیط اکسل در روش تجربی بود. همچنین، پس از تأیید روش تجربی با استفاده از مدل SVM، اقدام به توسعه یک مدل تبدیل موجک به جهت تعیین نهایی پارامتر تبدیل موجک مداوم شد. نتایج نشان داد که مقدار تابع هدف در بازه داده -۲ تا ۲ در تابع شعاعی و مدل خطی تقریباً مقدار نزدیک به هم در بازه -۰/۹ تا ۰/۱ بوده است؛ اما این اعداد در تابع چند جمله‌ای متفاوت بوده است که نتایج حاکی از تطابق بالای رگرسیون استخراج شده با تابع RBF در مقابل رگرسیون خطی محیط اکسل در روش تجربی بود. همچنین، نتایج نشان داد که مدل پیش‌بینی SVM به خوبی برازش تابع RBF را بر داده‌ها مطابق با برازش رگرسیون خطی در روش تجربی کشف روند و سری زمانی داده‌های کاربر استخراج کرد. نتایج در این مورد حاکی از CWT با تراکم چهار در دوره‌های ثبتی است.

کلمات کلیدی: مدل جریان، تالاب انزلی، روش ماشین بردار پشتیبان، تبدیل موجک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۹/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2- Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. Email: eamiri57@yahoo.com

3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/IWRR.2024.431495.2734](https://doi.org/10.22034/IWRR.2024.431495.2734)

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۳- استادیار گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۳ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

با توجه به مشکلات عمده تالاب انزلی و همچنین نقش الگوریتم فراابتکاری در مدیریت و توسعه پایدار منابع آب، می‌توان نوآوری این تحقیق در توسعه الگوریتم بر روی مجموعه داده‌های جریان و استخراج روندهای غیر تصادفی ناشی از تغییرات اقلیمی و ساخت و سازهای انسانی بر روی شبکه هیدرومتری منطقه تالاب انزلی مطرح کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده و موقعیت جغرافیایی تالاب انزلی

حوضه آبریز تالاب انزلی دارای مساحتی حدود ۳۷۴ هزار هکتار است. این تالاب در جنوب غربی سواحل دریای خزر واقع در استان گیلان، در عرض ۲۸ تا ۳۷ شمالی و طول ۲۵ تا ۴۹ شرقی واقع شده و از شمال به شهرستان انزلی، از جنوب به شهرستان صومعه‌سرا، از شرق به شهرستان رشت و از غرب به کپورچال و آبکنار انزلی محدود است (Chopda and Malek, 2018). این تالاب جزء تالاب‌های طبیعی و آب شیرین کشور بوده و دارای ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی است که پس از آبیاری مزارع و شالیزارها به همراه جریان‌های سطحی حوضه آبریز تالاب به آن وارد می‌شوند. حداکثر عمق آب تالاب در بهار و در نواحی غربی تالاب به ۲/۵ متر می‌رسد که به دلیل نوسان‌های سطح آب دریای خزر، این مقدار متغیر است.

در این پژوهش، از آمار موجود کمی و کیفی جریان‌های سطحی، از داده‌های صحرایی در بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ به صورت پایه محاسبات با پیش پردازش در محیط نرم‌افزاری پایتون استفاده شده است. گام زمانی داده‌ها و همچنین داده‌های کیفیت به شکل فصلی بوده است. با توجه به اهمیت استخراج و تفکیک داده‌های سری زمانی به منظور تهیه یک شاخص آسیب‌پذیری، از کد اسکرپت در فضای پایتون به منظور ترکیب مدل پیش‌بینی بعد از تحلیل روند با روش فراابتکاری موجک استفاده شده است.

۲-۲- تبدیل موجک

در این پژوهش، هدف اساسی به منظور پیش‌بینی وضعیت کیفیت آب تالاب انزلی، استفاده از روش SVM⁹ به عنوان یک رویکرد صحت‌یابی تا پیش‌بینی وضعیت پارامترهای کیفی برداشت شده توسط کاربر (نگارنده) است. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از توابع SVM نتایج تهیه سری زمانی برای داده‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

آلودگی منابع آبی که جمعیت‌های متراکم به بهره‌برداری از آنها وابسته‌اند، می‌تواند به برهم زدن پایداری آن و در نتیجه بحران‌های ثانوی بزرگی ختم شود (Ale et al., 2012). افزایش آلودگی در منابع آبی طبیعی نظیر دریاچه‌ها و تالاب‌ها، با توجه به طبیعت شکننده آنها، به عنوان یکی از بحران‌های پیش روی کشور، علاوه بر عوامل جریان ورودی، وابسته به وضعیت کمی خود آن اکوسیستم آبی نیز می‌باشد (Hollstein et al., 2016). به این معنی که فعالیت دست ساخت بشر بر روی دهانه‌های کنترلی منابع، در شرایط تغییر اقلیم بسیار مؤثر است (Adamowski et al., 2012). رخداد دوره‌های خشکسالی و ترسالی در اکوسیستم یک تالاب در بازه‌های تکرار شونده، به خودی خود امری عادی و شناخته شده در هیدرولوژی است (Wei et al., 2017). تغییرات اقلیمی به شکل محسوس، الگوهای جریان رودخانه‌ها را برهم زده است. الگوهای پیچیده و نامنظم جریان، مدیریت منابع آب را در شرایط بهره‌برداری حداکثری عملاً غیر ممکن کرده است (Chopda and Malek, 2018). همین غیر قابل پیش‌بینی شدن آورده‌های جریان و حتی رخدادهای سیلاب ناگهانی، منجر به تنش مضاعف بر تالاب‌ها بوده است (Chopda and Malek, 2018).

Malik et al. (2020) در یک پژوهش با توجه به اهمیت پیش‌بینی دقیق و قابل اعتماد جریان برای بهینه‌سازی مدیریت منابع آب، عملیات طغیان مخزن، حوضه آبریز و مدیریت آب شهری، بیان داشتند که در مطالعه خود رگرسیون بردار پشتیبان (SVR¹) توسط شش الگوریتم فرا ابتکاری شیمورچه (ALO²)، چندمنظوره (AAO³)، گفتار نقطه‌ای (SHO⁴)، هریس هاوکس (HHO⁵)، ازدحام ذرات (PSO⁶)، بی‌زی (NB⁷) برای پیش‌بینی جریان روزانه در حوضه آبخیز ناولا، ایالت اوتاراکند، هند بررسی شده است. نتایج مقایسه نشان داد که بهینه‌سازی هاوکس در طول دوره‌های کالیبراسیون، عملکرد برتری نسبت به سایر مدل‌ها در پیش‌بینی جریان روزانه در حوضه داشته است. علاوه بر این، الگوریتم جدید بهینه‌سازی هاوکس از نظر صحت پیش‌بینی، از الگوریتم‌های دیگر بهتر عمل کرد (Malik et al., 2020).

Shi et al. (2018) در یک پژوهش، روش ترکیبی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی موجک (موجک-ANN⁸) و اندازه‌گیری‌های جانشین با فرکانس بالا به عنوان یک روش تشخیص ناهنجاری کیفیت آب ارائه شد و نتایج نشان داد که مدل موجک-ANN برای پیش‌بینی کیفیت سطح آب با فرکانس بالا کمی دقیق‌تر از ANN است. تجزیه و تحلیل عملکرد در ایستگاه‌های مختلف و طی دوره‌های مختلف ثبات روش پیشنهادی را نشان داد.

