Archive of SID
Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering (JISE) Vol. 43, No. 1, Spring 2020, p. 131-143

EXTENDED ABSTRACT

Comprison of Fuzzy Possibilistic Regression and Fuzzy Least Square Regression Models to Estimate Groundwater Level of Neyshabour Aquifer

S. Zeraati Neyshabouri[1], M. Pourreza Bilondi[2*], A. Kashei-Siuki[3] and A. Shahidi[4]

1- M.Sc. Student of Water Resource Management, University of Birjand.
2*- Corresponding Author, Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran *(mohsen.pourreza@birjand.ac.ir).*
3- Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
4- Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Received:11 September 2017 Revised: 24 April 2018 Accepted:28 April 2018

Keywords: Groundwater, Pizometer, Data-driven Models, Validation.
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652.

Introduction

Groundwater has always been considered as one of the main sources of drinking, agriculture, and industrial water, especially in arid and semi-arid regions. Investigating groundwater level changes in any region has an important role in planning sustainable water resources management. Continuous decline of groundwater level has been observed worldwide in the past half-century. Groundwater is the most important and the only source of freshwater in Neyshabour plain. Unallowable discharges of the groundwater resources and the reduction of recharge factors have caused about 200 million cubic meters deficit in Neyshabour aquifer. Therefore, estimating groundwater is vitally important for the management of water resources.

Methodology

This study was conducted in Neyshabour aquifer in Khorasan Razavi province situated between 58°13' to 59°30' eastern longitude and 35°40' to 36°39' northern latitude. Neyshabour plain has an important role in agricultural productions of Khorasan Razavi. In this study, the fuzzy possibilistic regression and fuzzy least square regression approaches were evaluated in order to forecast the groundwater changes in Neyshabour aquifer. For this propose, the parameters affecting aquifer level, including monthly precipitation, discharge detected, and fuzzy regression approaches were employed to estimate groundwater level of aquifer, and then raster maps were determined by geostatistical methods. Data bank was determined by Arc GIS software from raster maps to train and test fuzzy regression models. 50 percent of data was selected as calibration data and 50 percent of data was selected as validation data in each model. In linear regression, for each series of input variables, only a specific output value is computed, while fuzzy regression models estimate the boundaries of possible values for the output variables. Therefore, unlike the classical regression, which was based on probability theory, the fuzzy regression is based on possibility and fuzzy sets theory. Fuzzy possibilistic regression, introduced by Tanaka et al. (1982), is an approach that provides the best regression equation by minimizing the amount of fuzzy. The general form of this fuzzy regression function is as follows:

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \tilde{A}_3 X_3 + \ldots + \tilde{A}_n X_n \quad (1)$$

where $\tilde{A}_0$ and $\tilde{A}_1$ are the fuzzy intercept and fuzzy slope coefficients, respectively, and X is the independent variable and the output $\tilde{Y}$ (or dependent variable) is a fuzzy number.

www.SID.ir

Archive of SID

Fuzzy least-squares regression (FLSR) method as proposed by Savic and Pedrycz (1991) was adopted for this analysis. For the purpose of current study, the efficiency of the fuzzy possibilistic and fuzzy least square regression models for groundwater prediction in Neyshabour aquifer were compared. Validation and Verification of models were determined based on mean error (ME), root mean square error (RMSE), and coefficient of determination (R^2).

Results and Discussion

The results of the comparison of the fuzzy possibilistic regression and fuzzy least squares regression models in estimating the groundwater table of Neyshabour plain show that the highest accuracy of water table prediction in the studied aquifer occurred in June and the lowest accuracy occured in January for both fuzzy possibilistic regression and fuzzy least squares regression models. Likewise, in both models, the estimation accuracy of the winter was lower than other seasons. The results of validation of the fuzzy regression model in summer showed that despite a sharp decrease in rainfall in this season, applying inputs with a delay of one to two months had good results in predicting the water level. In agreement with the findings of the present study, previous investigations reported that the ANFIS model with inputs of discharge, total rainfall of the current month, the total rainfall of the previous month, the total rainfall in the past two months, and the groundwater level had the best performance in the prediction of groundwater level of Neyshabour plain (Khashei-Siuki et al., 2013). While in most research done the data used is on a daily or annual basis, it is the monthly changes in the water level which is important: the ascending and descending trends were observed in winter and summer months, respectively. Using monthly forecasts helps managers to make more effective decisions regarding how much water is taken from groundwater resources. Therefore, the aquifer's response to monthly water changes is more effective than annual or daily. Also, the findings of the current study indicated that the fuzzy possibilistic regression model estimated values are more consistent with observed values and provide better estimation of groundwater subsidence and drainage.

