تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷
Volume 14, No. 3, Fall 2018 (IR-WRR)
۳۳۹-۳۴۴

یادداشت فنی

مقایسه مدل‌های هوشمند در پیش‌بینی نوسانات تراز سطح آب دریاچه زریوار با درنظرگیری تراز آب زیرزمینی

سیاوش گویلی[۱]، سامان جوادی[۲*]، محمدابراهیم بنی‌حبیب[۳] و هادی ثانی خانی[۴]

چکیده

همواره پیش‌بینی سطح آب دریاچه‌ها در سطح دنیا از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین فرایندهای هیدرولوژیکی است که برآورد آن می‌تواند در راستای جلوگیری از بروز وضعیت نامطلوب و مدیریت صحیح این اکوسیستم‌های ارزشمند بکار گرفته شود. از اینرو در این پژوهش از چهار تکنیک محاسبات نرم موجک-شبکه عصبی مصنوعی (WANN)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، مدل استنتاج عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در محاسبه مقادیر پیش‌بینی شده دو ماه آینده تراز سطح آب دریاچه زریوار استفاده شد. نتایج سری زمانی پیش‌بینی با استفاده از نمودارهای سری زمانی پیش‌بینی شده توسط انواع مدل‌های هوشمند و همچنین شاخص‌های آماری RMSE، R^2 و MAE مقایسه شدند. نتایج این تحقیق نشان داد از چهار مدل مذکور به صورت قابل ملاحظه‌ای عملکرد مدل WANN از مدل‌های دیگر در پیش‌بینی سطح آب دریاچه بهتر بود. پس از مدل WANN به لحاظ صحت مقادیر شبیه‌سازی شده به ترتیب مدل‌های ANFIS، GEP و ANN تعیین شدند.

کلمات کلیدی: محاسبات نرم، دریاچه زریوار، پیش‌بینی سطح آب، مدل موجک-شبکه عصبی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۹/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۲/۲۹

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۳- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۴- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Technical Note

Comparison of Intelligent Models to Predict Water Level Fluctuations in Zarivar Lake Considering Groundwater Level

S. Gavili[1], S. Javadi[2] , M.E. Banihabib[3] and H. Sanikhani[4]*

Abstract

In recent decades, drought and weak management of water resources has caused many lakes and wetlands to enter critical conditions. Surface water level prediction, although an important and complex hydrological process, is vitally required for better management and improvement of such ecosystems. In this research, four soft-computing techniques including Wavelet Artificial Neural Network (WANN), Artificial Neural Network (ANN), Adaptive-Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Gene Expression Programming (GEP) were used to predict 2-month water level fluctuations of Zarebar Lake. The predicted water levels in each technique were compared with observed data and statistical indicators; RMSE, MAE, and R^2, were used to evaluate the performance of each method. The results proved that WANN performed considerably better and its prediction was more accurate followed by ANFIS, GEO and ANN, in regards of accuracy corresponded to observed data. The selected technique in this research can be recommended for prediction of the water levels in lakes and wetlands with significant accuracy.

Keywords: Soft Computing, Zarivar Lake, Predicting Water Level, Wavelet-Neural Network Model.

Received: November 29, 2016
Accepted: May 19, 2017

1- MSc. in Water Resources Engineering, College of Aburayhan, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, College of Aburayhan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: javadis@ut.ac.ir
3- Associate Professor, College of Aburayhan, University of Tehran, Tehran, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