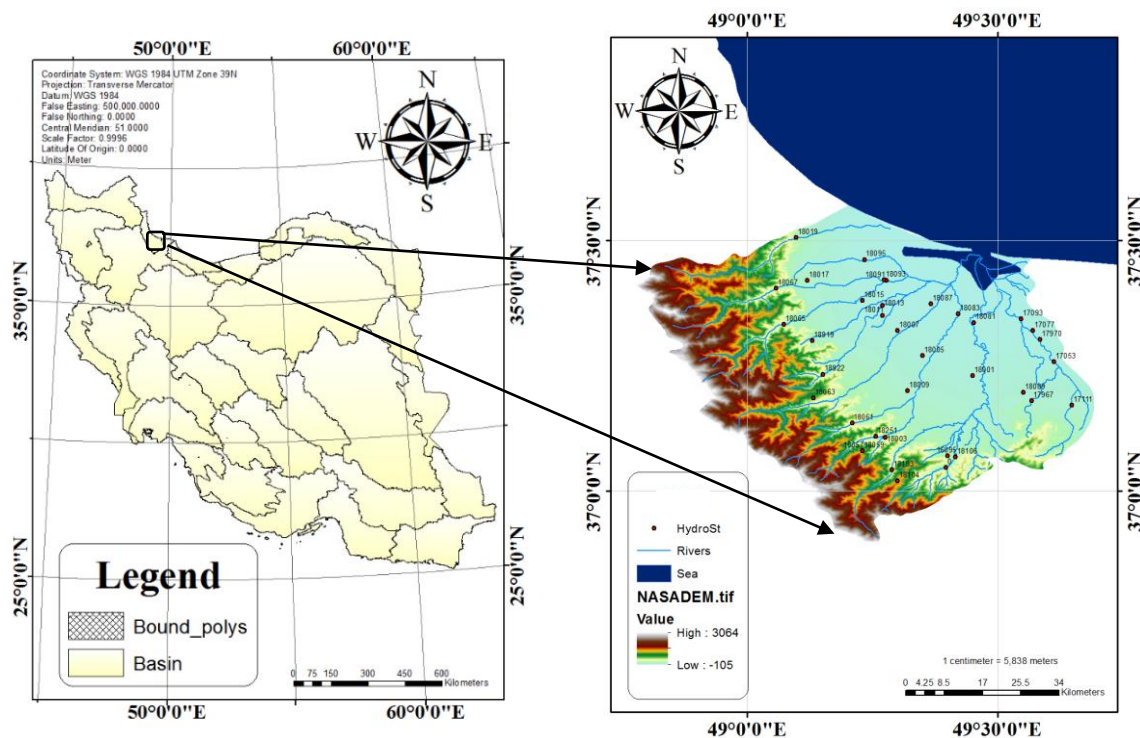


Fig. 1- Geographical location and geological map of Anzali lagoon

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و نقشه ارتفاعی تالاب انزلی

دهد. این سیگنال‌ها توسط تبدیلات فوریه به خوبی قابل پردازش و تجزیه هستند. شکل ۳ برای نمونه کامل داده‌ها که با رنگ سیاه مشخص شده است، سه نوع فاکتور برای استخراج اجزا سیگنال را نشان می‌دهد. می‌توان با استفاده از FFT^{14} تبدیلات فوریه، سیگنال را در هر مورد کشف کرد. این ماژول در زیر مجموعه یک مدل از پیش تهیه شده در محیط اسکریپت پایتون وجود دارد.

در شکل ۳، وضعیت سیگنال‌ها به صورت کامل، بخش اول، بخش دوم، بخش سوم نشان داده می‌شود بطوری که سیگنال کامل در بازه زمانی مشخص بیانگر چه همبستگی است و این اعداد ارقام در بخش اول (۲۰٪ سیگنال کامل) بخش دوم (۳۰٪ سیگنال کامل) و بخش سوم (۵۰٪ سیگنال کامل) خود چگونه می‌باشد.

طبق شکل ۵، در حالت سیگنال کامل، بیشترین همبستگی در زمان ۱/۵ و ۰/۵ رخ داده و این فاکتور در بخش اول به طور یکنواخت از ۲/۵- تا ۲/۵ در نوسان است و در بخش دوم نیز به طور یکنواخت در بازه ۱- تا ۱ و در بخش سوم به طور یکنواخت در بازه ۵- تا ۵ در نوسان است. شکل ۴ استخراج سیگنال‌های متوالی بر روی داده‌های مصنوعی با تبدیل فوریه نشان می‌دهد.

اگر آنچه به عنوان رگرسیون RBF^{10} در این روش تطابق خوبی با رگرسیون خطی محیط اکسل، در روش تجربی تهیه سری زمانی داده داشته باشد، می‌توان نتیجه گرفت که رویکرد تجربی دارای عدم قطعیت قابل قبولی در بین داده‌ها است. در عین حال از تبدیلات موجک به منظور کشف فرکانس تغییرات فصلی داده‌های سری زمانی تهیه شده استفاده می‌شود.

در شکل ۲ سری زمانی سیگنال‌های پارامترهای کیفی از قبیل pH ، TDS^{11} ، سوری، سولفات، کربنات، هیدروکربنات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، SAR^{12} نشان می‌دهد که بطور مثال در سیگنال TDS و EC^{13} ، بیشترین همبستگی در زمان‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ به بعد نشان داده شده و اما در سیگنال‌هایی نظیر pH در اغلب موارد مقدار ثابت داشته و اندک در زمان ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ تغییرات ناگهانی داشته است. در خصوص سیگنال سولفات می‌توان بیشترین همبستگی در زمان‌های ابتدایی و ۲۰۰۰ و ۲۴۰۰ اشاره کرد. به طور کلی اعداد همبستگی از نظر بزرگی در مربوط به سیگنال‌های pH ، هیدروکربنات است.

اکنون اقدام به تولید داده‌های مصنوعی با روندهای سینوسی و کسینوسی کرده که سیگنال‌های تکراری و منظمی در داده‌ها را نمایش

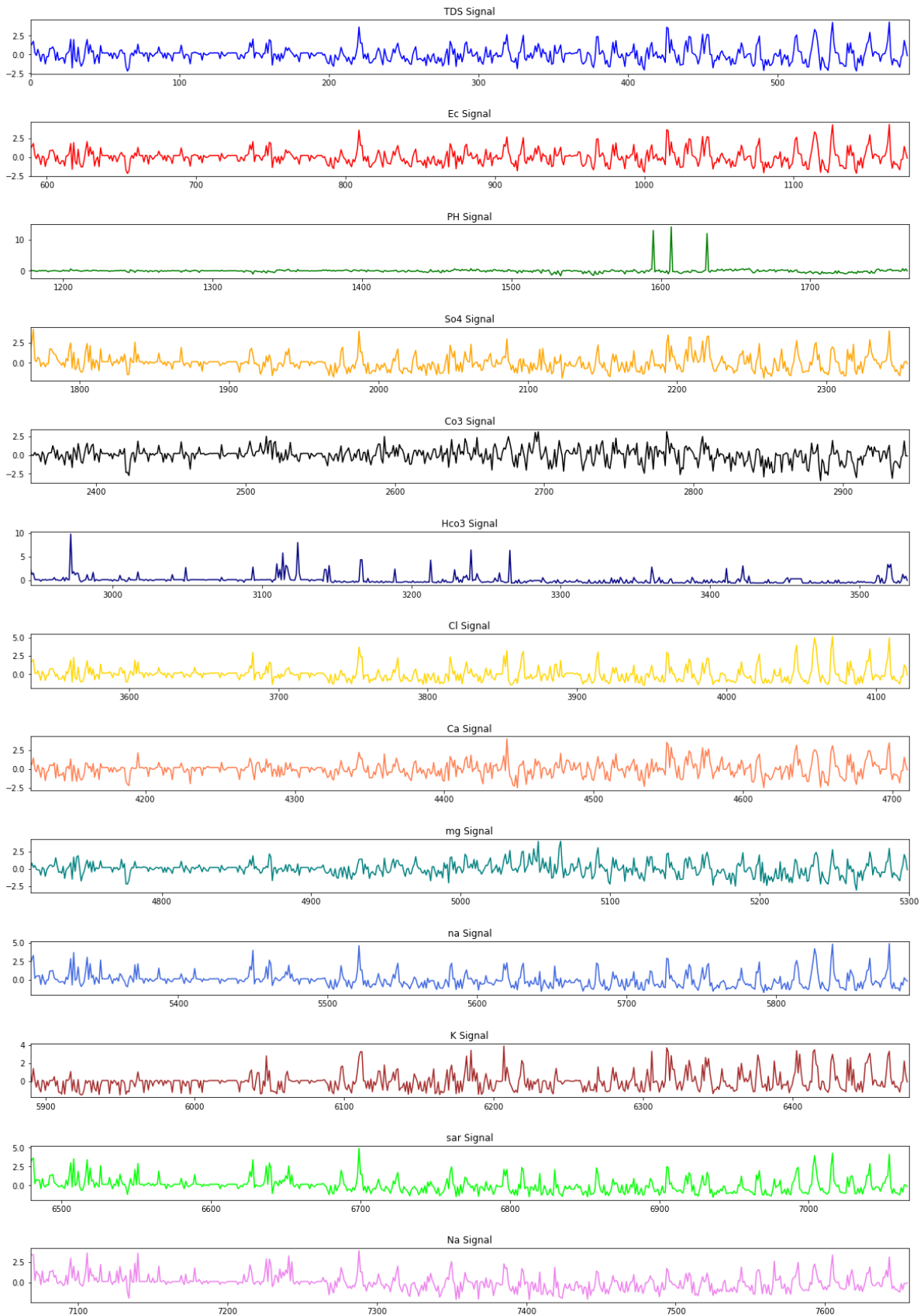


Fig. 2- Time series of signal data of qualitative parameters

شکل ۲- سری زمانی سیگنال داده‌های پارامترهای برداشتی کیفی

تحقیقات منابع آب ایران، سال بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳
Volume 20, No. 2, Summer 2024 (IR-WRR)