Conclusions

Comparison of the performances of the studied fuzzy regression models showed that the output of both models varies in different months due to fluctuations in the water level. Both fuzzy regression models have a good ability to estimate groundwater table of Neyshabour plain. The results showed that the estimation accuracy of both employed models in winter were lower than other seasons. The best accuracy was observed in May with a RMSE= 6.05, MAE= 6.01 and R^2= 0.93 for the fuzzy possibilistic regression model. It is worth noting that according to the model validation indices, the accuracy of the fuzzy possibilistic regression model is more than the fuzzy least squares regression; therefore, the mentioned model can be introduced as an acceptable approach in estimating the groundwater level. It is also suggested that other fuzzy regression models and approaches, including fuzzation of independent variables, should be used in future research.

Acknowledgment

The authors would like to thank the University of Birjand for financial support of this study.

References

1- Tanaka, H. and Uejima, S., 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybernet. 12*, pp.903-907.

2- Savic, D.A. and Pedrycz, W., 1991. Evaluation of fuzzy linear regression models. *Fuzzy sets and systems*, *39*(1), pp.51-63.

3- Khashei-Siuki. A., Ghahraman, B. and Kouchakzadeh, M., 2013. Comparison of ANN, ANFIS and Regression Models to Estimate Groundwater level of Neyshaboor Aquifer. *Iranian Journal of lrrigation and Drainage. 1*(7), pp.10-22. (In Persian).

© 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/).

www.SID.ir

Archive of SID

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۳، شماره‌ی ۱، بهار ۹۹، ص. ۱۴۳-۱۳۱

مقایسه مدل رگرسیون فازی امکانی و رگرسیون کمترین مربعات فازی در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور

سپیده زراعتی نیشابوری[۱]، محسن پوررضا بیلندی[۲*]، عباس خاشعی سیوکی[۳] و علی شهیدی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، mohsen.pourreza@birjand.ac.ir
۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۰ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۴ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۸

چکیده

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید آب شیرین دشت نیشابور، با کسری مخزنی حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب مواجه است. ازاین‌رو در پژوهش حاضر کارایی روش‌های رگرسیون فازی امکانی و رگرسیون کمترین مربعات فازی در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور بررسی گردید. با استفاده از اطلاعات ۵۷ چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۷ و اعمال پارامترهای بارش، تراز سطح ایستابی و تخلیه با تأخیر زمانی یک و دوماهه به‌عنوان ورودی، مدل‌ها مورد آزمون قرار گرفت، نتایج نشان داد به دلیل وجود نوسانات سطح آب در ماه‌های مختلف، بیشترین ضریب تبیین و کمترین مقادیر آماره‌های میانگین مطلق خطا و جذر مربعات خطا برای هر دو مدل در ماه‌های بهار و بالاترین دقت در ماه خرداد با R^2 و RMSE به‌ترتیب ۰/۹۳ و ۶/۰۵ برای مدل رگرسیون امکانی فازی بود. بر اساس شاخص‌های اعتبارسنجی، مدل رگرسیون امکانی فازی به‌مراتب نتایج دقیق‌تری در برآورد تراز سطح ایستابی آبخوان نیشابور نشان داد.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، پیزومتر، مدل‌های داده محور، اعتبارسنجی.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و جایگاه ویژه‌ای در مطالعات منابع آب دارد (Daliakopoulos et al., 2005). رشد جمعیت و گسترش سطح زیر کشت آبی در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری از منابع آب در سرتاسر جهان را افزایش داده و موجب پیشی گرفتن تقاضا بر عرضه‌ی جهانی و درنهایت کم‌آبی شده است (Hellegers, 2002). کشور ما به‌علت واقع‌شدن در کمربند بیابانی دارای میزان بارش کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کل جهان است، در قسمت اعظم کشور، به‌ویژه نواحی که آب‌های سطحی وجود ندارد یا دائمی نیست، منابع آب زیرزمینی تنها منبع تأمین احتیاجات می‌باشد (Kurduvani, 1995). ازاین‌رو برداشت بیش‌ازحد منابع آب منجر به کاهش قابل‌ملاحظه‌ی سطح ایستابی در بیشتر دشت‌های کشور شده است (Fathi and Zibaei, 2010). با توجه به این‌که ریزش‌های جوی در اکثر مناطق کشور عمدتاً به‌گونه‌ای است که در زمان‌های محدود اتفاق می‌افتد، جریان‌های سطحی عمدتاً به‌صورت سیلابی و موقتی پس از هر بارش مشاهده می‌شوند، کنترل سطح ایستابی با استفاده از چاه‌های مشاهده‌ای منبع اصلی اطلاعات بررسی تغییرات هیدرولوژیکی این مناطق محسوب می‌شود. کنترل مزبور با استفاده از داده‌های ماهانه و سالانه چاه‌ها انجام می‌شود (Reghunath et al., 2005). با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود آب در پهنه‌ی وسیعی از کشور، مدیریت آب‌های زیرزمینی از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است. پیدایش فن‌آوری حفاری عمیق و نیمه عمیق چاه‌ها، در عین فراهم ساختن امکانات بهتری برای استحصال آب از سفره‌های زیرزمینی، موجب تغییرات شدید و مشکلات بسیاری در نظام بهره‌برداری آن‌ها شده است. برداشت آب، در مقایسه با میزان تغذیه‌ی سالانه، بیشتر شده و باعث خشک شدن سفره‌های آب زیرزمینی خواهد شد. ازاین‌رو برای اعمال مدیریت صحیح، نیاز به شناسایی و پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت، بلندمدت و استفاده بهینه از پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