قرار گرفتن ایران درکمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا و نیز روند رو به افزایش مصرف آب و همچنین رخ دادن خشکسالی‌های اخیر، سبب شده است تا منابع آب سطحی و زیرزمینی کاهش نگران کننده‌ای داشته باشند. دریاچه‌ها و تالاب‌ها نیز از این حیث مستثنی نبوده و یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی در معرض خشکسالی می‌باشند. فرایند پیش‌بینی سطح آب دریاچه‌ها همواره یکی از پیچیده‌ترین مسائل موجود در هیدرولوژی بوده، که محاسبه آن به وسیله روش‌های متداول به سادگی امکانپذیر نمی‌باشد. علاوه بر این به دلیل کمبود اطلاعات مورد نیاز و اثر بسیاری از پارامترهای هیدرولوژیکی بر یکدیگر، نتایج بدست آمده به وسیله این روش‌ها از دقت کافی برخوردار نبوده و عدم‌قطعیت بالایی دارند. در این راستا، در دو دهه گذشته روش‌های هوشمند در محاسبات مربوط به فرایندهای هیدرولوژیکی توسط محققان بسیاری مورد آزمون قرار گرفته‌اند (Singh et al., 2009; Aytek and Kisi, 2008; Fallah-Mehdipour et al., 2013; Valipour et al., 2013). از مزیت استفاده از این روش‌ها می‌توان به دقت بالای و قابل قبول محاسبات در زمان کوتاه اشاره کرد. از میان رویکردهای هوش مصنوعی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی[1] و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی[2] در بیش‌تر موارد مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبولی در مدلسازی پارامترهای هیدرولوژیکی از خود نشان داده‌اند (Karimi et al., 2013). در پژوهش حاضر، علاوه بر دو مدل فوق از مدل‌های موجک-شبکه عصبی[3] و برنامه‌ریزی بیان ژن[4] نیز در راستای پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه استفاده شد. Altunkaynak (2007) از رویکرد ANN برای پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه وان[5] در شرق ترکیه استفاده کرد. ورودی‌های مورد استفاده در این پژوهش میزان بارش (میلی‌متر) و تراز سطح آب دریاچه (سانتی‌متر) در مقیاس ماهانه در نظر گرفته شدند. در نهایت نتایج نشان داد که ANN عملکرد بهتری نسبت به میانگین متحرک (MA) و مدل خود همبسته (AR) داشته است. Kişi (2009) از مدل موجک-عصبی برای پیش‌بینی تراز سطح آب ماهانه دریاچه وان (بزرگترین دریاچه کشور ترکیه) و دریاچه ایگیردیر[6] استفاده کرد. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند دقت پیش‌بینی‌های کوتاه مدت و بلند مدت را به طور قابل توجهی افزایش دهد. Sanikhani et al. (2015) با به‌کار بردن مدل‌های GEP و ANFIS به پیش‌بینی ۱، ۲ و ۳ ماهه نوسانات تراز سطح آب دریاچه‌های مانیاس[7] و توز[8] در کشور ترکیه پرداختند. نتایج نشان داد که در دریاچه توز و مانیاس مدل ANFIS با رویکرد خوشه‌بندی کاهشی در پیش‌بینی‌های به ترتیب یک و دو ماهه و یک و سه ماهه عملکرد بهتری از خود نشان داد. Kisi et al. (2012) سه رویکرد هوش مصنوعی ANN، ANFIS و GEP را برای پیش‌بینی روزانه تغییرات سطح آب دریاچه در فواصل زمانی سه روز در دریاچه ایزنیک[9] در غرب ترکیه بکار بردند. این پژوهش نشان داد که مدل‌های هوش مصنوعی نسبت به مدل ARMA برتری دارند. به عنوان جمع‌بندی بخش کنونی با توجه به بررسی منابع انجام شده می‌توان دریافت که در اکثر مطالعات تنها از داده‌های تراز سطح آب پیشین دریاچه به منظور پیش‌بینی آن در آینده استفاده شده است. این در حالی است که متغیر تراز سطح آب زیرزمینی به عنوان یکی از ورودی‌ها در این مطالعات دیده نمی‌شود. با عنایت به این که مخازن آب زیرزمینی با دریاچه در ارتباطند، در نظر گرفتن آن می‌تواند به بهبود دقت مدل‌ها در برآورد مقادیر شبیه‌سازی شده کمک کند. بنابراین، در پژوهش کنونی متغیر تراز سطح آب زیرزمینی به همراه بارش و تراز سطح آب دریاچه با تأخیر دو ماهه به منظور پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه زریوار به‌کار می‌رود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مطالعه موردی