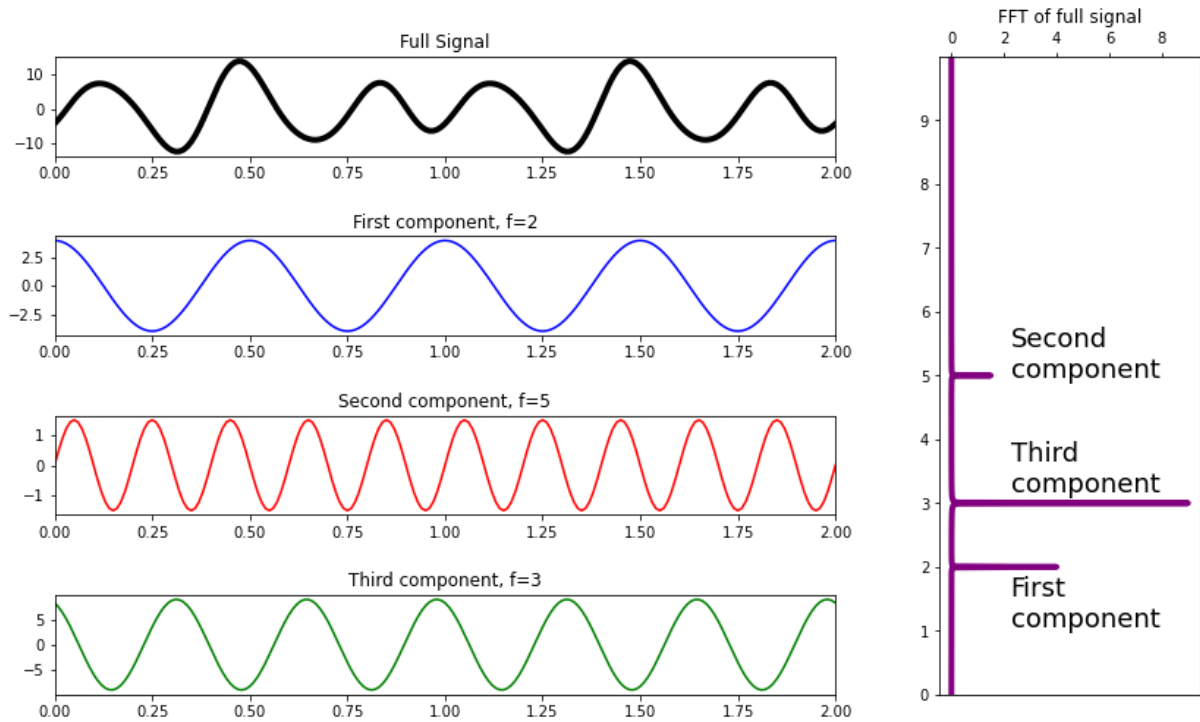


Fig. 3- Signal pattern extraction on synthetic data with a hypothetical factor

شکل ۳- استخراج الگوی سیگنال بر روی داده‌های مصنوعی با یک فاکتور فرضی

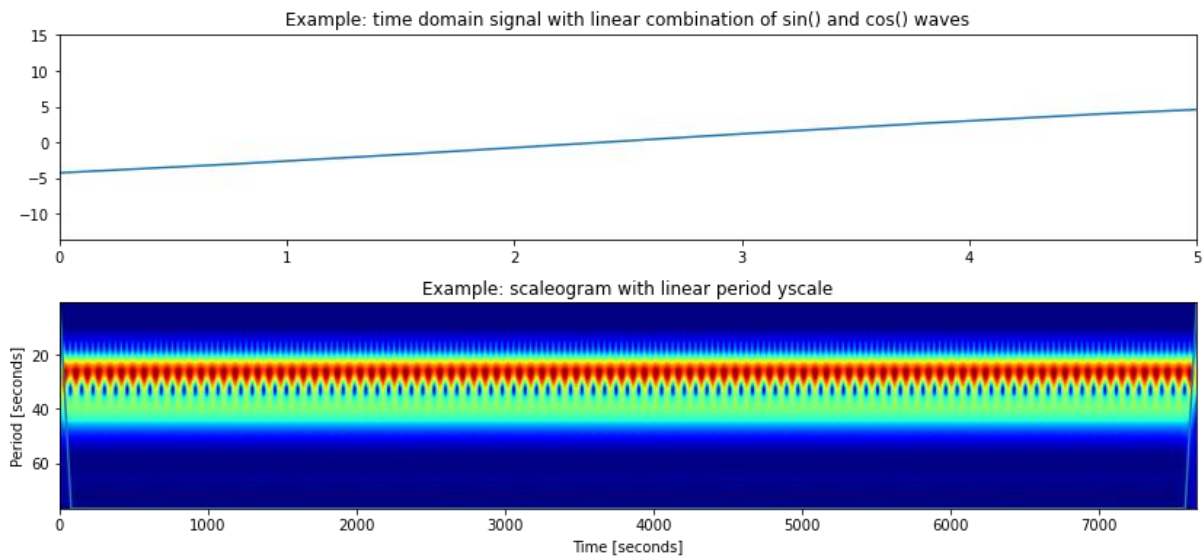


Fig. 4- Extraction of sequential signals on synthetic data with Fourier transform

شکل ۴- استخراج سیگنال‌های متوالی بر روی داده‌های مصنوعی با تبدیل فوریه

تبدیلات فوریه را به ابزاری کاربردی برای استخراج سیگنال تبدیل کرده است، قدرت این روش در استخراج صورت‌های منظم و تکراری از موج‌ها و یا سیگنال‌ها است. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که در داده‌های با روندهای کاملاً تصادفی، خروجی از کارایی خوبی برخوردار باشد.

در شکل بالا وضعیت سیگنال با تبدیل فوریه با ترکیب خطی موج‌های سینوس و کسینوس نشان داده و در شکل پایین نیز وضعیت پریود خطی در گذر زمان نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار ترکیب موج مشاهده می‌شود دامنه تغییرات ۱۵- تا ۱۵+ است و در این حالت پریود زمانی نیز در محدوده ۰/۴ متمرکز است. بطور کلی آنچه

نیز صحت‌یابی می‌شود. لذا کدنویسی مربوطه انجام شد و با استفاده از ماژول‌های پیش‌نیاز، مجموعه داده‌ها را از فایل CSV¹⁶ ورودی بر اساس عنوان و کلید اختصاص داده شده به هر یک خوانده شد و نتیجه ترسیم نمودار برای هر مورد به صورت شکل زیر است بطوریکه شکل ۷ سری زمانی پارامترهای کمی دبی سنجی آب منطقه‌ای نشان می‌دهد.

شکل ۷ میزان تغییرات دبی مربوط در تالاب انزلی در بازه‌های زمانی و در کدهای ایستگاهی متفاوت نشان می‌دهد بطوریکه در ایستگاه ۰۹۵-۱۸، بیشترین دبی در سال ۱۹۹۶ میلادی با مقدار حدود ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است. همچنین، در ایستگاه ۰۱۳-۱۸ در سال ۱۹۹۵ با مقدار حدود ۱۵۰ مترمکعب بر ثانیه، در ایستگاه ۰۱۸-۰۱۵ در سال ۲۰۰۲ با مقدار ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه، در ایستگاه ۰۸۳-۱۸ در سال ۲۰۰۷ با مقدار ۲۵۰ مترمکعب بر ثانیه، در ایستگاه ۰۸۱-۱۸ در سال ۱۹۹۶ با مقدار ۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه، در ایستگاه ۰۱۹-۱۸ در سال ۱۹۷۴ با مقدار حدود ۸۰ مترمکعب بر ثانیه است. بنابراین آگه مقادیرهای مربوط به هر ایستگاه به طور میانگین نگاه کنیم آنگاه رفتار نمودار Avg(Average) بیانگر بیشترین دبی در سال ۱۹۹۶ با مقدار حدود ۱۵۰ مترمکعب بر ثانیه است.