مدل‌سازی آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به‌عنوان ابزار قدرتمندی در مباحث مدیریتی مطرح‌شده و در بهینه‌سازی مصرف و پیش‌بینی منابع آب زیرزمینی، به کمک مدیران و برنامه‌ریزان شتافته است (Zhou and Li, 2011؛ Jusseret et al., 2009؛ Larroque et al, 2008). تابه‌حال مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی تراز سطح آب‌های زیرزمینی توسط محققین

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652

مختلف پیشنهادشده‌اند. مدل‌های ریاضی که بر پایه‌ی داده‌های مشاهداتی بوده و نیاز زیادی به تجارب قبلی ندارد، می‌توانند گزینه‌ی مناسبی در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی باشند (Dillip et al., 2010). پژوهش‌های متعددی به‌منظور مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی در جهت پیش‌بینی تراز سطح آبخوان انجام‌شده است. Zhang et al. (2017) به مقایسه پتانسیل مدل‌های خودحافظه خاکستری (GSM)، تابع پایه شعاعی (RBF) و سیستم استنتاج‌عصبی‌فازی (ANFIS) برای پیش‌بینی تراز سطح آب‌های زیرزمینی در یک آبخوان آزاد پرداختند. نتایج نشان داد مدل‌سازی GSM، RBF و ANFIS در پنج محل در شهر جیلین در شمال شرقی چین با در نظر گرفتن پارامتر نفوذ تأخیری تراز آب‌های زیرزمینی به‌عنوان ورودی مدل و بهره‌گیری از ضرایب استاندارد (R، RMSE، MARE و NS) و شاخص‌های گرافیکی که عملکرد تمامی مدل‌ها در منطقه‌ای با داده‌های هواشناسی ناقص رضایت‌بخش بود. در تحقیقی به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مناطق آمریتسار و گورداسپور ایالت پنجاب هند، انواع معماری‌ها و الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی را موردبررسی و مقایسه قراردادند (Lohani and Krishan, 2015). هم‌چنین سطح آب زیرزمینی جنگل‌های باتلاقی سنگاپور با کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌سازی شده است و محققان نتیجه گرفتند که می‌توان از این روش با دقت قابل قبولی در برآورد تراز آب زیرزمینی استفاده نمود (Sun et al., 2015).

Kurtulus و Razack (2010) با استفاده از مدل‌های فازی و عصبی به بررسی ارتباط بین بارندگی و میزان دبی استحصالی در روزهای قبل با سطح آب در آبخوان کارستی فرانسه پرداختند، محققان این عمل را با استفاده از داده‌های آماری روزانه انجام داده و به این نتیجه رسیدند که مدل فازی با دقت بالاتری می‌تواند تراز سطح آب را پیش‌بینی نماید. Yan و Ma (2016) نشان دادند دقت پیش‌بینی شبکه عصبی نسبت به مدل سری زمانی تلفیقی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی؛ در مدت، میانگین مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا برتری دارد.