دریاچه آب شیرین زریوار در فاصله ۳ کیلومتری غرب شهر مریوان، در استان کردستان در غرب ایران واقع است (شکل ۱). این دریاچه در طول جغرافیایی ′۸°۴۶ و عرض جغرافیایی ′۳۲°۳۵ و ارتفاع ۱۲۸۵ متری از سطح دریا واقع گردیده است. طول تالاب زریوار حدود ۵ کیلومتر و عرض آن حدود ۱/۶ کیلومتر است. وسعت تالاب به دلیل تغییرات حجم آبی در فصول مختلف متغیر و میانگین عمق آن ۶ متر و حجم تقریبی آب تالاب حدود ۴۶ میلیون مترمکعب برآورد شده است (Anonymous, 2014).

۲-۲- مدل ANN

شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزار قدرتمندی برای تحلیل همبستگی هستند (Nourani, 2014). در این تحقیق طراحی مدل ANN از شبکه نوع پیش‌خور چند لایه با تابع ورودی تانژانت سیگموئید و تابع خروجی خطی می‌باشد و برای آموزش شبکه از الگوریتم لونبرگ-مارکوارت استفاده گردید. تعداد نرون در لایه مخفی با توجه به کمترین میزان RMSE در نظر گرفته شد که در پیش‌بینی یک ماهه برابر ۵ نرون و در دو ماهه ۴ نرون بدست آمد (شکل ۲).

۲-۳- مدل WANN

تبدیل موجک یکی از پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازش می‌باشد. در تبدیل موجک گسسته سیگنال به دو بخش تقسیم می‌شود؛

بخشی که شامل اطلاعات فرکانس بالا می‌باشد و جزییات نام دارد و بخش دیگر که شامل اطلاعات فرکانس پایین و در برگیرنده مشخصات هویتی سیگنال است و تقریب نامیده می‌شود (شکل ۳). برای مدل WANN با توجه به رابطه (۱) در بدست آوردن تعداد سطح گسسته‌سازی این مقدار برابر دو سطح بدست آمد. تابع موجک مادر در تحقیق حاضر از نوع دابچیز نوع چهار انتخاب شد.

$$L = \text{int}[\log N_s] \qquad (۱)$$

که در آن L کمترین سطح تجزیه و Ns تعداد نقاط سری زمانی است.

۲-۴- مدل ANFIS

این سیستم یک ترکیب از شبکه عصبی تطبیقی و سیستم استنتاج فازی است که پارامترهای سیستم استنتاج فازی توسط الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی تعیین می‌شوند (Jang et al., 1997). در نتیجه بررسی محاسبات تراز سطح آب دریاچه که مانند دیگر فرایندهای هیدرولوژیکی دارای پیچیدگی و عدم قطعیت بالایی هستند، با دقت مناسب‌تری انجام می‌شود. تابع عضویت مورد استفاده در این تحقیق مدل گاوسی بوده است که در نرم‌افزار MATLAB با تابع genfis2 اصلاح شد. در مرحله بعد از رویکرد خوشه‌بندی کاهشی برای دسته‌بندی داده‌ها استفاده شد. هدف از خوشه‌بندی، گروه‌بندی مجموعه داده‌های بزرگ ارائه‌ای ساده و مختصر از رفتار سیستم می‌باشد. شعاع خوشه‌بندی بر اساس کمترین میزان RMSE در پیش‌بینی یک ماهه برابر ۰/۴۸ و در دو ماهه برابر ۰/۶۰ بدست آمد. به عبارت دیگر با توجه به کمترین میزان خطای به دست آمده شعاع خوشه‌بندی جهت تخمین خوشه یا دسته‌بندی داده‌ها انتخاب می‌گردد.