همچنین، در دو مقدار دیگر رگرسیون‌های خطی و چند جمله‌ای نیز بدست داده شد. برای این منظور ارقام سری زمانی در هر دو مورد تغییرات دبی آب رود و تغییرات رقوم ایستگاه مفقود به صورت ماتریس‌های قابل خوانش توسط کد تهیه و تحلیل صورت پذیرفت که الگو در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۸ و جدول ۱ الگوهای رگرسیون محاسبه شده به سه روش بر روی داده‌های مبنا نشان می‌دهد.

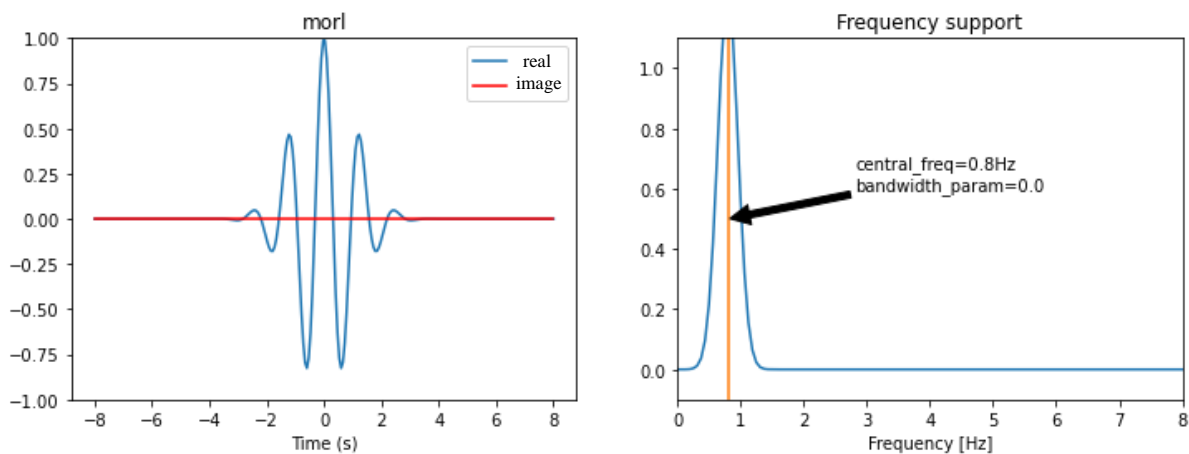


Fig. 5- Variable signals on data
شکل ۵- سیگنال‌های متغیر بر داده‌ها

در شکل ۵، با استفاده از کد مفروض پایتون، انواعی از موجک‌های موضعی که در دوره‌های پایدار زمانی قابل تشخیص است معرفی شد. در این مجموعه داده محیطی، می‌توان نمونه مشخصی از موجک را تشخیص داد.

در شکل ۵، موجک موضعی نوع Morl¹⁵ و حمایت فرکانس در بازه زمانی ۸- تا ۸ ثانیه و فرکانس ۰ تا ۸ هرتز نشان می‌دهد بطوریکه در بعد زمانی از ۰/۷۵- تا ۰ و در بعد فرکانسی نیز ۰ تا ۱ متغیر است. شکل ۶ عمده انواع موجک‌های شناسایی شده بر انواع داده‌ها نشان می‌دهد.

در شکل ۶ انواع و اقسام موجک‌ها در انواع داده‌ها در زمان مشخص شناسایی و بررسی شد که با توجه به تفاسیر شکل قبلی در خصوص تابع موجک از نوع Morl انتخاب شد. این نمونه می‌تواند به درستی بر روی سیگنال‌های داده‌های محیطی منتخب و مفروض ما اقدام به استخراج دوره‌های تکراری فصلی جهت کاربرد در مدل‌های پیش‌بینی کند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل SVM

روش توسعه مدل SVM به عنوان شبیه‌ساز اول پیش‌بینی، در شرایط تأیید روش رگرسیون بازسازی است. از روش SVM و مشخصاً رگرسیون RBF که در محیط صفحات گسترده قابل دست‌یابی نیست، به منظور کشف معادله‌ای بهره گرفته می‌شود که در صورت تأیید بتواند مشابه معادله بکار رفته در تخمین سری زمانی بوده باشد. در این حالت علاوه بر امکان برونیابی در دوره‌های آتی، روش رگرسیون در گام قبل

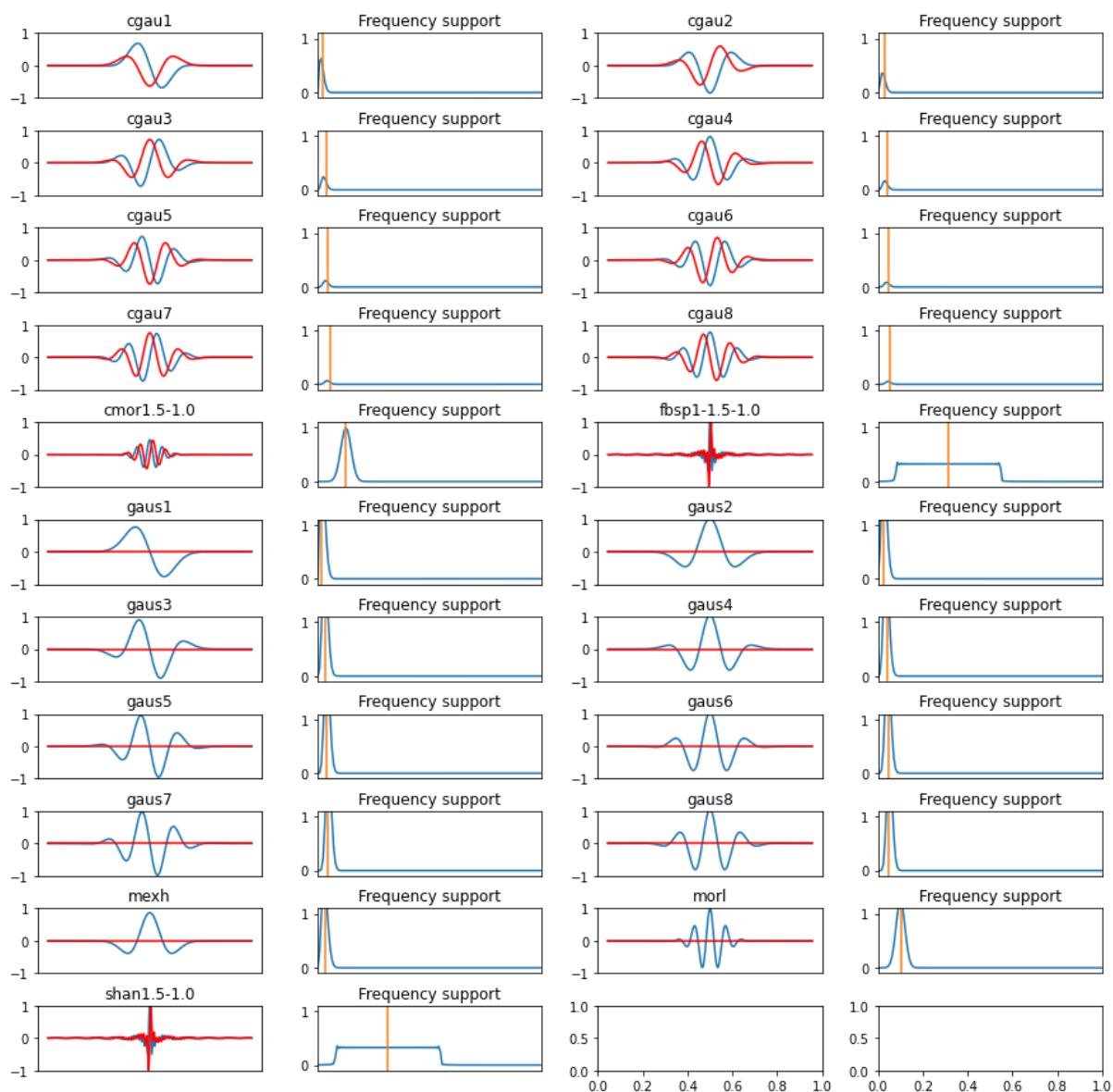


Fig. 6- The main types of wavelets identified on the types of data

شکل ۶- عمده انواع موجک‌های شناسایی شده بر انواع داده‌ها

Table 1- Regression patterns on base data calculated in three ways

جدول ۱- الگوهای رگرسیون محاسبه شده به سه روش بر روی داده‌های مبنا

Data value	Objective in the polynomial model	Objective in the linear model	Objective in the radial function model
-2	-1.4	-0.8	-0.85
-1	-0.4	-0.5	-0.5
0	-0.5	-0.35	-0.35
1	-0.4	0	0
2	0.1	0.1	0.09