تحلیل رگرسیون یکی از مهم‌ترین ابزار آماری مورداستفاده توسط هیدرولوژیست‌ها می‌باشد. اساس تمام آن‌ها ساختن یک مدل (معادله پیش‌بینی) بر اساس داده‌های مشاهداتی است. در برخی از موارد به علت پیچیدگی زیاد ساختار سیستم‌های موردبررسی و عدم قطعیت متغیرهای مورداستفاده، تئوری مجموعه‌های فازی در تحلیل رگرسیون ابزار مناسبی برای مدل‌سازی با استفاده از توابع عضویت فازی می‌باشد (Chang, and Ayyub, 2001). یکی از روش‌های پیش‌بینی و کنترل سطح ایستابی استفاده از معادلات رگرسیونی است. Bardossy et al. (1990) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی کاربرد رگرسیون فازی در هیدرولوژی، بیان کردند در سیستم‌های طبیعی عموماً مشاهدات نادقیق و یا روابط بین آن‌ها مبهم بوده، لذا رگرسیون فازی روشی برای مطالعات واقعی در حوزه‌ی هیدرولوژی می‌باشد. مدل‌های رگرسیون فازی در زمینه‌های مختلف ازجمله مهندسی (Lai and Chang, 1994) و پیش‌بینی (Heshmaty and Kandel, 1985) با موفقیت به‌کار گرفته‌شده است. Parviz et al. (2010) نیز با استفاده از مدل خود همبسته تجمعی میانگین متحرک و رگرسیون فازی اقدام به پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه پرداختند. ارزیابی کار آیی دو رهیافت کلی مدل سری زمانی و رگرسیون فازی در پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه منظور این تحقیق بود. هم‌چنین Farahi et al. (2011) با استفاده از رگرسیون فازی، رسوب حوضه‌های آبخیز شمال استان خراسان را برآورد کردند. در این تحقیق از روش رگرسیون مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی به‌منظور برآورد رسوب ۲۹ زیر حوضه آبخیز در شمال استان خراسان استفاده شده است. Sadatinezhad et al. (2011) کار آیی استفاده از روش رگرسیون فازی در بازسازی داده‌های سالیانه ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه آبریز کارون مورد ارزیابی قراردادند و با روش‌های نسبت نرمال، محورهای مختصات، رگرسیون ساده و رگرسیون چندگانه مقایسه کردند.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیون فازی، سیستم‌های کارایی در مباحث هیدرولوژی هستند. با این وجود تاکنون تحقیقات کمی در بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از آن‌ها صورت گرفته است. در دشت نیشابور نیز مسئله بحران آب، درنتیجه‌ی به هم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش تقاضا از منابع آبی، نمود پیداکرده است. آگاهی از روند تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان کمک شایان توجهی به برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در این بخش می‌کند. لذا با عنایت به فقدان تحقیق در زمینه استفاده از مدل‌های رگرسیون فازی در برآورد تراز سطح ایستابی و از طرفی استفاده از داده‌های صرفاً سالانه، به علت نبود اطلاعات و آمار دراز مدت مورد نیاز در کشور؛ در پژوهش حاضر کارایی مدل‌های رگرسیون فازی امکانی (Fuzzy posibilistic regression) و کمترین مربعات فازی (Fuzzy least square regression) به‌منظور پیش‌بینی تغییرات ماهانه سطح آبخوان نیشابور مورد ارزیابی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز نیشابور با وسعت کل حوضه ۷۲۹۳ کیلومترمربع جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۳۴۰۰ کیلومترمربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. ازنظر موقعیت جغرافیایی، حوضه مذکور در طول جغرافیایی ۵۸ درجه ۱۳ دقیقه تا ۵۹ درجه ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه ۳۹ شمالی قرار دارد. این حوضه از شمال به خط‌الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یال پلنگ، از جنوب به تپه‌ماهورهای نیزه بلند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه آبریز سبزوار محدود می‌شود (شکل ۱). حداکثر و

www.SID.ir

Archive of SID

حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۳۳۰۵ و ۱۰۶۵ متر در قله بینالود و خروجی رودخانه کال شور واقع‌شده است (Velayati, 2000).

منابع آبی دشت نیشابور شامل آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی است. منابع آب‌های سطحی در دشت نیشابور فصلی می‌باشند. تعدادی از این رودخانه‌های فصلی از ارتفاعات شمالی (ارتفاعات بینالود) سرچشمه می‌گیرند و تعدادی دیگر از ارتفاعات جنوبی نشئت می‌یابند. مهم‌ترین جریان‌های سطحی ارتفاعات بینالود شامل رودخانه‌های طاغون، بار، خروبزرگ و اندرآب می‌باشد؛ جریان‌های مزبور درنهایت به کال شور می‌پیوندند. متوسط دبی سال آبی ۷۴-۷۳ رودخانه‌های طاغون ۰/۳۴، بار ۰/۴۵، خروبزرگ ۰/۳۴ و اندرآب ۰/۲۰ مترمکعب در ثانیه گزارش‌شده است. رودخانه‌هایی که از ارتفاعات جنوب و جنوب شرق حوضه سرچشمه می‌گیرند مانند کال سیاه، بازه خور و حصار به یکدیگر پیوسته و کال شور را به وجود می‌آورند. منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور عمدتاً شامل آب‌های ذخیره‌شده در خلل و فرج رسوبات آبرفتی است که آبخوان آزاد منطقه را تشکیل داده است. آبخوان این دشت عمدتاً از طریق مخروط افکنه‌ها و سیلاب‌های ورودی از ارتفاعات شمالی حوضه آبریز تغذیه می‌گردد (Lashkaripour et al., 2007).

منابع آب زیرزمینی آبخوان نیشابور شامل ۲۳۹۶ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق، ۹۰۸ دهنه چشمه و ۸۳۲ رشته قنات با مصارف مختلف کشاورزی، شرب، صنعتی و بهداشت می‌باشد (Shizeradi and SaboiSaboni, 2014). برداشت بیش‌ازحد منابع آب افت سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور را در پی داشته، همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده است، میزان افت سطح آب زیرزمینی در دوره ۱۰ ساله ۸/۴ متر و در سال آبی ۸۵-۸۴ برابر ۰/۸۵ متر گزارش‌شده است.

