

EXTENDED ABSTRACT

Combined use of Processed Images by Wavelet and Neural Fuzzy Inference System to Estimate EC Parameter of the Karun River

A. Pourhaghi^{1*}, A. M. Akhond Ali² and H. Zarei³

- 1* - Corresponding Author, Ph.D., Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran, (*amir_55_36@yahoo.com*).
- 2- Professor, Faculty Member of Hydrology and Water Resource Engineering Department of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- 3- Associate Professor, Faculty Member of Hydrology and Water Resource Engineering Department of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 4 April 2018

Revised: 6 September 2018

Accepted: 11 September 2018

Keywords: ANFIS, Intelligent Models, Salinity, Wavelet Transforms.

DOI: 10.22055/jise.2020.31187.1879.

Introduction

Nowadays, monitoring of river quality information is one of the most important issues in water resources engineering because of the direct relationship of water quality with environmental health and quality of life. Today, traditional methods of river monitoring are receiving less attention due to the fact that they are costly and time-consuming for the researcher. Instead, the recent, low-cost methods are favorable to many researchers in this field. Different methods have always been considered for river monitoring, but the application of spectral indicators and remote sensing technologies to control and monitor the water quality of rivers and reservoirs is very cost-effective and could be a good alternative to traditional methods. Since it is time-saving and less costly, it would be a good indicator for the whole region and a good alternative to manual methods (Bonansea et al., 2015).

Although satellite imagery has been widely used in estimating water quality indices (Onderka and Pekárová, 2008), the complexity of hydrological systems and the presence of noise in images can increase the calculation error. Wavelet transform and intelligent models are among the most efficient methods that can significantly increase computation accuracy by filtering and noise reduction. Good research has been done on the use of wavelet transform in image processing (Graps, 1995) and fuzzy inference system to estimate water quality parameters (Solgi et al., 2017). In this study, using wavelet transform, Landsat 8 images were processed, then the processed images were considered as inputs of ANFIS model.

Material and Methods

The study area is the Karun River, between Bandeghir and Mollasani with a length of about 12 km and width of 150 to 200 meters. Sampling was done monthly at Landsat 8 satellite crossing time for 66 points from right, left and middle banks of the river. Landsat 8 images and neural fuzzy inference system were used to estimate the EC parameter of the Karun River.

Landsat 8 was launched on February 11, 2013. The satellite carries the Operational Land Imager (OLI) and the Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Veysi et al., 2017). Adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS) is a new method for solving complex problems. The ANFIS is a universal

approximator and as such is capable of approximating any real continuous function on a compact set to any degree of accuracy.

According to Figure (1), the reflection values of bands 2 and 3 of Landsat satellite, along with the spatial characteristics of sampling points with different structures, were considered as inputs of the ANFIS model. In order to increase the accuracy of the model, wavelet transform was used to reduce the image noise and, at the end, appropriate structure model was extracted for EC parameter modeling of the Karun River.

Wavelet transform is a common way to process images. In wavelet transform, both frequency and temporal resolution are changed in the time-frequency graph (polikar, 2009). This method provides good time resolution and low-frequency resolution in high frequencies, and good frequency resolution and low-time resolution in low frequencies.

Results and Discusspn

After monthly sampling from 66 points of the Karun River, 792 Sample observations were collected for 12 months. The first 8 months were considered for calibration and the other 4 months for ANFIS model validation. Due to the high EC variations in the length and width of the Karun River, in addition to reflection for bands 2, 3, and discharge in the simulation month, the input data locating technique was also used corresponding to EC values. In doing so, the distance to the beginning of the river and the distance to the river bank were used as inputs of the ANFIS model. Based on parameters of bands 2, 3, discharge, and distance to the left bank and beginning of the river, four input structures were provided for the ANFIS model (Table 1). Based on the correlation coefficient, structure 3 with Gosin-2 membership function was selected as the model for simulation in subsequent stages. Then, to reduce the noise, different sub-components were extracted and considered as inputs of the ANFIS model. In this research, the Db-4 and Haar Wavelet functions with different decomposition level were used to improve the model performance. The results showed that the Db-4 wavelet function with the decomposition level 5 could be suitable for modeling. The results of this section are summarized in Table (2). Also, the spatial series and scatter plot of the selected WANFIS model is shown in Figure (2).

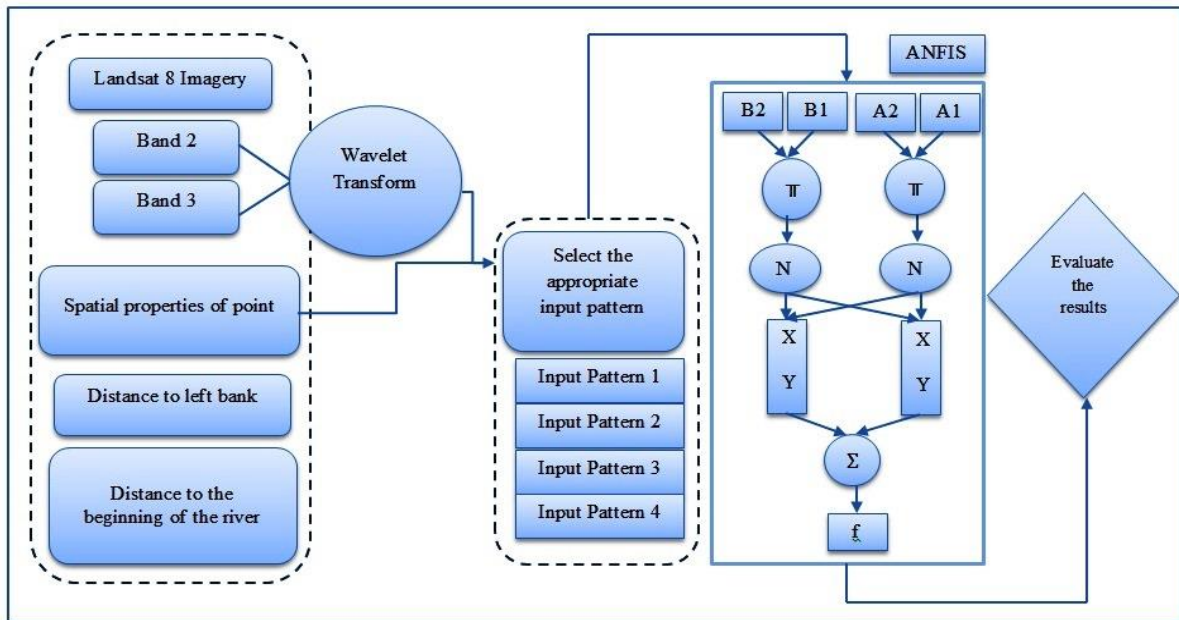


Fig. 1- Flowchart of the Research

Table 1- Structure of input patterns to ANFIS model

Input Pattern Number	Input Pattern Structure
1	Band 2, Band 3
2	Band 2, Band 3, Width
3	Band 2, Band 3, Width, Discharge
4	Band 2, Band 3, Width, Length

Conclusions

Today, satellite imagery is widely used to estimate the water quality of rivers and reservoirs. In this study, a combination of satellite imagery and neural fuzzy inference system was used for modeling of parameter EC in the Karun River.

The results showed that the use of satellite images along with the neural fuzzy inference system can be a suitable method for estimating the EC parameter of the Karun River. The studies also indicated that wavelet transform as an efficient tool can increase the accuracy of ANFIS model by reducing image noise.