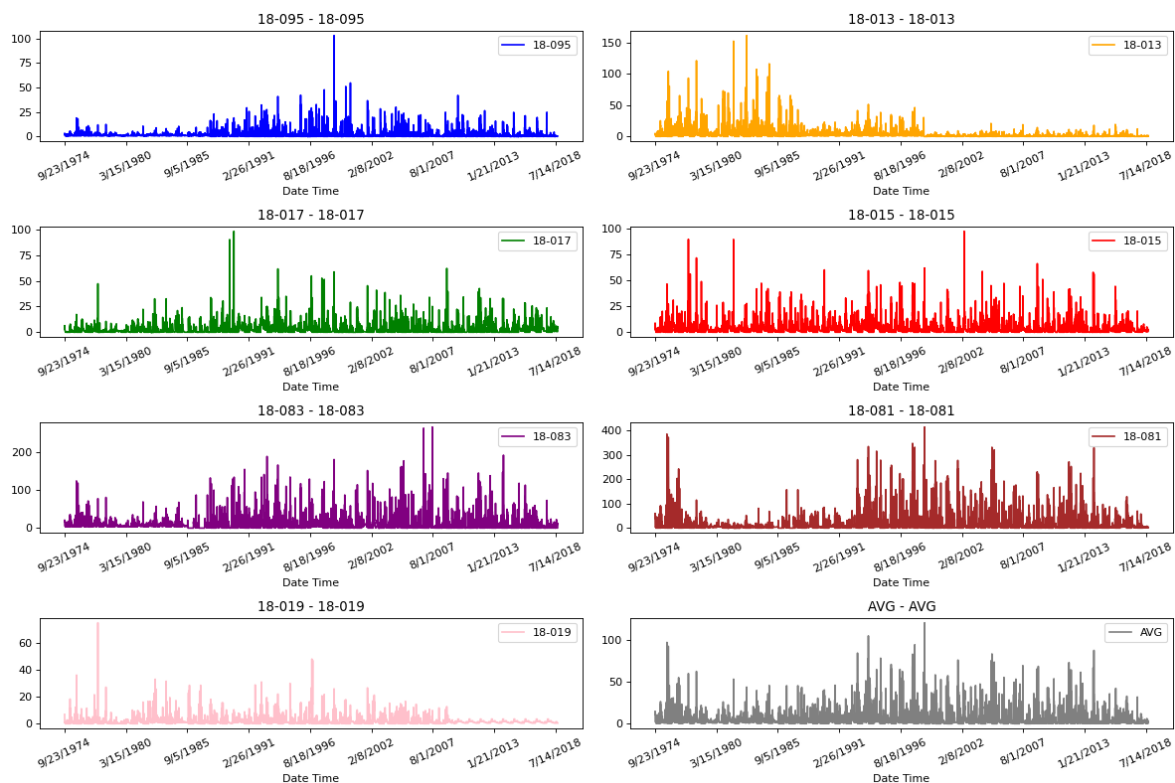


Fig. 7- Time series of quantitative parameters of flow measurements by the Regional Water Company

شکل ۷- سری زمانی پارامترهای کمی دبی سنجی آب منطقه‌ای

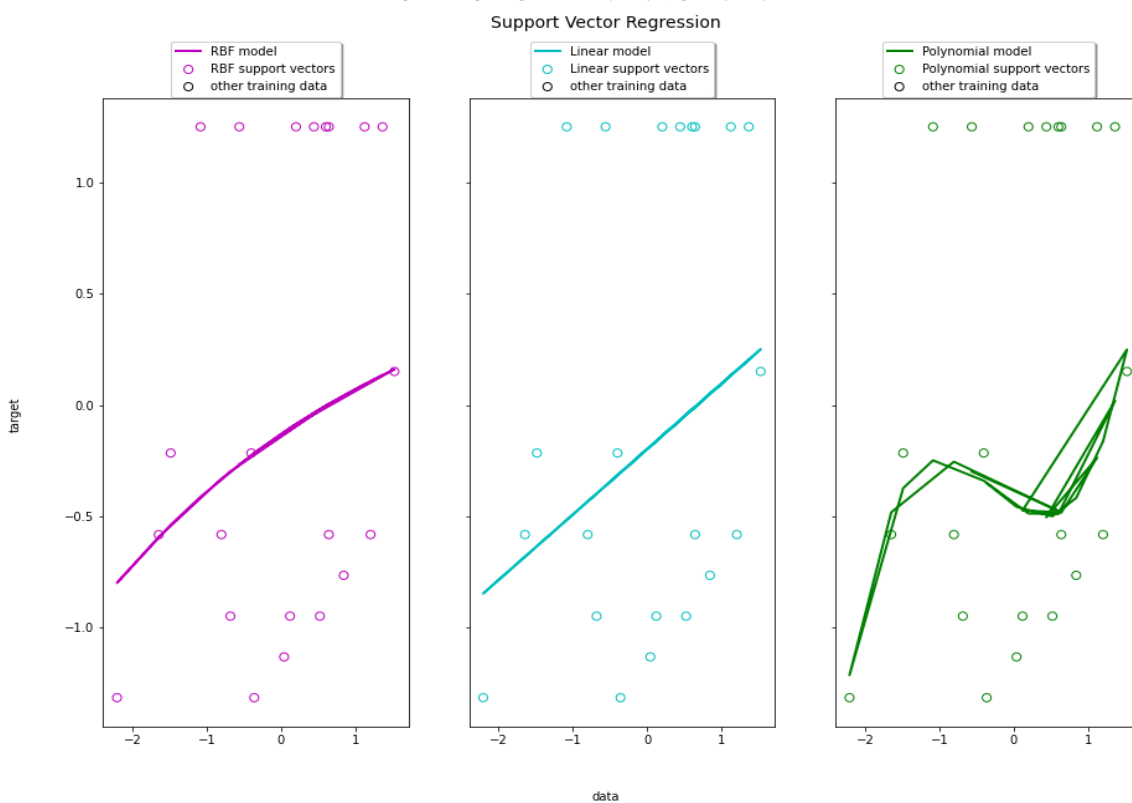


Fig. 8- Regression patterns on base data calculated in three ways

شکل ۸- الگوهای رگرسیون محاسبه شده به سه روش بر روی داده‌های مبنا

موجک و همچنین ترکیب این دو به منظور پیش‌بینی وضعیت آبی مورد استفاده واقع شود.

روند محاسبات تا استخراج و کشف روند داده‌ها به این شرح بوده است که در گام اول متوسط هر نمونه برداشت شده توسط شرکت آب منطقه‌ای در تمام مختصات‌های کاربر به صورت سری زمانی استخراج شد. این مقادیر با استفاده از دستورات محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS¹⁷) بوده است. در گام بعد لازم بود تا مقدار همبستگی بین داده‌ها با استفاده از یک نقشه Heat مورد بررسی بصری واقع شود. قطعه کد برای مجموعه ورودی این نقشه را ترسیم می‌کند که به منظور محاسبه نقشه Heat است که مشخص‌کننده ضریب تشخیص بین داده‌ها است. نتیجه به صورت شکل ۹ بود. همچنان که مشاهده می‌شود، بین داده متوسط تراز آب با دیگر داده‌های کیفی متوسط همبستگی مشخص و معناداری یافت نمی‌شود. مقدار همبستگی جز در موارد معدودی در پارامترهای دیگر کمتر از حد انتظار است.

نتیجه بدست داده شده در نقشه Heat حاکی از بالا رفتن مقدار همبستگی در عمده پارامترها است. به صورتی که می‌توان در برخی از موارد تا حدود ۹۰ درصد همبستگی را مشاهده کرد. برای آنکه نشان دهیم، مقدار پیش‌بینی بر اساس رگرسیون خطی دارای مقدار صحیح از نظر کمترین عدم قطعیت ممکن بوده است، از ادامه کد این مجموعه، بر اساس بالاترین همبستگی، به روش ماشین بردار پشتیبانی، اقدام به استخراج رگرسیون به روش RBF شد.

در شکل ۸، رفتار رگرسیون مربوط به مدل تابع شعاعی (RBF) با رنگ بنفش و مدل خطی (Linear) با رنگ آبی، مدل چند جمله‌ای (Polynomial) با رنگ سبز در بازه داده مشخصی نشان داده شده است بطوریکه طبق جدول ۱ در بازه داده ۲- تا ۲ مقدار تابع هدف در مدل تابع شعاعی و مدل خطی تقریباً مقدار نزدیک به هم در بازه ۰/۹- تا ۰/۱ نشان می‌دهد اما این اعداد در تابع چند جمله‌ای متفاوت هست بطوریکه در بازه ۲- تا ۲، تابع هدف از ۱/۵- تا ۰/۱ بعد چندین شکست متوالی می‌رسد. به طور کلی می‌توان اذعان کرد که روش RBF با مدل خطی قرابت بالایی نسبت به هم دارند که تأیید این امر است که استفاده از صفحات گسترده با روش حاضر دقت قابل قبولی در پیش‌بینی رقوم پارامترهای کاربر برای بازه‌های زمانی دارد که اندازه‌گیری از آنها در دست نیست.