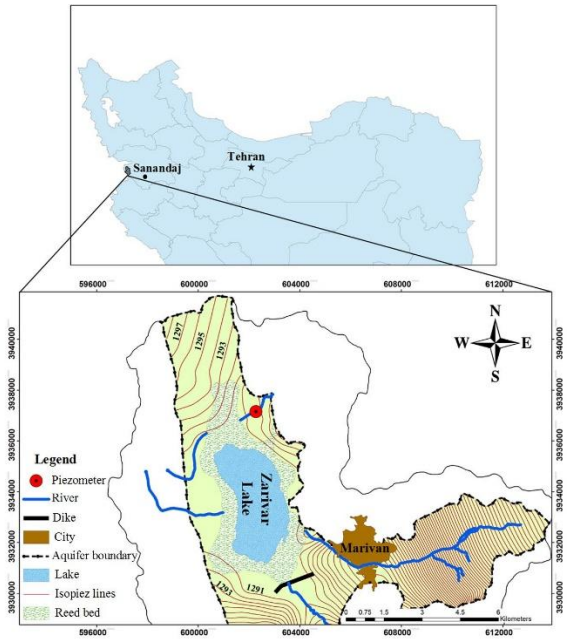

Fig. 1- Location of Marivan County and the study area

شکل ۱- موقعیت شهرستان مریوان و محدوده مطالعاتی

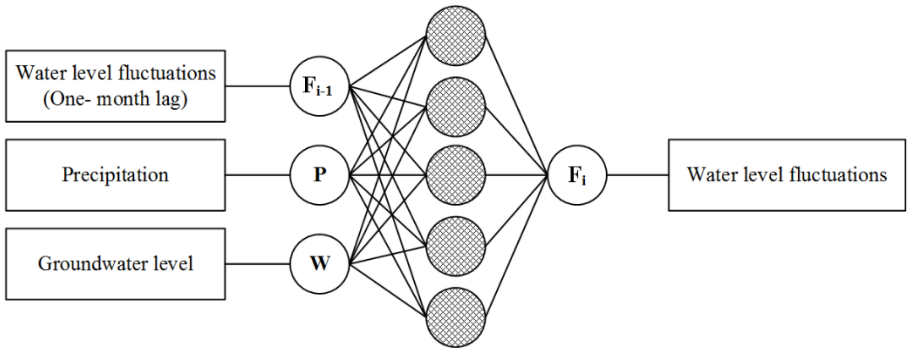

Fig. 2- General structure of the artificial neural network to predict one-month ahead with the optimal number of neurons

شکل ۲- ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی یک ماهه با تعداد نرون بهینه