Table 2- Comparison of the results of ANFIS and WANFIS models

Model	Train Points		Test Points	
	(R ²)	RMSE	(R ²)	RMSE
ANFIS	0.88	0.0372	0.85	0.0427
WANFIS	0.93	0.0280	0.89	0.0320

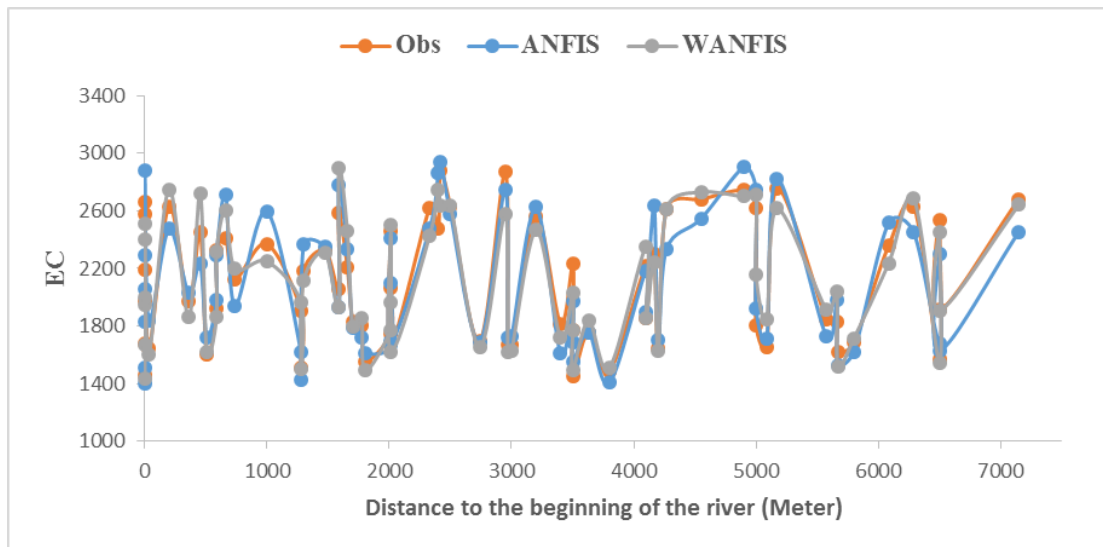


Fig. 2- Graphical comparison of the models used in this study

Acknowledgment

The authors thank Khuzestan Water and Power Organization and Shahid Chamran University of Ahvaz for providing statistics, information and financial support.

References

1- Bonansea, M., Rodriguez, M.C., Pinotti, L. and Ferrero, S., 2015. Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment*, 158, pp.28-41.

- 2- Graps, A., 1995. An introduction to wavelets. *IEEE computational science and engineering*, 2(2), pp.50-61.
- 3- Onderka, M. and Pekárová, P., 2008. Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. *Science of the Total Environment*, 397(1-3), pp.238-243.
- 4- Polikar, R., 2009. *The wavelet tutorial*-Part 1. Rowan University.
- 5- Solgi, A., Pourhaghi, A., Bahmani, R. and Zarei, H., 2017. Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 17(2), pp.164-175.
- 6- Veysi S, Naseri AA, Hamzeh S, Bartholomeus H. A., 2017. satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural water management*. 31;189:70-86.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



استفاده تلفیقی از تصاویر پردازش شده با موجک و سیستم استنتاج فازی عصبی جهت برآورد پارامتر EC رودخانه کارون

امیر پورحقی^{۱*}، علی محمد آخوندعلی^۲ و حیدر زارعی^۳

* نویسنده مسئول، دکتری هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، amir_55_36@yahoo.com

۲- استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۰

بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۱۵

دریافت: ۱۳۹۷/۱/۱۵

چکیده

امروزه پایش و پردازش اطلاعات کیفی رودخانه با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی با صرف وقت و هزینه زیاد همراه است. از این رو استفاده از روش‌های نوین برای کاهش این هزینه‌ها می‌تواند کمک شایانی در مدیریت کیفی رودخانه‌ها داشته باشد. استفاده ترکیبی از مدل‌های هوش مصنوعی و سنجش از دور از جمله روش‌های کارآمد برای رسیدن به این هدف است. در این تحقیق به منظور برآورد EC رودخانه کارون با استفاده از مدل سیستم استنتاج فازی عصبی (ANFIS)، در زمان گذر ماهواره لندست ۸، نمونه برداری دستی از ۶۶ نقطه از سطح رودخانه برای مدت ۱۲ ماه (دی ماه ۱۳۹۴ تا آذر ماه ۱۳۹۵) انجام شد. هشت ماه اول نمونه برداری برای واسنجی و چهار ماه انتهایی برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر بازتابی تصاویر لندست ۸ به‌عنوان ورودی و EC نقاط برداشت‌شده به‌عنوان خروجی مدل ANFIS در نظر گرفته شد. در ادامه به منظور افزایش دقت مدل ANFIS و کاهش خطا تصاویر از روش تبدیل موجک و مکان مند کردن داده‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ANFIS از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار است و با روش مکان مند کردن یعنی اضافه کردن خصوصیات مکانی نقاط برداشت به‌عنوان ورودی مدل ANFIS دقت کار تا مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از تبدیل موجک برای کاهش نویز تصاویر و بهبود عملکرد مدل می‌تواند علاوه بر کاهش خطا، ضریب تعیین را از ۸۵ درصد تا بالای ۸۹ درصد افزایش دهد.

کلید واژه‌ها: تبدیل موجک، شوری، مدل‌های هوشمند، ANFIS.

مقدمه

امروزه پایش اطلاعات کیفی رودخانه‌ها از موضوعات مهم در مهندسی منابع آب به‌شمار می‌آید. توجه همه جانبه به موضوع پایش به دلیل ارتباط مستقیم کیفیت آب رودخانه‌ها با سلامت محیط و کیفیت زندگی است. پایش رودخانه با استفاده از روش‌های سنتی و نمونه برداری‌های دستی به دلیل صرف وقت و هزینه زیاد و نقطه‌ای بودن آن نمی‌تواند روشی مناسب برای رسیدن به این هدف باشد. از این رو استفاده از روش‌های نوین و کم‌هزینه همواره مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. استفاده از شاخص‌های طیفی و تکنولوژی‌های سنجش از دور برای کنترل و پایش کیفیت آب رودخانه‌ها و مخازن بسیار مقرون به‌صرفه بوده و می‌تواند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی به‌شمار آید. این روش با صرف کمترین وقت و هزینه می‌تواند معرف خوبی برای کل منطقه و جایگزین مناسب برای روش‌های آزمایشگاهی باشد.

(Bonansea et al., 2015) در این راستا تحقیقات خوبی در این زمینه در سراسر دنیا در رودخانه و مخازن انجام شده است. به‌عنوان مثال، Baban (1993) با استفاده از داده‌های TM (Thematic Mapper) ماهواره لندست، پارامترهای کیفی آب مانند مواد جامد معلق، شوری، فسفر کل و دما را مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از داده‌های میدانی رابطه بین باند‌های سنجنده یا TM و پارامترهای کیفی آب را مدل‌سازی کرد. وی از این مدل‌ها برای پیش‌بینی و تهیه نقشه پارامترهای کیفی آب استفاده نمود. Onderka و Pekárová (2008) یک روش برای تهیه نقشه توزیع ذرات جامد در رودخانه دانوب اسلوواکی با استفاده از تصاویر لندست ارائه دادند. آن‌ها براساس همبستگی بالا بین باند مادون قرمز نزدیک و اندازه‌گیری‌های زمینی یک نقشه برای ذرات معلق با مقدار خطای ۲/۹۲ میلی‌گرم بر لیتر تهیه کردند. هدف آن‌ها از این مطالعه این بود که با تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های کیفی زمینی که در گذشته

رودخانه کارون مقطع شهر اهواز پرداخت. (2017) Delfan به منظور پایش مستمر کیفیت آب رودخانه کارون یک سامانه تحت وب طراحی نمود. در این تحقیق ابتدا یک رابطه رگرسیونی بین داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی و تصاویر ماهواره‌ای بسته شد سپس این معادله برای برآورد پارامترهای کیفیت آب در سامانه طراحی شده مورد استفاده قرار گرفت.