به منظور پیش‌بینی وضعیت نمونه پارامتر کیفی که توسط کاربر برداشت شده است؛ با توجه به آنکه نمونه‌ها برای عناصر مختلف سنجش کیفی در مختصات‌های مکانی تنها در بازه زمانی فصلی صورت می‌پذیرد؛ از سری روابطی تجربی به همراه مدل‌های موجک و SVM در کشف ارتباط با دبی بهره گرفته خواهد شد. اگرچه استفاده از روند و تحلیل تغییرات در یک دوره، یکی از الزامی‌ترین بخش‌های بکارگیری روش‌های مدل-رگرسیون به منظور پیش‌بینی است، اما در مجموعه حاضر، به علت محدودیت‌های موجود، این برداشت به صورت مذکور نمی‌تواند مستقیماً در روش ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و یا

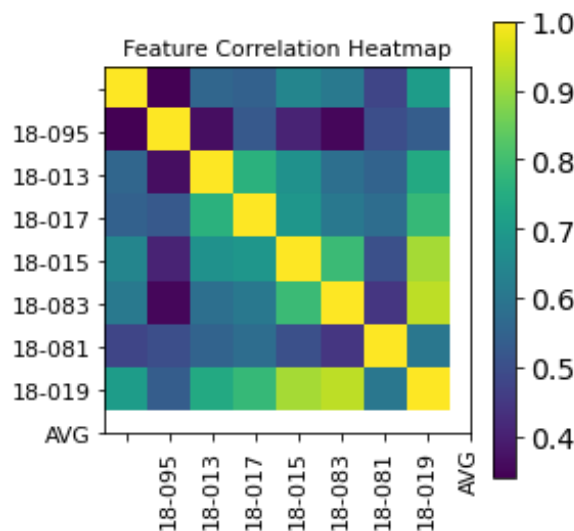


Fig. 9- Average heat map of quality parameter measurements by the Regional Water Company
 شکل ۹- نقشه Heat متوسط پارامترهای کیفی برداشت آب منطقه‌ای

سری، نمودار در زمان‌های ۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵ به ترتیب بیانگر اعداد ۰، ۲۵، ۳۰، ۳۰ هستند.

شکل ۱۱ خروجی محاسبات مدل موجک و مقدار پارامتر تبدیل موجک مداوم پیوسته (CWT¹⁸) نشان می‌دهد.

در بخش الف از شکل ۱۱، نمودارهای مربوط به وضعیت پرلود زمانی سیگنال در دوره ۰ تا ۹۰ ثانیه نشان می‌دهد و در بخش ب از شکل ۱۰ نیز نمودارهای مربوط به وضعیت پرلود زمانی سیگنال در دوره صفر تا ۸۰۰۰ ثانیه نشان می‌دهد. آنچه از شکل ۱۱ قابل تحلیل است، تحت عنوان اسکالوگرام، تغییرات زمانی در مقابل دوره برای CWT بدست داده شده است. تراکم بالای مقدار این واحد در عدد ۴ مشابه با روش قبل تعیین کننده تکرار چهار واحد فصلی از داده است. بنابراین در یک مدل پیش‌بینی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان از این یافته به منظور تنظیم پارامترهای ورودی تا استخراج پیش‌بینی‌های با کمترین خطا استفاده کرد.

بنابراین اگر بر روی سری زمانی تهیه شده از پارامتر برداشتی کیفیت آب، تبدیل فوریه اعمال شد، می‌توان انتظار داشت که مطابق با شکل ۱۲، سیگنال‌ها قابل تشخیص و ردیابی باشند. بیشینه سیگنال در نقطه‌ای اتفاق افتاده است که حدوداً رقم ۴ زمانی-فصلی بوده است.

همچنین، در دو مقدار دیگر رگرسیون‌های خطی و چند جمله‌ای نیز بدست داده شد. برای این منظور ارقام سری زمانی در هر دو مورد تغییرات دبی آب رود و تغییرات رقوم ایستگاه مفقود به صورت ماتریس‌های قابل خوانش توسط کد تهیه و با استفاده از اسکریپت تحلیل صورت پذیرفت. قرابت بالای رگرسیون بدست داده شده به روش RBF با رگرسیون خطی، تأیید این امر است که استفاده از صفحات گسترده با روش حاضر دقت قابل قبولی در پیش‌بینی رقوم پارامترهای کاربر برای بازه‌های زمانی دارد که اندازه‌گیری از آنها در دست نیست. این امر نهایتاً منجر به استخراج یک سری زمانی به صورت میان‌بایی از ارقام این پارامترها منجر می‌شود. علاوه بر روش SVM یا ماشین بردار پشتیبانی، در ادامه برای آنکه در دوره‌های آتی، برای هر یک از پارامترهای سری زمانی شده، بدست داده شود، نیاز به تحلیل موج بود. موج به معنی روندی تکراری که در افزایش و کاهش مقدار پارامتر رخ می‌دهد اما به صورت بصری قابل تحلیل نیست.

۲-۳- مدل Wavelet

شکل ۱۰ مقدار تبدیل فوریه سری (FFT) سیگنال تمام مقدار بر روی داده‌های سری زمانی مفروض داده‌های کاربر نشان می‌دهد.

در شکل ۱۰ نمودار سیگنال کامل و تبدیل فوریه سری از سیگنال کامل در زمان مشخص ارائه شده است بطوریکه در حالت سیگنال کامل در محدوده اعداد ۰، ۱-، ۱ متغیر هست اما در حالت تبدیل فوریه