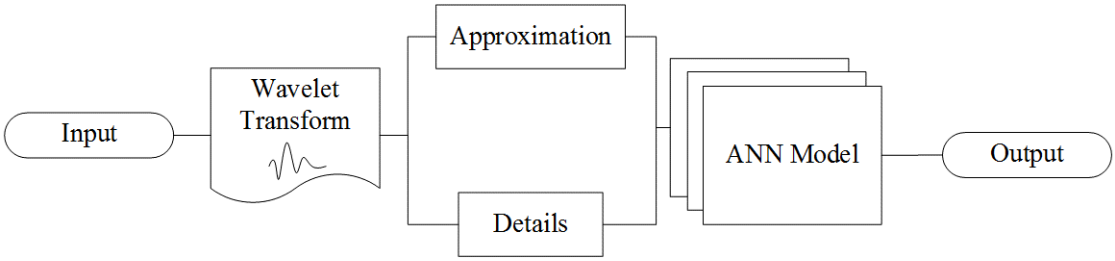

Fig. 3- Schematic of Wavelet-ANN prediction model

شکل ۳- نمای شماتیک مدل پیش‌بینی موجک-شبکه عصبی

۲-۵- مدل GEP

برنامه‌ریزی بیان ژن یک تکنیک جدید و خودکار برای حل مسائل مختلف است. ساختار این مدل از الگوی محاسبات تکاملی پیروی می‌کند و به ارائه یک نمایش سازمان یافته و شفاف از سیستم مورد مطالعه می‌پردازد. در تفاوت میان برنامه‌ریزی بیان ژن و الگوریتم ژنتیک باید عنوان نمود در ساختار الگوریتم ژنتیک از رشته‌های کد شده برای بدست آوردن مقادیر پارامترهای مدل استفاده می‌شود، ولی ساختار برنامه‌ریزی بیان ژن از عبارات جبری و برنامه‌ریزی‌های زنجیره‌ای تشکیل شده است که جهت کدنویسی متغیرها برای ایجاد ساختاری که بهترین پاسخ ممکن را برای یک سیستم ارائه دهد، به کار می‌رود (Savic et al., 1999). ارزیابی شایستگی هر نسل را می‌توان با معیارهای مختلفی از جمله RMSE، RRSE و MAE انجام داد. در مدل GEP تعداد نسل مشخص برای توقف برنامه ۱۰۰۰۰۰۰ نسل انتخاب شد. بر اساس این نتایج مدل با تابع شایستگی RMSE بهترین عملکرد را در برآورد نتایج شبیه‌سازی شده تراز سطح آب دریاچه نسبت به دو حالت دیگر داشت. درخت بیان ژن موجود در شکل ۴ در نرم‌افزار GenXproTools ارایه شده است که در این تحقیق عواملی نظیر d0، d1 و d2 مربوط به داده‌های ورودی بوده و بهینه‌ترین عملگرها جهت طراحی این درخت انتخاب گردیدند.

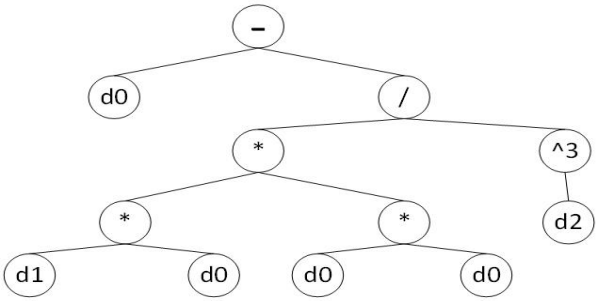

Fig. 4- Sub-branches in one-month ahead expression tree in GEP model

شکل ۴- یکی از زیرشاخه‌های درخت بیان پیش‌بینی یک ماهه بدست آمده در مدل GEP

در شکل ۴ عامل d0 بیانگر پارامتر نوسانات سطح آب دریاچه با یک گام تأخیر، عامل d1 نشان دهنده پارامتر بارش، d2 تراز سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

۲-۶- داده‌های ورودی مدل‌ها

داده‌های سری زمانی تراز سطح آب دریاچه در مقیاس ماهانه از مردادماه سال ۱۳۸۴ تا شهریور ماه سال ۱۳۹۳ در نظر گرفته شدند. با اعمال تأخیر در سری زمانی داده‌های تراز سطح آب دریاچه به عنوان یکی از ورودی‌ها بکار گرفته شد. ورودی‌های دیگر عبارتند از بارش (میلی‌متر) و تراز سطح آب زیرزمینی (متر) چاه معرف منطقه می‌باشند. در پیش‌بینی یک ماهه ۸۵ ماه در بخش آموزش و ۲۴ ماه در بخش تست مدل‌ها و در دو ماهه ۸۴ ماه در بخش آموزش و ۲۴ ماه در بخش تست در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

در این بخش به بررسی نتایج سری زمانی بدست آمده از شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل‌ها و مقادیر مشاهداتی تراز سطح آب پرداخته می‌شود. با دقت در شکل ۵ که مربوط به شبیه‌سازی در بخش تست مدل‌ها برای تأخیر دو ماهه در داده‌ها است نشان می‌دهد که مدل WANN دقت بالاتر و عملکرد بسیار بهتری نسبت به سه مدل دیگر داشته است. در نظر گرفتن ناایستایی و آماده‌سازی داده‌ها در این مدل به منظور بکارگیری آن‌ها به عنوان داده‌های ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی سبب بهبود نتایج این مدل ترکیبی شده است. نتیجه برازش دو مدل ANN و GEP تا حدودی شبیه به هم بوده است و همچنان در پیش‌بینی نقاط اوج نمودار ضعیف عمل کردند. دقت مدل ANFIS نسبت به سایر مدل‌ها در تأخیر دو ماهه افت داشته است.