هر چند که از تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده در برآورد شاخص‌های کیفی آب استفاده شده است ولی پیچیدگی سیستم‌های هیدرولوژیکی و وجود نویز در تصاویر می‌تواند خطای محاسبات را افزایش دهد. تبدیل موجک از جمله روش‌های کارآمد است که می‌تواند با فیلتر و کاهش نویز تصاویر در کنار مدل‌های هوشمند دقت محاسبات را تا مقدار قابل توجهی افزایش دهد. هم‌چنین مدل‌های هوشمند با درک پیچیدگی‌های سیستم می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های ساده همچون رگرسیون در نظر گرفته شوند (Pourhaghi, 2013). تحقیقات خوبی در زمینه استفاده از تبدیل موجک در پردازش تصاویر توسط Graps (1995)؛ Unser و Aldroubi (1996) و Chouakri et al (2005) و در زمینه استفاده از سیستم استنتاج فازی برای برآورد پارامترهای کیفی آب (Azad et al. (2018)؛ Najah et al. (2014)؛ Solgi et al (2017)؛ Ahmed و Shah (2015)؛ Mokarram et al (2017) و Deng et al (2015) انجام شده است.

مطابق تحقیقات گذشته، در بیشتر مواقع از مدل رگرسیون ساده برای مدل‌سازی استفاده شده است. هم‌چنین استفاده از روش‌های مختلف برای کاهش خطای تصاویر در برآورد پارامترهای کیفیت آب مورد توجه قرار نگرفته است. نوآوری تحقیق حاضر استفاده از سیستم استنتاج فازی برای مدل‌سازی و روش تبدیل موجک برای کاهش خطای تصاویر است. برای این منظور، برآورد پارامتر EC رودخانه کارون با استفاده از تصاویر لندست هشت و سیستم استنتاج فازی عصبی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین به‌منظور کاهش خطای تصاویر از تبدیل موجک به‌عنوان یک ابزار کارآمد استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رود کارون با طول ۹۵۰ کیلومتر طولانی‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه ایران است. این رود، پس از گذر از مناطق کوهستانی و پر پیچ و خم، در منطقه‌ای به نام گتوند وارد دشت خوزستان می‌شود. رود کارون در شمال شوشتر به دو شاخه تقسیم می‌شود و پس از عبور از این شهر در منطقه‌ای با نام بند قیر مجدداً به هم می‌رسند. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق رودخانه کارون از حد فاصل بند قیر تا شهر ملاتانی با طول حدودی ۱۲ کیلومتر و عرض بین ۱۵۰ تا

جمع‌آوری شده است، بتوان نقشه توزیعی ذرات جامد معلق را برآورد کرد. در ادامه نیز یک حداقل نمونه‌های مورد نیاز جهت برآورد نتایج دقیق ارائه دادند. (Gürsoy et al. (2015) در رودخانه کیزیلیرمارک (Kizilirmark) ترکیه هم‌زمان با تصویربرداری ماهواره هایپراسپکترال CHRIS Proba از سطح رودخانه مذکور، با استفاده از دستگاه اسپکترورادیومتر اقدام به نمونه‌برداری از چندین نقطه از سطح آب نمودند. سپس ایشان طیف‌های زمینی برداشت‌شده با دستگاه اسپکترورادیومتر را مبنای کار خود قرار داده و براساس مشخصه‌های طیفی آن‌ها، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر برداشت‌شده از رودخانه کیزیلیرمارک براساس اکسیژن مورد نیاز شیمیایی یا COD (Chemical Oxygen Demand)، کدورت (Turbidity) و هدایت الکتریکی یا EC (Electrical Conductivity) نمودند. Liu et al. (2015) برای محاسبه میزان نیتروژن کل (Total Nitrogen) و فسفر کل (Total Phosphorus) رودخانه WRT در شهر ونزو (Wenzhou) و دریاچه سیهو (Cihu) در شهر هانگ شی (Huangshi) در چین از چهار باند طیفی ماهواره ایکونوس (IKONOS) که دارای طول موج‌های مشابهی با سنجنده TM لندست پنج است، استفاده نموده‌اند. Bonansea et al. (2015) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست به برآورد غلظت کلروفیل و سچی دیسک پرداختند. نوآوری کار آن‌ها در استفاده از عوامل محیطی مانند بارش و مدل‌های خطی ترکیبی (Liner Mixed Models) بود.

در ایران نیز تحقیقات نسبتاً خوبی در زمینه برآورد پارامترهای کیفی رودخانه و مخزن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. به‌عنوان مثال، Alavi Panah et al. (2007) به بررسی شوری و مواد معلق به‌عنوان دو پارامتر کیفی آب در دریاچه ارومیه پرداختند. بدین منظور از داده‌های TM ماهواره لندست در دو زمان مختلف استفاده گردید. آن‌ها بیان نمودند که باند سه و شش سنجنده TM برای بررسی توزیع و پراکنش بار معلق و شوری مناسب‌تر از بقیه باندها هستند. Morid Nejad (2015) با هدف برآورد درصد مواد معلق مصب رودخانه بهمنشیر، از سنجنده ASTER ماهواره Teraa استفاده نمود. در تحقیقی دیگر Aghighi et al (2009) با هدف برآورد مقدار کدورت آب خلیج گرگان، از تصاویر سنجنده LISS-III ماهواره IRS استفاده نموده و هم‌زمان با تصویربرداری ماهواره مذکور از سطح خلیج گرگان، به‌صورت سیستماتیک تصادفی اقدام به نمونه‌برداری زمینی از سطح منطقه مورد نظر نموده و سپس یک مدل آماری-ریاضی بین داده‌های رادیانس تصویر سنجنده LISS-III و نمونه‌های زمینی برقرار نمودند. Fatahi Moghadam Noghbi (2011) با استفاده از سنجنده فراطیفی هایپریون و انجام طیف‌سنجی آزمایشگاهی و میدانی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج فیلداسپک سه (Field Spec 3) و نمونه‌برداری آب به برآورد و ارزیابی پارامترهای کیفیت آب در

جمع‌آوری داده می‌پردازد. این دو سنسور به ترتیب، اطلاعات تصویر را برای هشت باند موج کوتاه، یک باند پانکروماتیک و دو باند طول موج حرارتی جمع‌آوری می‌کند (Veysi et al., 2017). در این تحقیق از باندهای دو و سه ماهواره لندست هشت برای مدل‌سازی با سیستم استنتاج فازی عصبی استفاده گردید. طبق تحقیقات گذشته شوری آب باعث تغییر در رفتار طیفی آب در این باندها می‌شود (Choubey, 1994, Pourhaghi et al., 2018, González-Márquez, 2018a&b). دقت مکانی تصاویر ۱۵ تا ۱۰۰ متر است و گذر ماهواره هر ۱۶ روز یک‌بار است که با توجه به شرایط جوی برای هر ماه یک گذر (ردیف ۳۸، مسیر ۱۶۵) برای نمونه‌برداری انتخاب گردید. تاریخ گذرهای انتخاب شده در جدول (۲) آورده شده است.

۲۰۰ متر است.

شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری تقریباً یک ساعت قبل از زمان عبور ماهواره شروع و تا یک ساعت بعد از آن برای ۶۶ نقطه به صورت ماهانه از سواحل راست، چپ و وسط رودخانه انجام گرفت. در جدول (۱) مشخصات آماری پارامتر EC نقاط برداشت شده در ماه‌های مختلف بیان شده است.