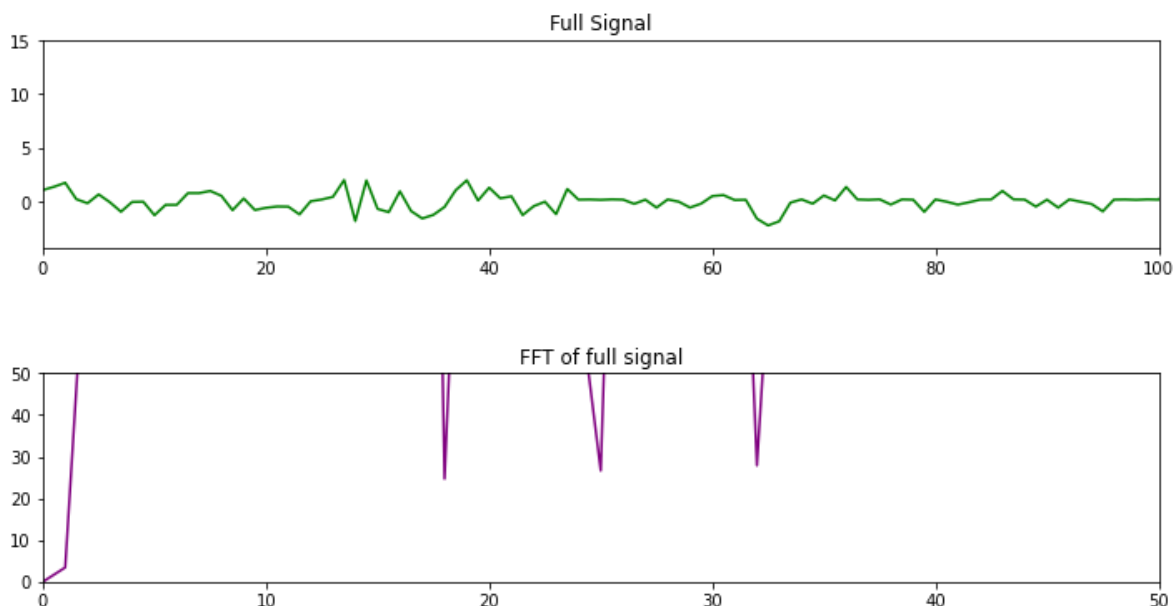
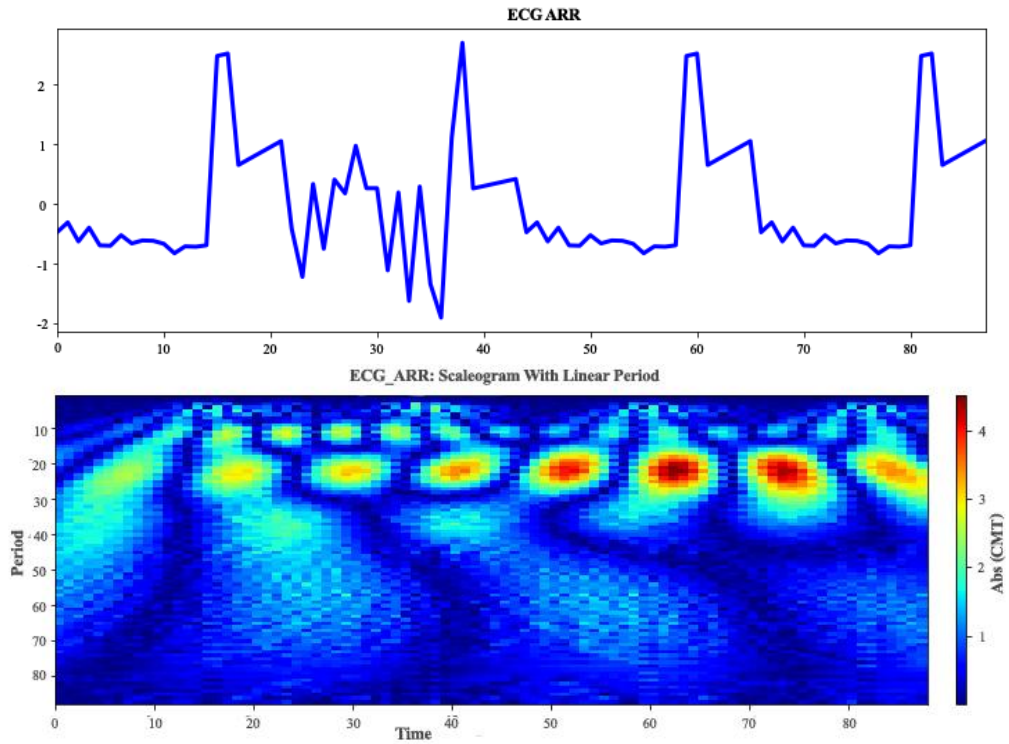
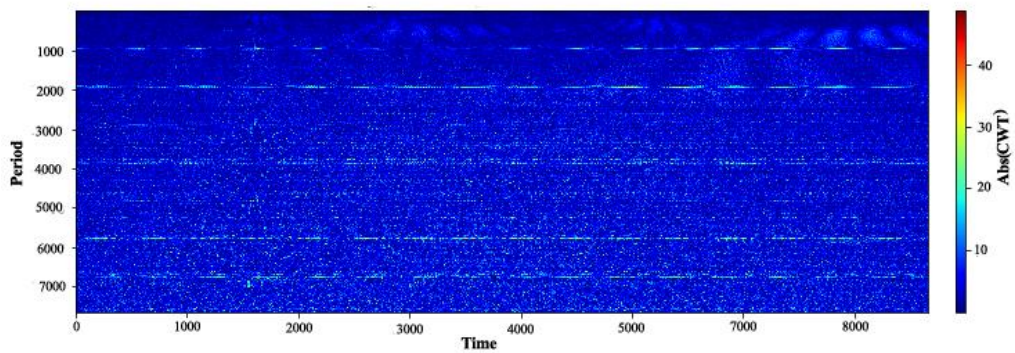
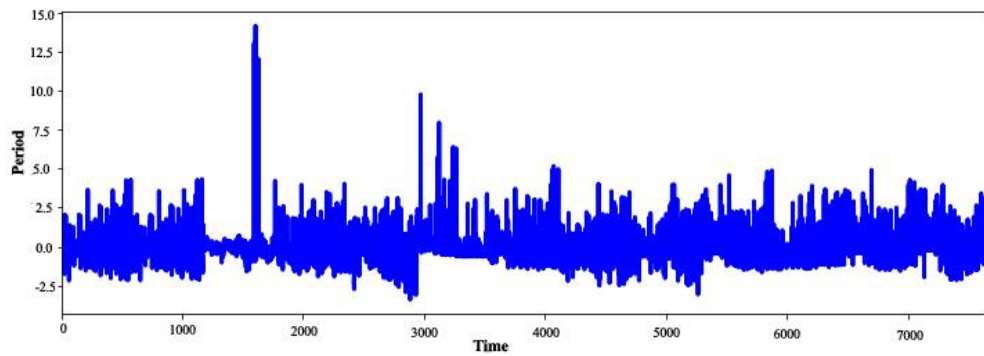


Fig. 10- Fourier transform (FFT) value of the series of the whole value signal on the assumed time series data of the user's data

شکل ۱۰- مقدار تبدیل فوریه سری (FFT) سیگنال تمام مقدار بر روی داده‌های سری زمانی مفروض داده‌های کاربر



(الف)



(ب)

Fig. 11- The output of the wavelet model calculations and the value of the wavelet transform parameter (CWT)

شکل ۱۱- خروجی محاسبات مدل موجک و مقدار پارامتر تبدیل موجک (CWT)

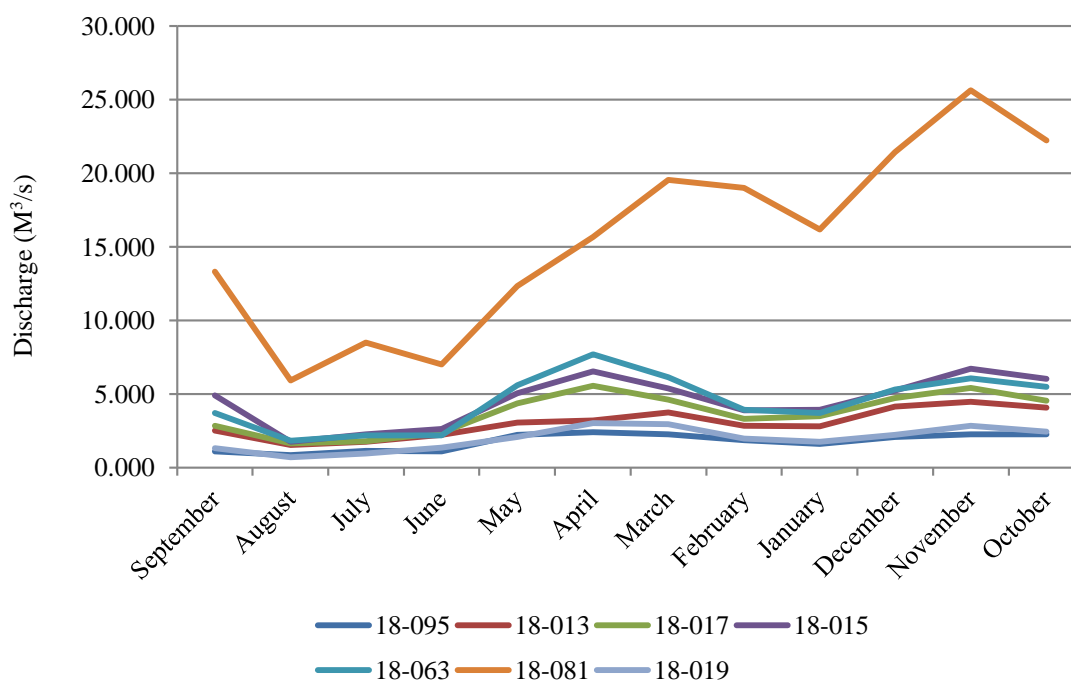


Fig. 12- Seasonal changes of the hydrometric flow measurements in selected stations feeding Anzali lagoon
شکل ۱۲- تغییرات فصلی مقدار جریان هیدرومتری در ایستگاه‌های منتخب تغذیه کننده تالاب انزلی