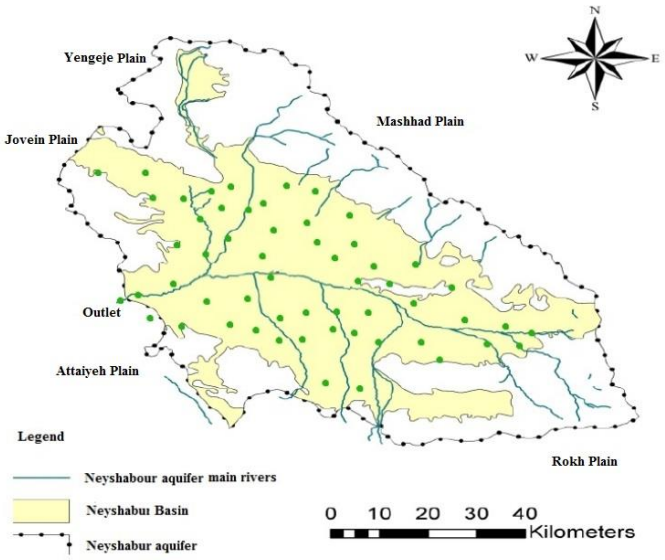

Fig. 1- Location of Neyshabour aquifer, rivers and plain's piezometers

شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز نیشابور ، رودخانه‌ها و پیزومترهای دشت نیشابور

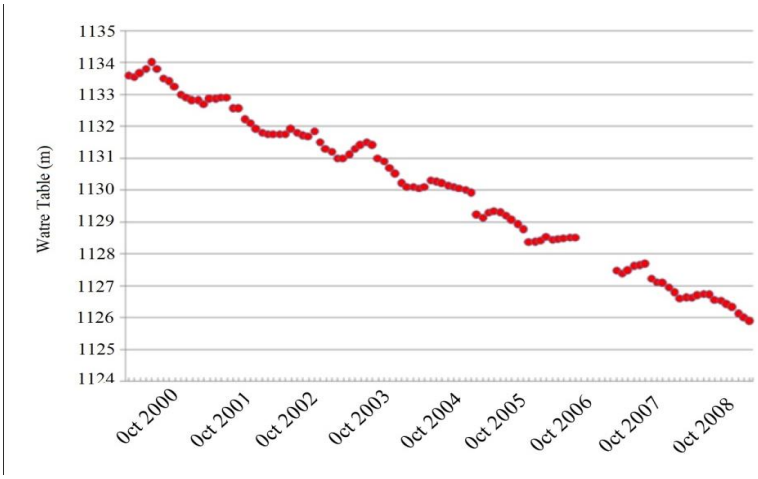

Fig. 2- Hydrograph of Neyshanour plain for the period (2000-2008)

(Khashei- Siuki et al., 2013) (۱۳۸۸-۱۳۷۹) شکل ۲- نمودار هیدروگراف واحد دشت نیشابور در فاصله زمانی

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652

جدول ۱- پارامترهای ورودی مورداستفاده در مدل رگرسیون فازی

Table 1- Input parameters used in fuzzy regression model

Input Parameters	Description
Q	Volume of discharged water per thousand cubic meters
P_t	Total rainfall per month in mm
P_{t-1}	Total rainfall in the previous month in mm
P_{t-2}	Total rainfall in two months ago in mm
L_{t-1}	Water table of the previous month in meters
L_{t-2}	Water table two months ago in meters

جمع‌آوری داده‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه‌ی شاخص‌های هیدرولیک آب زیرزمینی دشت نیشابور با استفاده از داده‌های ماهیانه‌ی اندازه‌گیری و ثبت‌شده در تمامی ایستگاه‌های منطقه نسبت به استخراج مقادیر فصلی و ماهانه‌ی آن اقدام شد. پارامترهای حجم آب تخلیه‌شده، بارندگی در دو ماه قبل، بارندگی ماه قبل، بارندگی ماه و هم‌چنین تراز سطح آب دو ماه و ماه گذشته، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر تغییر سطح آبخوان در نظر گرفته شد. با استفاده از اطلاعات ۵۷ چاه مشاهده‌ای از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۷، تراز سطح آب دشت نیشابور موردبررسی قرار گرفت (Anonymous, 2009). با توجه به آماربرداری چاه‌های دشت نیشابور در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷، آمار بارندگی و تخلیه از سفره در این سال‌ها ثبت شد. برای تعیین سطح ایستابی در موقعیت چاه ها از روش‌های زمین‌آماری استفاده‌شده برای این منظور ابتدا از درون‌یابی به روش کریجینگ خطی معمولی بهره گرفته شد و سپس با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 مقدار تراز سطح ایستابی در هر چاه استحصالی تعیین شد. این عمل برای سال‌های ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۷-۸۸ که در آن میزان تخلیه در هر فصل برداشت‌شده است، صورت گرفت. با توجه به پارامترهای تأثیرگذار بر سطح آب مانند داده‌های تغذیه و تخلیه سفره، تأخیر زمانی پارامترهای فوق، داده‌های مورداستفاده در این پژوهش انتخاب شدند. جدول (۱) پارامترهای ورودی مورداستفاده در مدل‌های رگرسیون فازی به‌منظور برآورد تراز سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. برای استفاده از داده های مذکور در مدل‌های رگرسیون امکانی فازی و کمترین مربعات فازی، ابتدا داده‌ها به صورت تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند. ۵۰ درصد از آن‌ها برای آموزش و ۵۰ درصد به منظور اعتبار سنجی مدل‌ها استفاده گشت.