لندست ۸

ماهواره لندست هشت در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است. این ماهواره با استفاده از دو حسگر سنسور عملیاتی تصویرساز زمین یا (Operational Land Imager) OLI و دیگری سنسور حرارتی مادون قرمز یا (Thermal Infrared Sensor) TIRS به

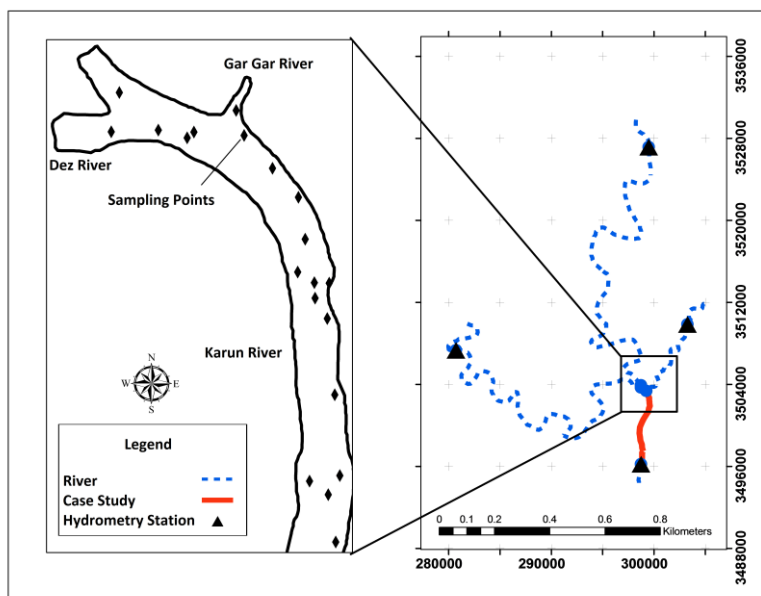


Fig. 1- Study area and Specifications of sampling points

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و مشخصات نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱- مشخصات آماری پارامتر EC برای ۶۶ نقطه نمونه‌برداری در ماه‌های مختلف (بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر)

Table 1- The statistical summary of the measured EC data in difference months (In micromous / cm)

Month	Min	Max	Mean	STDV	Month	Min	Max	Mean	STDV
Jan. 2016	1104	4470	2545	778	July 2016	1278	3093	1822	304
Feb. 2016	1146	3830	2222	577	Aug. 2016	1506	3150	2036	305
March 2016	1225	3480	2067	420	Sep. 2016	1400	3250	2093	383
April 2016	1124	3385	1982	432	Oct. 2016	1400	3650	2230	427
May 2016	1230	2950	1761	280	Nov. 2016	1283	3885	2301	522
June 2016	1297	2895	1752	245	Dec. 2016	991	4200	2424	756

جدول ۲- مشخصات تصاویر استفاده شده لندست ۸ بر فراز منطقه مورد مطالعه

Table 2- Specifications of Landsat 8 satellite imagery used in this study

Month	AD Date	Jalali Date	Month	AD Date	Jalali Date
Jan. 2016	2016.01.03	1394.10.13	June 2016	2016.06.26	1395.04.06
Feb. 2016	2016.02.04	1394.11.15	July 2016	2016.07.28	1395.05.07
March 2016	2016.03.07	1394.12.17	Aug. 2016	2016.08.29	1395.06.08
April 2016	2016.04.08	1395.01.20	Sep. 2016	2016.09.30	1395.07.09
May 2016	2016.05.09	1395.02.20	Nov. 2016	2016.11.01	1395.08.11
May 2016	2016.05.25	1395.03.05	Dec. 2016	2016.12.03	1395.09.13

برگیرنده مشخصات هویتی سیگنال است و کلیات نامیده می‌شود (Pajares and de la Cruz, 2004, Graps, 1995). با توجه به این که تصاویر دارای دو بعد می‌باشند، اگر یک تصویر توسط تبدیل موجک گسسته سطح اول مورد تجزیه قرار گیرد، چهار تصویر به دست می‌آید: یک تصویر مربوط به کلیات و سه تصویر مربوط به جزئیات (جزئیات افقی، عمودی و قطری). شکل (۲) الگوریتم تجزیه تصاویر با استفاده از تبدیل موجک را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با تجزیه ماتریس تصویر X با درجه N ، دو ماتریس C و S استخراج می‌گردد. ماتریس C شامل ضرایب کلیات (A)، و جزئیات افقی (H)، عمودی (V) و قطری (D) در سطوح مختلف (از N تا یک) است و ماتریس S اندازه ضرایب کلیات و جزئیات را نشان می‌دهد (Mallat, 1989). تمامی برنامه‌های لازم برای بازسازی، پردازش تصاویر و نویززدایی (حذف/ کاهش نویز)، با استفاده از نرم-افزار متلب تدوین شدند. به این صورت که براساس تابع موجک مشخص ماتریس تصاویر به سطوح مختلف تجزیه و سپس هر کدام از آن‌ها به عنوان ورودی مدل در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

روش انجام تحقیق

روش کار به این صورت است که ابتدا ۶۶ نمونه EC از سطح رودخانه و هم‌زمان با گذر ماهواره از منطقه برداشت شد. این کار برای ۱۲ دوره (دی ماه ۱۳۹۴ تا آذر ماه ۱۳۹۵) به صورت ماهانه انجام و در مجموع تعداد ۷۹۲ مقدار EC به عنوان پارامتر هدف مدل سیستم استنتاج فازی عصبی استخراج شد. در گام بعد تصاویر لندست مربوط به هر گذر تهیه و متناظر با نمونه برداری‌های انجام شده، مقادیر بازتابی مربوط به باند دو و سه استخراج و به عنوان پارامتر ورودی به مدل ANFIS در نظر گرفته شد. ترکیب این دو باند به خوبی می‌توانند مقدار EC رودخانه را برآورد کنند (Pourhaghi et al., 2018). در ادامه، به منظور افزایش دقت مدل مقادیر بازتابی مکان مند شده و پارامترهای فاصله طولی تا

سیستم استنتاج فازی عصبی

امروزه استفاده از روش‌های ساده همچون رگرسیون خطی کاربرد چندانی در مدل‌سازی مسائل پیچیده هیدرولوژیکی ندارد (Pourhaghi, 2013). سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی، یک روش نوین در حل مسایل پیچیده‌ای است که با الگوریتم مشخصی برای حل آن‌ها وجود ندارد و با استفاده از روش‌های متعارف مستلزم به کارگیری راه‌حل‌های بسیار طولانی و زمان‌بر می‌باشد. یکی از قابلیت‌های مهم سامانه استنتاج تطبیقی عصبی-فازی درک رفتار غیرخطی یک سیستم می‌باشد. این روش در سال‌های اخیر در مسایل مختلف مدیریت منابع آب و خاک مورد استفاده قرار گرفته است (Pourhaghi et al. 2018). برای مطالعه بیشتر در این بخش به منابع (Jang et al (1997)، Aqil et al. (2007) و Nourani و Komasi (2013) مراجعه شود.