تا ۹۰ ثانیه و صفر تا ۸۰۰۰ ثانیه) مطابق با تصاویر مذکور است. از اطلاعات استخراج شده روش موجک برای تهیه ورودی مدل‌های تجربی (نظیر شبکه‌های عصبی) تا پیش‌بینی آبی از پارامترهای کیفیت آب می‌توان استفاده کرد. نتایج این روش با توجه به صحت‌یابی با مدل SVM قابل اعتماد خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات عمده تالاب انزلی، تمرکز این تحقیق بر توسعه الگوریتم بر روی مجموعه داده‌های جریان، تا استخراج روندهای غیر تصادفی ناشی از تغییرات اقلیمی و ساخت و سازهای انسانی بر روی شبکه هیدرومتری منطقه مورد مطالعه بود. از معادله مستخرج به منظور کشف روند و پیش‌بینی داده در دوره ده ساله مدل جریان آب در تالاب استفاده شد. از آنجا که روش ذکر شده به صورت تجربی تهیه شد، برای صحت‌یابی نتایج از توسعه یک کد اسکریپت در فضای پایتون برای اجرای یک مدل ماشین بردار پشتیبانی (SVM) بهره‌گیری شد. در بازه داده ۲- تا ۲ مقدار تابع هدف در مدل تابع شعاعی و مدل خطی تقریباً مقدار نزدیک به هم در بازه ۰/۹- تا ۰/۱ نشان داد؛ اما این اعداد در تابع چند جمله‌ای متفاوت بوده است بطوریکه در بازه ۲- تا ۲، تابع هدف از ۱/۵- تا ۰/۱ بعد چندین شکست متوالی می‌رسد. نتایج حاکی از تطابق بالای رگرسیون استخراج شده با تابع RBF در مقابل رگرسیون خطی محیط اکسل در روش تجربی داشت. مدل پیش‌بینی SVM به خوبی برازش تابع RBF را بر داده‌ها مطابق با برازش رگرسیون خطی در روش تجربی کشف روند و سری زمانی داده‌های کاربر استخراج کرد. به منظور تهیه ورودی مدل‌های پیش‌بینی، از سری‌های زمانی چهار پارامتر ذکر شده (کاربر) به صورت متوالی تا تجزیه سیگنال‌های فصلی با استفاده از روش موجک بهره گرفته شد. نتایج در این مورد حاکی از CWT با تراکم چهار در دوره‌های ثبت شده (صفر

پی‌نوشت‌ها

- 1- Support Vector Regression
- 2- Ant Lion Optimizer
- 3- All at Once
- 4- Spotted Hyena Optimizer
- 5- Harris Hawks Optimizer
- 6- Particle Swarm Optimization
- 7- Naive Bayes
- 8- Artificial Neural Networks
- 9- Artificial Neural Networks
- 10- Radial Basis Function
- 11- Total Dissolved Solids
- 12- Sodium Adsorption Ratio
- 13- Electrical Conductivity
- 14- Fast Fourier Transform
- 15- Morlet Wavelet
- 16- Comma Separated Values
- 17- Geographic Information System
- 18- Continuous Wavelet Transform

۵- مراجع

- Ale S, Bowling LC, Owens PR, Brouder SM, Frankenberger JR (2012) Development and application of a distributed modeling approach to assess the watershed-scale impact of drainage water management. *Agricultural Water Management* 107:23-33
- Hollstein A, Segl K, Guanter L, Brell M, Enesco M (2016) Ready-to-use methods for the detection of clouds, cirrus, snow, shadow, water and clear sky pixels in Sentinel-2 MSI images. *Remote Sensing* 8(8):666
- Adamowski J, Fung Chan H, Prasher SO, Ozga-Zielinski B, Sliusarieva A (2012) Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada. *Water Resources Research* 48(1)
- Wei B, Hou J, Huang H, Sukop MC, Liu Y, Zhou K (2017) Entry pressure for the rough capillary: Semi-analytical model, Lattice Boltzmann simulation. *Journal of Hydrology* 562:17-29
- Braaten JD, Cohen WB, Yang Z (2015) Automated cloud and cloud shadow identification in Landsat MSS imagery for temperate ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 169:128-38
- Chopda M, Malek PA (2018) Contamination of groundwater quality due to municipal solid waste disposal-A GIS Based Study. *Irjet* 5(4):4836-42
- Ministry of Energy (2015) Studies on updating the balance of water resources of Talesh watershed and Anzali wetland. (In Persian)
- Malik A, Tikhamarine Y, Souag-Gamane D, Kisi O, Pham QB (2020) Support vector regression optimized by meta-heuristic algorithms for daily streamflow prediction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 34:1755-73
- Chong KL, Lai SH, Ahmed AN, Zaafar WZ, Rao RV, Sherif M, Sefelnasr A, El-Shafie A (2021) Review on dam and reservoir optimal operation for irrigation and hydropower energy generation utilizing meta-heuristic algorithms. *IEEE Access* 9:19488-505
- Graf R, Zhu S, Sivakumar B (2019) Forecasting river water temperature time series using a wavelet-neural network hybrid modelling approach. *Journal of Hydrology* 578:124115
- Shi B, Wang P, Jiang J, Liu R (2018) Applying high-frequency surrogate measurements and a wavelet-ANN model to provide early warnings of rapid surface water quality anomalies. *Science of the Total Environment* 610:1390-9
- Solomatine D, Ostfeld A (2008) Data driven modelling: Some past experience and new approaches. *Journal of Hydroinformatics* 10(1):3-22
- Fahimi F, Yaseen ZM, El-shafie A (2017) Application of soft computing based hybrid models in hydrological variables modeling: A comprehensive review. *Theoretical and Applied Climatology* 128:875-90
- Afan HA, El-shafie A, Mohtar WH, Yaseen ZM (2016) Past, present and prospect of an Artificial Intelligence (AI) based model for sediment transport prediction. *Journal of Hydrology* 541:902-13
- Dixit P, Londhe S, Deo MC (2016) Review of applications of neuro-wavelet techniques in water flows. *INAE Letters* 1., 99-104
- Nourani V, Baghanam AH, Adamowski J, Kisi O (2014) Applications of hybrid wavelet-artificial intelligence models in hydrology: A review. *Journal of Hydrology* 514:358-77
- Sang YF (2013) A review on the applications of wavelet transform in hydrology time series analysis. *Atmospheric Research* 122:8-15
- Yaseen ZM, El-Shafie A, Jaafar O, Afan HA, Sayl KN (2015) Artificial intelligence based models for stream-flow forecasting: 2000-2015. *Journal of Hydrology* 530:829-44
- Chopda M, Malek A M (2018) Contamination of groundwater quality due to municipal solid waste disposal- A GIS Based Study. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 5(4):4836-4842
- Du K, Zhao Y, Lei J (2017) The incorrect usage of singular spectral analysis and discrete wavelet transform in hybrid models to predict hydrological time series. *Journal of Hydrology* 552:44-51
- Iqbal J, Nazzal Y, Howari F, Xavier C, Yousef A (2018) Hydrochemical processes determining the groundwater quality for irrigation use in an arid environment: The case of Liwa Aquifer, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Groundwater for Sustainable Development* 7:212-9
- McArthur JM, Sikdar PK, Leng MJ, Ghosal U, Sen I (2018) Groundwater quality beneath an Asian megacity on a delta: Kolkata's (Calcutta's) disappearing arsenic and present manganese. *Environmental Science & Technology* 52(9):5161-72
- Maheswaran R, Khosa R (2012) Comparative study of different wavelets for hydrologic forecasting. *Computers & Geosciences* 46:284-95

- Du C, Yu J, Wang P, & Zhang Y (2018) Analysing the mechanisms of soil water and vapour transport in the desert vadose zone of the extremely arid region of northern China. *Journal of Hydrology* 558:592-606
- Du C, Yu J, Wang P, Zhang Y (2018) Analysing the mechanisms of soil water and vapour transport in the desert vadose zone of the extremely arid region of northern China. *Journal of Hydrology* 558:592-606
- Pochai N, Pongnoo N (2012) A numerical treatment of a mathematical model of ground water flow in rice field near marine shrimp aquaculture farm. *Procedia Engineering* 32:1191-7
- Qiu S, Liang X, Xiao C, Huang H, Fang Z, Lv F (2015) Numerical simulation of groundwater flow in a river valley basin in Jilin urban area, China. *Water* 7(10):5768-87
- Ranjpishe M, Rayhan M K, Zehtabian G, Khosravi H (2017) Trend of groundwater quality change in two basins in North Lake Urmia (Case Study: Shabestarand Tasuj Plain). *International Network for Natural Sciences Research Journal* 11(6):1-8
- Taheri Tizro A, Parsafar N, Toranjian A (2014) An assessment of groundwater quality: A case study of Qahavand Plain, Hamadan Province, Iran. *International Bulletin of Water Resources & Development (IBWRD)* 2(4)
- Zhang X, Peng Y, Zhang C, Wang B (2015) Are hybrid models integrated with data preprocessing techniques suitable for monthly streamflow forecasting? Some experiment evidences. *Journal of Hydrology* 530:137-52
- Zhang S, Zhang J, Meng M, Chen P, Liu X, Liu G, Gu Z (2021) A multi-objective decision making system (Mdms) for a small agricultural watershed based on meta-heuristic optimization coupling simulation. *Water* 13(10):1338