رگرسیون فازی

تحلیل رگرسیونی از مهم‌ترین روش‌ها در مسائل مدل‌سازی، پیش‌بینی و کنترل است. این مدل‌ها بر پایه‌ی مشاهدات مربوط به متغیرهای مستقل و متغیر وابسته، تابعی به‌منظور پیش‌بینی و کنترل متغیر وابسته بنا می‌کند. درصورتی که متغیر مورد مطالعه دارای ارتباط نادقیق و مبهم باشد یا رابطه‌ی بین متغیرها نادقیق باشد، رگرسیون فازی (به عبارت دقیق‌تر رگرسیون در محیط فازی) به کار گرفته می‌شود (Bardossy et al., 1990). رگرسیون فازی تعمیمی از رگرسیون معمولی است که برای محاسبه رابطه تابعی بین متغیرهای وابسته و متغیر مستقل از یک محیط فازی استفاده می‌شود (Arabpour, 2014). در رگرسیون خطی کلاسیک به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، تنها یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می‌گردد درحالی‌که رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می‌زند. این مقادیر به‌وسیله یک توزیع احتمالی که به‌صورت تابع عضویت نشان داده می‌شود، مشخص می‌گردند؛ بنابراین برخلاف رگرسیون کلاسیک که مبتنی بر تئوری احتمال می‌باشد، رگرسیون فازی بر اساس تئوری امکان و تئوری مجموعه‌های فازی پایه‌گذاری شده است. مدل رگرسیون از مفهوم خطای اندازه گیری با تفاضل بین مقدار ارزیابی شده و مقدار مشاهده شده استفاده می‌کند، اما ما با مقادیر دقیقی سر و کار داریم و خطاهای محاسبه و یا خطای سیستم مفهومی برای پیش‌بینی نخواهد داشت. این همان مفهوم اساسی در مدل رگرسیون فازی است که توسط Tanaka و Uejima (1982) ارائه شد (Yen et al., 1999). فرم کلی تابع رگرسیون فازی به‌صورت زیر است (رابطه ۱):

$$\tilde{Y}=\tilde{A}_0+\tilde{A}_1X_1+\tilde{A}_2X_2+\tilde{A}_3X_3+\ldots+\tilde{A}_nX_n \qquad (۱)$$

که ضرایب این معادله یعنی $\tilde{A}$ اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی X اعداد معمولی می‌باشند. در بیشتر مسائل طبیعت ورودی‌ها قطعی و خروجی‌ها فازی هستند. حال فرض کنید مقدار m سطر داده‌ی مشاهده‌ای وجود دارد و در هر سطر n متغیر ورودی (X_{ij}) و یک متغیر خروجی می‌باشد. هم‌چنین فرض کنید عدد فازی به‌صورت مثلثی متقارن به شکل (۳) باشد (در این شکل C_i پهنای عدد و P_i مرکز عدد فازی).

$$\mu\tilde{A}(a_i)=\begin{cases}1-\dfrac{|p_i-a_i|}{c_i} & p_i-c_i\le a_i\le p_i+c\\ 0\end{cases} \qquad (۲)$$

$$\tilde{Y}=(p_0c_0)+(p_1c_1)x_1+(p_2c_2)x_2+(p_3c_3)x_3+\ldots+(p_nc_n)x_n \qquad (۳)$$

عدد فازی A در شکل (۳) برای نشان دادن مقدار «تقریباً برابر p_i» می‌باشد و c_i نشانگر فازی بودن آن است که این مفهوم را می‌توان به شکل $A_i=(p_i,c_i)$ نمایش داد؛ بنابراین رابطه

www.SID.ir

Archive of SID

رگرسیون فازی به‌صورت معادله (۳) می‌باشد. یکی از روش‌های حل رگرسیون خطی فازی تبدیل آن به مسئله برنامه‌ریزی خطی است. در این حالت که داده‌ها غیر فازی هستند، هدف مدل رگرسیون تعیین مقادیر بهینه A است به‌گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معینی مانند h که توسط کاربر تعیین می‌شود بزرگ‌تر باشد. به‌بیان‌دیگر برای m سطر داده باید نامساوی زیر صادق باشد (رابطه ۴):

$$\mu_{\tilde{y}_i}(y_i) \geq h \qquad (۴)$$

به‌طورکلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل وجود دارد: ۱- مدل‌های رگرسیون امکانی فازی، ۲- مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات و ۳- مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای (Wang and Tsaur, 2000). هدف اصلی در رگرسیون فازی پیدا کردن مدل ریاضی مناسب و تعیین ضرایب مدل باهدف بهترین برازش نتایج مدل رگرسیون با مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