تبدیل موجک

روش متداول برای پردازش در تصاویر ماهواره‌ای، تبدیل موجک یا به اختصار WT است (Poularikas, 2000). در تبدیل موجک هم رزولوشن فرکانسی و هم رزولوشن زمانی در نمودار زمان-فرکانس تغییر می‌کند، بدون این که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ که در واقع برای مومنتم و مکان ذرات در حالت حرکت بیان شده است، نقض شود (Polikar, 2009). این روش در فرکانس‌های بالا، رزولوشن زمانی خوب و رزولوشن فرکانسی ضعیف و در فرکانس‌های پایین، رزولوشن فرکانسی خوب و رزولوشن زمانی ضعیف به دست می‌دهد. در نوع گسسته تبدیل موجک، سیگنال از یک سری فیلترهای بالاگذر برای تحلیل فرکانس‌های بالا و از یک سری فیلترهای پایین گذر برای تحلیل فرکانس‌های پایین، عبور داده می‌شود (Cohen and Kovacevic, 1996). سیگنال به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش حاصل از عبور سیگنال از فیلتر بالاگذر که شامل اطلاعات فرکانس بالا (از جمله نویز) می‌باشد و جزئیات نام دارد و بخش حاصل از عبور سیگنال از فیلتر پایین‌گذر که شامل اطلاعات فرکانس پایین و در

طبیعت رخداد پدیده می‌باشد. لذا الگویی‌هایی از توابع موجک مادر که بتواند به لحاظ شکل هندسی به خوبی بر منحنی سری زمانی منطبق شوند بهتر می‌توانند عمل نگاشت را انجام دهند و نتایج حاصل نیز بهتر خواهد بود. در این تحقیق با توجه به آزمایش موجک‌های مادر مختلف و توجه به نکته گفته شده در بالا دو تابع موجک زیر انتخاب شدند (شکل ۳).

$$\Psi(x) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} (-1)^k h_{2N-1-k} \phi(2x - k) \quad (۱)$$

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۲)$$

بدین منظور ابتدا برای هر یک از انواع موجک‌ها شامل : موجک Haar و موجک Db-4 با درجات مختلف تجزیه و به ازای پارامترهای مختلف مدل ANFIS، برنامه اجرا شد. شکل (۴) مراحل انجام کار تحقیق را به صورت گام به گام نمایش داده است.

ابتدای رودخانه و فاصله عرضی تا ساحل چپ به‌عنوان ورودی به مدل ANFIS اضافه گردید. علت این کار آن است که در بازه مورد مطالعه با توجه به ورود رودخانه‌های دز و گرگر با EC های متفاوت به رودخانه و عدم اختلاط کامل آن تا کیلومترها پایین‌تر، تغییرات EC در طول و عرض رودخانه بسیار زیاد و تا مقدار ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌رسد. این موضوع نشان می‌دهد که موقعیت هر نقطه نمونه‌برداری می‌تواند در برآورد پارامتر EC مهم بوده و مکان‌مند کردن مقادیر بازتابی می‌تواند دقت مدل را تا مقدار قابل توجهی افزایش دهد. در گام بعد، با توجه به پارامترهای ورودی الگوهای مختلفی طراحی، نتایج حاصل از آن بررسی و ساختار مناسب براساس معیارهای ارزیابی انتخاب گردید. در آخر برای بهبود هرچه بهتر عملکرد مدل از تبدیل موجک استفاده گردید.

برای کاهش نویز تصاویر و دستیابی به نتایج حاصل از مدل ترکیبی سیستم استنتاج فازی عصبی-موجک (WANFIS)، ابتدا با استفاده از تبدیل موجک، تصاویر به زیرسری‌هایی تجزیه شده سپس تصاویر حاصله به‌عنوان ورودی به مدل منتخب ANFIS وارد شد تا مدل ترکیبی WANFIS حاصل گردید. پس از اجرای متعدد این برنامه و در حالت‌های خاص و مقایسه آن‌ها با یکدیگر نتایج به‌دست آمد. یکی از نکات مهم و اساسی در مورد انتخاب موجک‌های مادر،