با توجه به مقادیر بدست آمده شاخص خطا در جدول ۱ ملاحظه می‌شود که مدل WANN بیش‌ترین حساسیت را نسبت به پارامتر نوسانات تراز سطح آب پیشین دریاچه داشته است. پس از آن پارامتر آب زیرزمینی نسبت به بارش اثر بیش‌تری بر روی دقت مدل در برآورد مقادیر پیش‌بینی تراز آب دریاچه داشته است. بنابراین نتایج حاکی از آن است که در نظر گرفتن آب زیرزمینی که در منابع پیشین صورت نگرفته بود می‌تواند نقطه قوتی جهت افزایش دقت در برآورد مقادیر پیش‌بینی نوسانات سطح دریاچه باشد. علت این امر ارتباط مستقیم دریاچه‌ها با آبخوان‌های اطراف می‌باشد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

تراز سطح آب دریاچه زریوار در طول دهه گذشته روند رو به کاهش به خود گرفته است. بررسی اثر استفاده از پارامتر تراز سطح آب زیرزمینی نشان داد که استفاده از این پارامتر سبب بهبود عملکرد مدل‌ها شده است. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که عملکرد مدل WANN نسبت به مدل‌های دیگر بسیار بهتر بود. مدل ANFIS در این بخش افت عملکرد داشته و از مدل ANN نیز نتایج شاخص‌های خطای بالاتری برای مقادیر پیش‌بینی شده توسط آن بدست آمد.

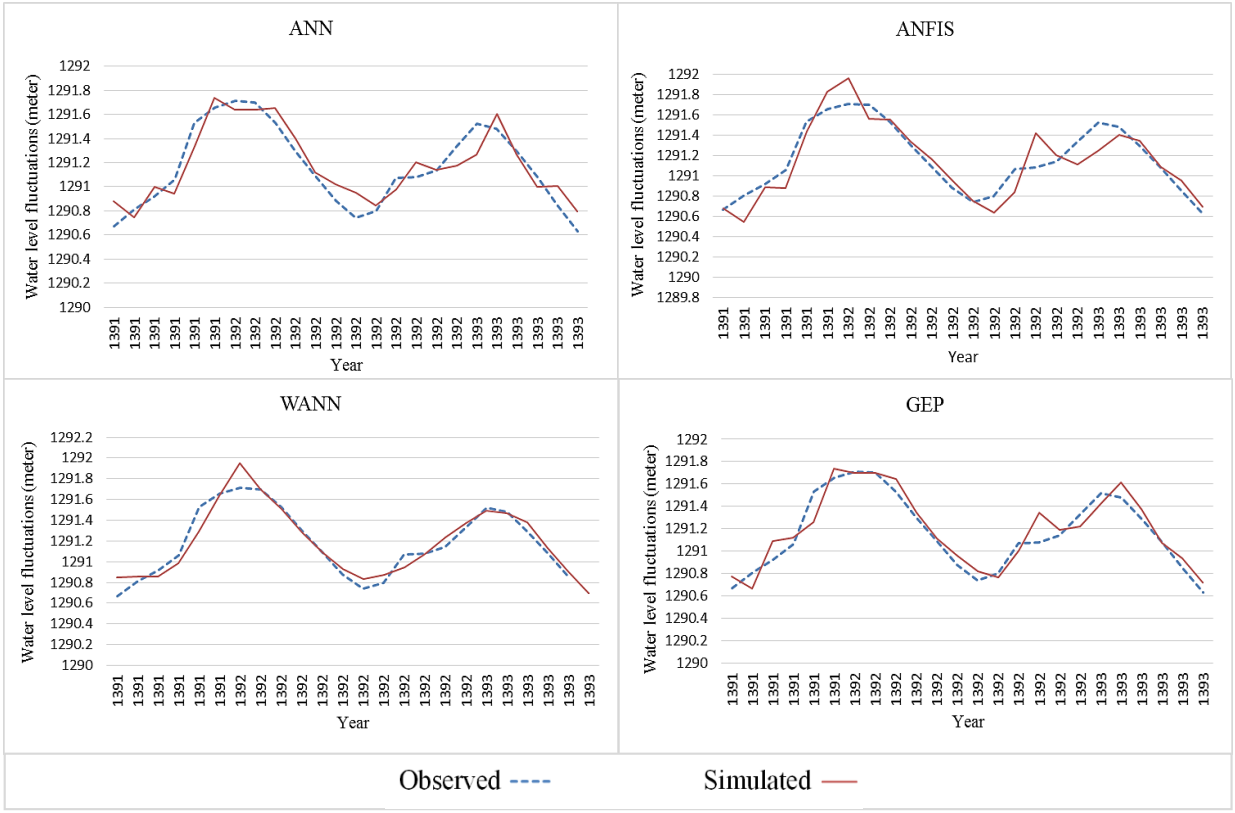

Fig. 5- Time series data in test level with two-month ahead predicition

شکل ۵- نمودار سری زمانی داده‌های بخش تست با دو ماه تأخیر

Table 1- Values of error indexes in test level of WANN model with two-month lag (in meters)

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های خطا در قسمت تست مدل WANN با دو ماه تأخیر (در مقیاس متر)

	RMSE	MAE	R^2
Without precipitation	0.1075	0.0793	0.9038
Without groundwater	0.1113	0.0858	0.9025
Without lake water level	0.5535	0.4984	0.6146
Using all variables	0.0960	0.0708	0.9199

در بخش محاسبات مربوط به پیش‌بینی دو ماهه نیز پس از شناسایی مدل WANN به عنوان مدل برتر، مدل GEP برخلاف دقت پایین در محاسبه پیش‌بینی یک ماهه، در این حالت از دو مدل ANN و ANFIS عملکرد بهتری از خود نشان داد. مدل ANFIS اما در این حالت نتایج ضعیفی از خود نشان داده و مدل ANN دقت بالاتری در محاسبه پیش‌بینی دو ماهه نسبت به این مدل از خود نشان داد.

پی‌نوشت‌ها

1- Artificial Neural Network
2- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
3- Wavelet Neural Network
4- Gene Expression Programming
5- Lake Van
6- Lake Eğirdir
7- Lake Manyas
8- Lake Tuz
9- Lake Iznik

۵- مراجع

Singh K P, Basant A, Malik A, Jain G (2009) Artificial neural network modeling of the river water quality: A case study. Ecological Modelling 220(6):888-895

Aytek A, Kişi Ö (2008) A genetic programming approach to suspended sediment modelling. Journal of Hydrology 351(3):288-298

Fallah-Mehdipour E, Haddad O B, Mariño M A (2013) Prediction and simulation of monthly groundwater

modeling lake level fluctuations: The case of Manyas and Tuz Lakes (Turkey). Water Resources Management 29(5):1557-1574

Kisi O, Shiri J, & Nikoofar B (2012) Forecasting daily lake levels using artificial intelligence approaches. Computers & Geosciences 41:169-180

Anonymous (2014) Determination of water bablance in Marivan study area. Kermanshah Water Regional Authority, 1-57 (In Persian)

Nourani V, Baghanam A H, Adamowski J, Kisi O (2014) Applications of hybrid wavelet artificial intelligence models in hydrology: A review. Journal of Hydrology 514:358-377

Jang J S R, Sun C T, Mizutani E (1997) Neuro fuzzy and soft computing; a computational approach to learning and machine intelligence. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall

Savic D A, Walters G A, Davidson J W (1999) A genetic programming approach to rainfall-runoff modelling. Water Resources Management 13(3):219-231

levels by genetic programming. Journal of Hydro-environment Research 7(4):253-260

Valipour M, Banihabib M E, Behbahani S M R (2013) Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. Journal of Hydrology 476:433-441

Karimi S, Kisi O, Shiri J, Makarynskyy O (2013) Neuro-fuzzy and neural network techniques for forecasting sea level in Darwin Harbor Australia. Computers & Geosciences 52:50-59

Altunkaynak A (2007) Forecasting surface water level fluctuations of Lake Van by artificial neural networks. Water Resources Management 21(2):399-408

Kişi Ö (2009) Neural network and wavelet conjunction model for modelling monthly level fluctuations in Turkey. Hydrological Processes 23(14):2081-2092

Sanikhani H, Kisi O, Kiafar H, & Ghavidel S Z Z (2015) Comparison of different data-driven approaches for