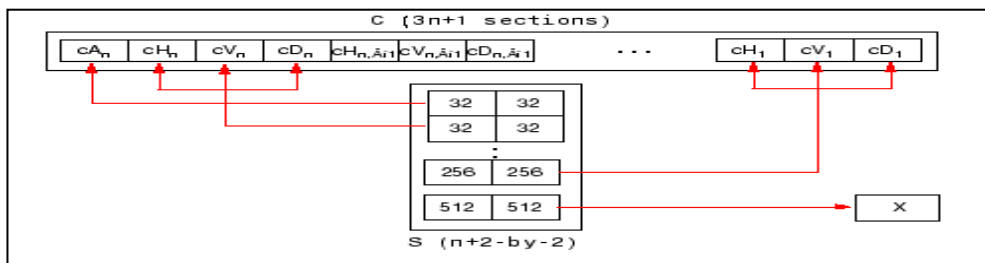


Fig. 2- Decomposition algorithm used with wavelet transform

شکل ۲- الگوریتم تجزیه با استفاده از تبدیل موجک

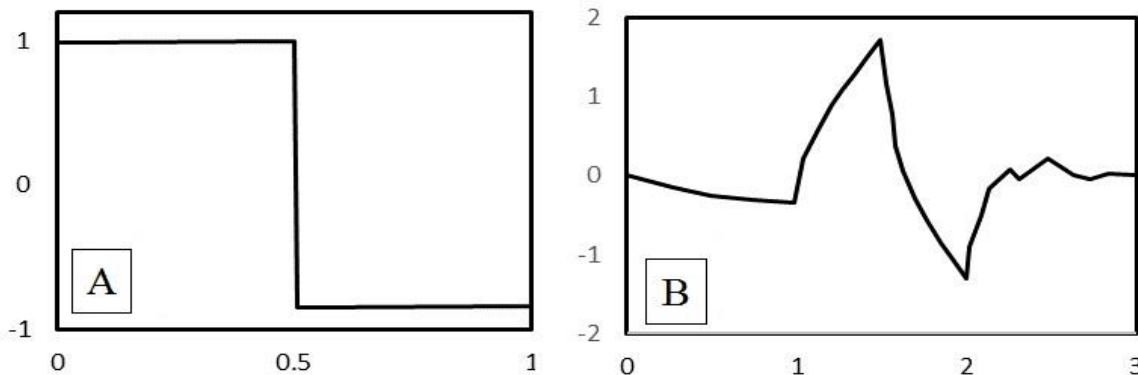


Fig. 3- A) Wavelet Function Haar, B) Wavelet Function Db-4

شکل ۳- الف) تابع موجک Haar، ب) تابع موجک db-4

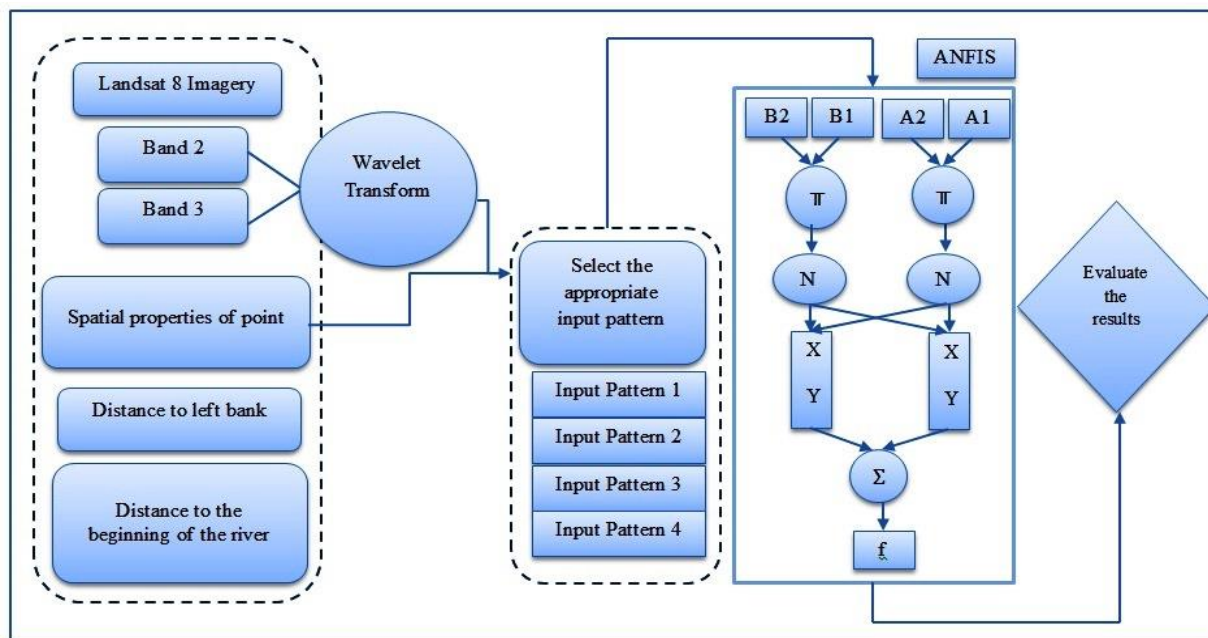


Fig. 4- Flowchart of Research
شکل ۴- فلوچارت روش انجام تحقیق

ANFIS مورد استفاده قرار گرفت. چهار الگوی ورودی برای مدل در نظر گرفته شد (جدول ۳) که نتایج آن برای توابع عضویت مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در الگوی یک که تنها از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده مدل با دقت قابل توجهی توانسته برآورد را انجام دهد. در الگوهای بعدی، با روش مکان‌مند کردن و اضافه کردن آبدهی رودخانه به‌عنوان یک پارامتر مؤثر ورودی، عملکرد مدل تا مقدار زیادی بهبود پیدا کرد. فاصله عرضی تا ساحل رودخانه بیشترین تأثیر را در عملکرد مدل از خود به‌جای می‌گذارد به طوری که در الگوی دو توانسته ضریب تعیین را تا مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد. علت این موضوع آن است که در ابتدای بازه مورد مطالعه دو رودخانه دز و گرگر با EC های کاملاً متفاوت وارد رودخانه شطیپ شده و تغییرات شدیدی از EC در عرض رودخانه به‌علت کامل نشدن اختلاط پدید می‌آید. این موضوع باعث تغییرات EC در طول رودخانه نیز شده که در الگوهای بعدی این تأثیر مورد بررسی قرار گرفت. با اضافه کردن آبدهی در الگوی شماره سه، دقت مدل تا مقدار زیادی افزایش پیدا کرد و این در حالی است که برای پارامتر فاصله تا ابتدای رودخانه این افزایش دقت کمتر بوده است. بنابراین در الگوهای سه و چهار به‌ترتیب آبدهی و فاصله تا ابتدای رودخانه بیشترین تأثیر را داشته‌اند. با بررسی میزان ضریب تعیین مدل‌ها، الگوی سه با تابع عضویت گوسین-۲ به‌عنوان مدل منتخب برای شبیه‌سازی در مراحل بعدی انتخاب گردید. نمودار سری مکانی و پراکنندگی حاصل از مدل انتخاب شده ANFIS در شکل (۶) نشان داده شده است.

معیارهای ارزیابی مدل

در این پژوهش، برای ارزیابی مدل‌های مورد نظر از نمایه‌های ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا استفاده شده است. در روابط زیر، Q_i مقدار مشاهده‌شده در گام i ام، \hat{Q}_i مقدار محاسبه‌شده در همان زمان، n تعداد داده‌ها و \bar{Q} میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد (روابط ۳ و ۴). هرچه مقدار ضریب تعیین بالاتر و RMSE کمتر باشد، نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر هستند.

$$R^2 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}\right)^{0.5} \quad (3)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}\right)^{0.5} \quad (4)$$

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل ANFIS و WANFIS

بعد از نمونه‌برداری ماهانه از ۶۶ نقطه سطح رودخانه کارون، تعداد ۷۹۲ نمونه مشاهداتی برای ۱۲ ماه در اختیار قرار گرفت. هشت ماه اول این تعداد برای کالیبراسیون و مابقی برای صحت‌سنجی مدل ANFIS در نظر گرفته شد. به‌علت تغییرات شدید EC در طول و عرض رودخانه کارون، متناظر با مقادیر EC، علاوه بر بازتاب برای باندهای ۲، ۳ و آبدهی در ماه شبیه‌سازی، از روش مکان‌مند کردن داده‌های ورودی استفاده گردید. به این صورت که فاصله تا ابتدای رودخانه و فاصله عرضی تا ساحل رودخانه به‌عنوان ورودی مدل

جدول ۳- ساختار الگوهای ورودی به مدل ANFIS

Table 3- Structure of input patterns to ANFIS model

Pattern Number	Structure of Input Patterns
1	Band 2, Band 3
2	Band 2, Band 3, Width
3	Band 2, Band 3, Width, Discharge
4	Band 2, Band 3, Width, Length

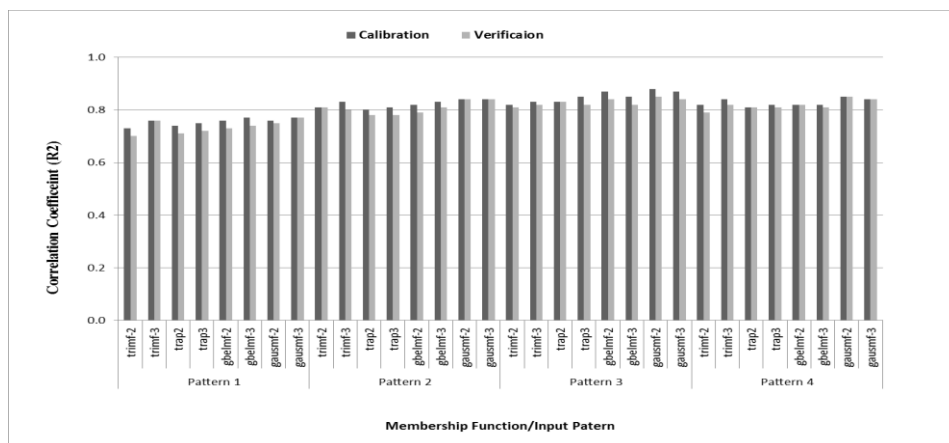


Fig. 5- Mean correlation coefficient for different membership functions in sampling months
 شکل ۵- میانگین ضریب تعیین مدل برای توابع عضویت مختلف در ماه‌های نمونه برداری (مرحله واسنجی)

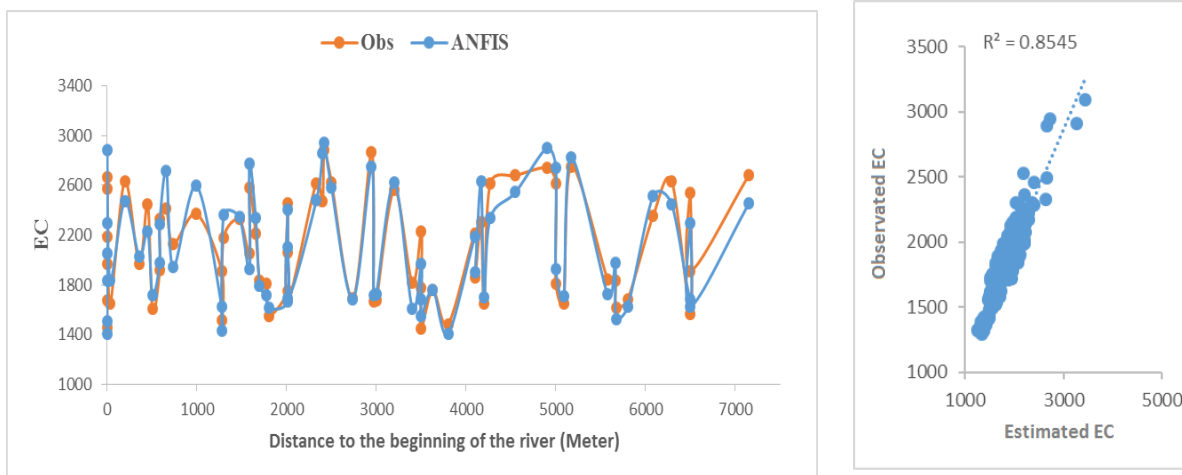


Fig. 6- Spatial series and scatter plot of selected ANFIS model (validation period)

شکل ۶- نمودار سری مکانی و پراکندگی مدل منتخب ANFIS (مرحله صحت سنجی)

اما تقریباً از سطح پنج به بعد این مقدار ثابت شده و تأثیری در نتایج حاصل نمی‌گردد. بنابراین تابع موجک Db-4 با سطح تجزیه پنج می‌تواند برای مدل‌سازی مناسب باشد. نمودار سری مکانی و پراکندگی حاصل از مدل انتخاب شده WANFIS در شکل (۷) نشان داده شده است. جدول (۵) و شکل (۸) مقایسه نتایج حاصل از دو مدل WANFIS و ANFIS را نشان می‌دهد.

در ادامه، به منظور ارزیابی مدل WANFIS زیرسری‌های به‌دست آمده در سطوح مختلف به‌عنوان ورودی مدل ANFIS منتخب در نظر گرفته شد. در این مطالعه از توابع موجک Hear و Db-4 با درجات تجزیه مختلف برای بهبود عملکرد مدل استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۴) مشاهده می‌گردد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش سطح تجزیه دقت مدل افزایش می‌یابد

جدول ۴- نتایج حاصل از مدل WANFIS برای دوره واسنجی

Table 4- Results of the WANFIS model for the calibration period

Mother wavelet	Decomposition Level i=j	Coefficient of Determination (R ²)		Root Mean Squar Error (RMSE)	
		Calibration	Verification	Calibration	Verification
Db-4	4	0.91	0.86	0.033	0.037
Db-4	5	0.93	0.89	0.028	0.032
Db-4	6	0.93	0.87	0.030	0.035
Db-4	7	0.94	0.86	0.028	0.033
Haar	4	0.89	0.85	0.038	0.046
Haar	5	0.89	0.86	0.037	0.041
Haar	6	0.91	0.88	0.035	0.040
Haar	7	0.92	0.88	0.033	0.040

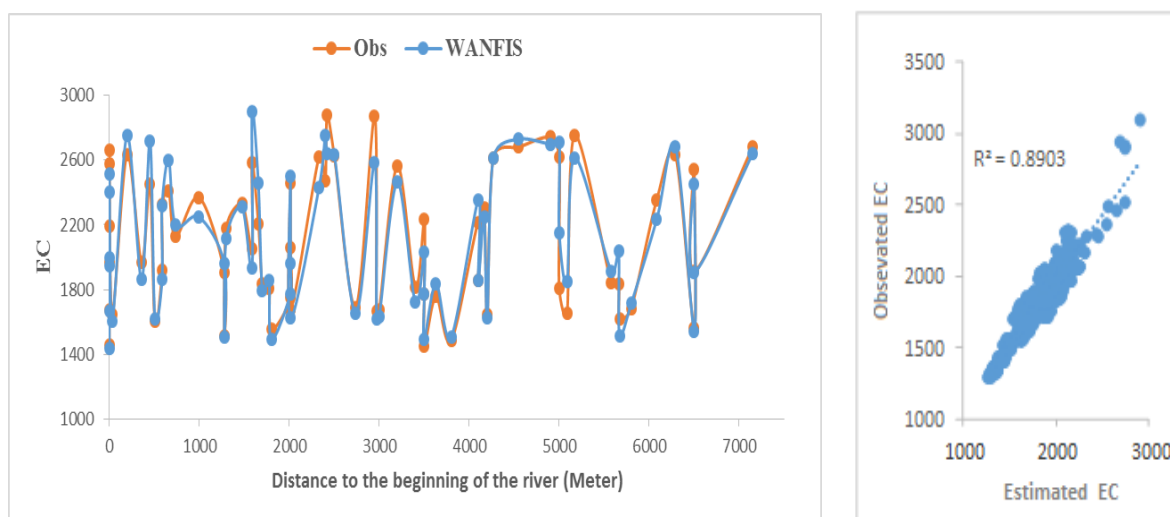


Fig. 7- Spatial series and scatter plot of selected WANFIS model (validation period)

شکل ۷- نمودار پراکنده‌گی حاصل از مدل WANFIS در مرحله صحت سنجی

جدول ۵- مقایسه نتایج حاصل از مدل ANFIS و WANFIS

Table 5- Comparison of the results of ANFIS and WANFIS models

Forecast Model	Terrain Points		Test Points	
	(R ²)	RMSE	(R ²)	RMSE
ANFIS	0.88	0.0372	0.85	0.0427
WANFIS	0.93	0.0280	0.89	0.0320

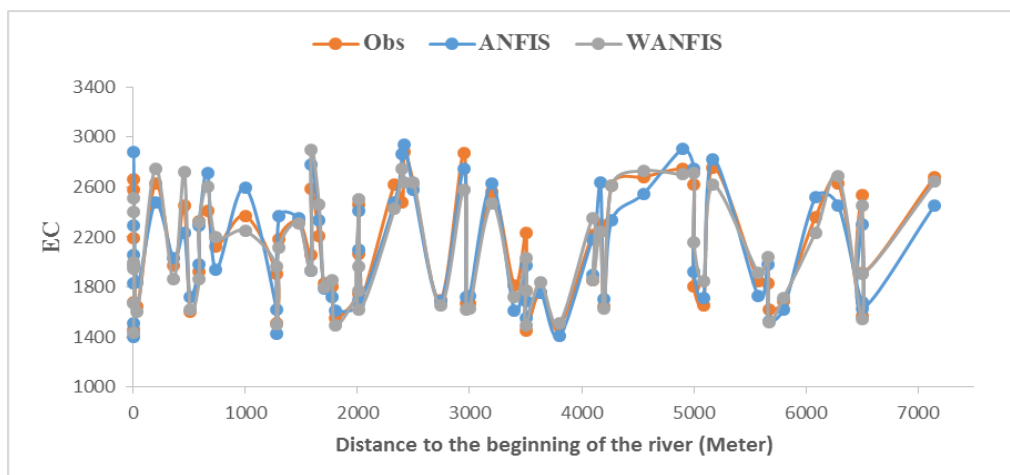


Fig. 8- Graphical comparison of the models used in this study

شکل ۸- مقایسه نموداری مدل‌های استفاده شده در این تحقیق

به‌عنوان یک ابزار کمکی استفاده و مدل WANFIS مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در الگوی یک باندهای دو و سه با دقت نسبتاً خوبی توانسته پارامتر EC را مدل‌سازی نماید. در الگوهای بعدی با اضافه کردن آبدهی و مکان‌مند کردن مؤلفه‌های ورودی، دقت مدل تا مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرد به‌طوری که فاصله عرضی تا ساحل چپ رودخانه بیشترین تأثیر را در نتایج دارد و پارامترهای آبدهی و فاصله طولی تا ابتدای رودخانه در مرتبه بعدی قرار می‌گیرند. با بررسی معیارهای ارزیابی و نتایج مدل مشاهده گردید الگوی ورودی سه با تابع عضویت گوسین دو عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد. در ادامه با تبدیل موجک و کاهش نویز موجود در تصاویر ساختار ANFIS انتخاب شده در مرحله قبل مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تبدیل موجک می‌تواند به خوبی دقت مدل‌سازی را افزایش دهد به‌طوری که ضریب تعیین برای مرحله صحت‌سنجی از $0/85$ به $0/89$ افزایش پیدا کرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از سازمان آب و برق خوزستان و دانشگاه شهید چمران اهواز بابت ارائه ی آمار و اطلاعات و حمایت های مالی تشکر و قدردانی می نمایند.

نتیجه گیری

امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد کیفیت آب رودخانه‌ها و مخازن کاربرد فراوانی پیدا کرده است. در اکثر این تحقیقات به علت کمبود داده‌های کیفی از روش‌های رگرسیون ساده برای مدل‌سازی استفاده شده است. مدل رگرسیون با داشتن ساختار ساده برای مدل‌سازی نمی‌تواند عملکرد خوبی از خود نشان دهد. امروزه مدل‌های هوشمند با توجه به گستردگی کاربرد در علوم مختلف می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های رگرسیون باشند. در این مطالعه از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و سیستم استنتاج فازی عصبی برای مدل‌سازی پارامتر EC رودخانه کارون استفاده شده است. به منظور انجام این کار ابتدا نمونه‌برداری از ۶۶ نقطه مشخص شده از سطح رودخانه به صورت ماهانه انجام گرفت. در ادامه تصاویر ماهواره‌ای مربوط به هر دوره تهیه، متناظر با مقادیر EC مشاهده‌ای بازتاب در باندهای دو و سه برای ورود به مدل ANFIS استخراج گردید. به‌منظور افزایش دقت مدل، برای هر نقطه نمونه‌برداری فاصله تا ابتدای رودخانه و فاصله عرضی از ساحل چپ آن به‌عنوان پارامترهای ورودی مدل در کنار آبدهی رودخانه در نظر گرفته شد. به‌منظور بررسی حساسیت مدل نسبت به ورودی‌ها، چهار الگوی ورودی برای آن انتخاب و صحت‌سنجی شد. هم‌چنین به‌منظور کاهش نویز موجود در تصاویر و افزایش دقت مدل از تبدیل موجک

Rferences

- 1- Aghighi, H., Ali Mohammadi, A., Sarajian, M.R. and Ashorloo D., 2009. Estimation of Water Turbidity in Gorgan Bay by Using IRS-ILSS-III Images. *The Journal of Spatial Planning*, 13(2), pp. 55-72. (in Persian).
- 2- Ahmed, A.M. and Shah, S.M.A., 2017. Application of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to estimate the biochemical oxygen demand (BOD) of Surma River. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(3), pp.237-243.

- 3- Alavi Panah, S.K., Rafiei Emam, A., Hosseini, S.Z. and Jafar Beyghlo, M., 2007. Investigation of spectral variability of vegetation and water phenomena using remote sensing. *Geographical Research Quarterly*, 38 (6), pp. 81-97. (in Persian).
- 4- Aqil, M., Kita, I., Yano, A. and Nishiyama, S., 2007. Analysis and prediction of flow from local source in a river basin using a Neuro-fuzzy modeling tool. *Journal of environmental management*, 85(1), pp.215-223.
- 5- Azad, A., Karami, H., Farzin, S., Saeedian, A., Kashi, H. and Sayyahi, F., 2018. Prediction of water quality parameters using ANFIS optimized by intelligence algorithms (case study: Gorganrood River). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(7), pp.2206-2213.
- 6- Baban, S.M., 1993. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads, UK, using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 14(7), pp.1247-1267.
- 7- Bonansea, M., Rodriguez, M.C., Pinotti, L. and Ferrero, S., 2015. Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment*, 158, pp.28-41.
- 8- Chouakri, S.A., Berekse-Reguig, F., Ahmaldi, S. and Fokapu, O., 2005, September. Wavelet denoising of the electrocardiogram signal based on the corrupted noise estimation. In *Computers in Cardiology, 2005* (pp. 1021-1024). IEEE.
- 9- Choubey, V.K., 1994. Monitoring surface water conductivity with Indian remote sensing satellite data: A case study from central India. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 219, pp.317-326.
- 10-Cohen, A. and Kovacevic, J., 1996. Wavelets: The mathematical background. *Proceedings of the IEEE*, 84(4), pp.514-522.
- 11-Delfan, H., 2017. Design of Remote Sensing GIS System and for Monitoring Surface Water Quality. Master's degree, Thesis, *Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran*. (In Persian).
- 12-Deng, W., Wang, G. and Zhang, X., 2015. A novel hybrid water quality time series prediction method based on cloud model and fuzzy forecasting. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 149, pp.39-49.
- 13-Fatahi Moghadam Noghabi, M., 2011. Estimation of Karoon river water quality in Ahvaz region by ground data, Fieldsepk Spectrometer 3 and hyperion sensor data. Ms. Thesis, *Shahid Chamran University, of Ahvaz, Iran*. (in Persian).
- 14-González-Márquez, L.C., Torres-Bejarano, F.M., Torregroza-Espinosa, A.C., Hansen-Rodríguez, I.R. and Rodríguez-Gallegos, H.B., 2018a. Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 82, pp.231-238.
- 15-González-Márquez, L.C., Torres-Bejarano, F.M., Rodríguez-Cuevas, C., Torregroza-Espinosa, A.C. and Sandoval-Romero, J.A., 2018b. Estimation of water quality parameters using Landsat 8 images: application to Playa Colorada Bay, Sinaloa, Mexico. *Applied Geomatics*, 10(2), pp.147-158.
- 16-Graps, A., 1995. An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering*, 2(2), pp.50-61.
- 17-Gürsoy, Ö., Birdal, A.C., Özyonar, F. and Kasaka, E., 2015. Determining and monitoring the water quality of Kizilirmak River of Turkey: First results. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), p.1469. -1474.

- 18-Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997. Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 42(10), pp.1482-1484.
- 19-Liu, J., Zhang, Y., Yuan, D. and Song, X., 2015. Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in china using high resolution ikonos multispectral imagery. *Water*, 7(11), pp.6551-6573.
- 20-Mallat, S.G., 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), pp.674-693.
- 21-Mokarram, M., Mokarram, M., Zarei, A., Safarinejadian, B. 2017. 'Using adaptive Neuro-Fuzzy network (ANFIS) to predict underground water quality in west of Fars province during 2003 to 2013 period', *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(2), pp. 547-559. (in Persian).
- 22-Morid Najad, A., 2015. Determination of the percentage of suspended solids in surface waters using the separation Technique in ASTER images. Ms. Thesis, *Tarbiat Modares University*. (in Persian).
- 23-Najah, A., A. El-Shafie, Othman A. Karim, and Amr H. El-Shafie. 2014. Performance of ANFIS versus MLP-NN dissolved oxygen prediction models in water quality monitoring. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 3: 1658-1670.
- 24-Nourani, V. and Komasi, M., 2013. A geomorphology-based ANFIS model for multi-station modeling of rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 490, pp.41-55.
- 25-Onderka, M. and Pekárová, P., 2008. Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. *Science of the Total Environment*, 397(1-3), pp.238-243.
- 26-Pajares, G. and De La Cruz, J.M., 2004. A wavelet-based image fusion tutorial. *Pattern Recognition*, 37(9), pp.1855-1872.
- 27-Pourhaghi, A., 2013. The Application of time series, neural network and regression methods to predict inflow to Dez dem. M.s. Theseis, *Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran*.(in Persian).
- 28-Pourhaghi, A., Solgi, A., Radmanesh, F., Shehni Darabi, M. 2018. Hybrid Usage of The Wavelet ransform and Intelligent to Simulation River Flow (Case Study: KaKa Reza and Sarab seyed Ali rivers), *Irrigation and Water Engineering*, 8(4), pp. 1-17.
- 29-Polikar, R., 2009. *The wavelet tutorial*-Part 1. Rowan University.
- 30-Poularikas AD., 2000 *The Transforms and Applications Handbook*. Second edition. Howell KB, Chapter 1. CRC Press LLC,.
- 31-Solgi, A., Pourhaghi, A., Bahmani, R. and Zarei, H., 2017. Improving SVR and ANFIS performance using wavelet transform and PCA algorithm for modeling and predicting biochemical oxygen demand (BOD). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 17(2), pp.164-175.
- 32-Unser, M. and Aldroubi, A., 1996. A review of wavelets in biomedical applications. *Proceedings of the IEEE*, 84(4), pp.626-638.
- 33-Veyssi S, Naseri AA, Hamzeh S, Bartholomeus H. A., 2017. satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural Water Management*. 31;189:70-86.