مدل رگرسیون امکانی فازی

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین بار توسط Tanaka و Uejima (1982) ارائه گردید. این مدل‌ها بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به‌دست می‌دهد. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدل‌های رگرسیون فازی امکانی، مدلی است که در آن، ضرایب فازی بوده و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیر فازی می‌باشد. در پژوهش حاضر از این مدل استفاده شده است. یافتن مدل‌های رگرسیون بر پایه‌ی این روش غالباً مبتنی بر حل مسائل برنامه‌ریزی خطی یا غیرخطی است. در این مدل‌ها خطای پیش‌بینی متغیر وابسته تحلیل امکانی دارد. به‌عبارت‌دیگر هنگامی‌که بر پایه مدل رگرسیون و به ازای مقادیری از متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته را پیش‌بینی می‌کند. در این نوع رگرسیون فازی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی به شکل زیر در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۵):

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \tilde{A}_3 X_3 + \ldots + \tilde{A}_n X_n \qquad (۵)$$

به‌طور که ضرایب این معادله یعنی $\tilde{A}_0$، $\tilde{A}_1$، $\tilde{A}_2$، $\tilde{A}_3$... و $\tilde{A}_n$ اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی x_0، x_1، x_2، x_3، ... و x_n اعداد معمولی می‌باشند. با توجه به رابطه ذکرشده برای هر n متغیر ورودی، یک عدد فازی مانند $\tilde{Y}$ به‌عنوان خروجی به دست آورده می‌شود. هدف این است که بر اساس یک مجموعه از داده‌های مشاهده‌ای، ضرایب فازی مربوط به رابطه مذکور یعنی $\tilde{A}_0$، $\tilde{A}_1$، $\tilde{A}_2$، $\tilde{A}_3$... و $\tilde{A}_n$ به‌گونه‌ای به‌دست آورده شود که معادله بهترین برازش را بر روی‌داده‌های مشاهداتی داشته باشد. برای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهادشده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است. بنابراین برای حل یک مسئله رگرسیون فازی، طبق مطالب بیان‌شده، کافی است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس معادلات ارائه شده در جدول (۱) حل شود که این کار توسط نسخه ۱۱ نرم‌افزار Lingo صورت پذیرفت.

مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی

یکی دیگر از رویکردهای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، استفاده از روش کمترین مربعات فازی است. در مدل‌های رگرسیون امکانی هدف کمینه کردن مجموع فازی بودن ضرایب معادله بود درحالی‌که در مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات، هدف کمینه کردن اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد (Koorehpazan Dezfouli, 2014). برای این کار روش‌های متعددی پیشنهادشده در این پژوهش از رویکرد Savic و Pedrycz (1991) که ترکیبی از کمترین مربعات معمولی و روش کمینه کردن میزان فازی بودن است، بهره‌گیری شد. به‌این منظور در ابتدا ضرایب رگرسیون کمترین مربعات معمولی برای داده‌های مشاهده‌ای از رابطه‌ی (۶) محاسبه شد (Koorehpazan Dezfouli, 2014):

$$A_0 = \frac{m\sum_{i=1}^{m} x_y y_i - \sum_{i=1}^{m} x_i \sum_{i=1}^{m} y_i}{\sum_{i=1}^{m} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{m} x_i\right)^2} \qquad (۶)$$

که در این رابطه x_i= متغیرهای مستقل، y_i= متغیر وابسته تحقیق، m= تعداد مشاهدات و A_0= ضریب رگرسیون کمترین مربعات معمولی می‌باشند.

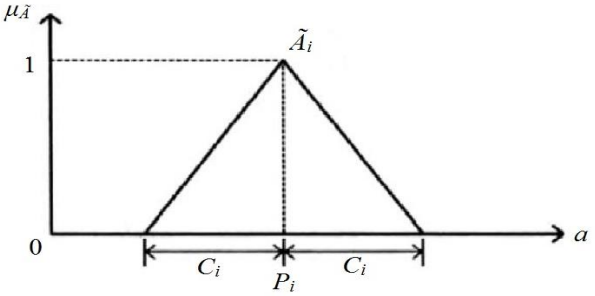

Fig. 3- Membership function of fuzzy coefficients

شکل۳- تابع عضویت ضرایب فازی

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652

سپس ضرایب به‌دست‌آمده در برابر مرکز ضرایب معادله رگرسیون فازی قرار گرفت، بدین ترتیب مقدار P_i ها در رابطه (۱۰) مشخص شد. در گام بعد برای مشخص کردن مقادیر C_i ها از مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه‌شده در جدول (۲) که در آن ضرایب فازی بوده و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیر فازی می‌باشد، استفاده گشت.

اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل رگرسیون فازی استفاده‌شده به‌منظور پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان نیشابور، از سه آماره‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط مطلق خطا (MAE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد؛ که در این روابط N=تعداد کل داده‌ها، Pi= سطح آب تخمین زده‌شده، Oi= سطح آب مشاهده‌شده و $\bar{P}$ و $\bar{O}$ به ترتیب متوسط مقادیر P_i و O_i هستند:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=0}^{n}\left(p_i-\bar{p}\right)\left(o_i-\bar{o}\right)\right]^2}{\sum_{i=0}^{n}\left(p_i-\bar{p}\right)^2\left(o_i-\bar{o}\right)^2} \quad (۷)$$

$$RMSE= \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(p_i-o_i)^2}{N}} \quad (۸)$$

$$MAE= \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{n}\left|\left(p_i-o_i\right)\right| \quad (۹)$$

نتایج و بحث

مقایسه مدل رگرسیون رگرسیون امکانی فازی و کمترین مربعات فازی

نتایج حاصل از مقایسه مدل رگرسیون فازی امکانی و رگرسیون کمترین مربعات فازی در برآورد تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور، در شکل (۳) نشان داده‌شده است. یافته‌های صحت سنجی مدل‌ها نشان داد که بالاترین دقت در برآورد تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور در ماه خرداد و پایین‌ترین دقت برآورد سطح آب در دی ماه، برای هر دو مدل رگرسیون امکانی فازی وکمترین مربعات فازی می‌باشد. هم‌چنین در هر دو مدل دقت برآورد ماه‌های زمستان پایین‌تر از سایر فصول بود، نتایج حاضر در مقایسه با شبکه عصبی-فازی یکسان است چراکه Khashei-Siuki et al. (2013) گزارش کردند کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج تطبیقی عصبی-فازی نیز در ماه‌های زمستان کاهش‌یافته و بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقادیر آماره‌های متوسط مطلق خطا و ریشه مجذور مربعات خطا در ماه‌های بهار مشاهده شده است. ازآنجاکه عمده‌ترین دلیل افت نسبی سطح آب زیرزمین در دشت نیشابور برداشت‌های بی‌رویه توسط کشاورزان می‌باشد (Hosseini et al., 2005)، اعمال تأخیر دوماهه بارش به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل رگرسیون فازی، افزایش دقت مدل را با توجه به افزایش نزولات جوی در دو ماه گذشته و تأثیر مستقیم آن در بالا آمدن سطح آب در پی داشته است. بررسی نتایج اعتبارسنجی مدل رگرسیون فازی در فصل تابستان نشان داد که علی‌رغم کاهش شدید باران در این فصل، اعمال ورودی‌های با تأخیر یک تا دوماهه نتایج مناسبی در پیش‌بینی سطح آب داشته است. همسو با یافته های تحقیق حاضر Khashei-Siuki et al. (2013) گزارش نمودند مدل شبکه عصبی با ورودی‌های حجم آب تخلیه‌شده استحصالی، مجموع بارندگی در ماه حاضر، مجموع بارندگی ماه قبل، مجموع بارندگی در دو ماه قبل و تراز سطح زمین بهترین کارایی را در پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور داشت. این یافته‌ها با تحقیق Izadi et al. (2008) نیز مطابقت دارند نتایج تحقیق ایشان نشان داد درصورتی که از تراز سطح ایستابی در ورودی‌ها استفاده نشود مدل شبکه عصبی نمی‌تواند دقت مناسبی در برآورد سطح ایستابی داشته باشد. در اکثر تحقیقات داده‌های مورداستفاده در مقیاس روزانه یا سالانه بوده درحالی‌که تغییرات سطح آب به‌صورت ماهانه جدی می‌باشد به‌طوری‌که در ماه‌های زمستان روند صعودی و در ماه‌های تابستان روند نزولی دارد. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است، در تمامی ماه‌های سال، مدل رگرسیون امکانی فازی دقت و کارایی مناسب‌تری در تخمین تراز سطح آب زیرزمینی ارائه داده است. مدل رگرسیون فازی امکانی، بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دست می‌دهد. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود (Koorehpazan Dezfouli, 2014).

جدول ۲- مدل برنامه‌ریزی برای حل رگرسیون خطی با مشاهدات غیر فازی

Table 2- Planning model for solving linear regression with non-fuzzy observations

Regression equation:	$\tilde{Y}=\tilde{A}_0+\tilde{A}_1X_1+\tilde{A}_2X_2+\ {}_3X_3+\ldots+\tilde{A}_nX_n$
Target function (10)	$Minimize = mc+\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}C_i\left\|X_{ij}\right\|$
Constraint (11)	$p_o+\sum p_i\times x_{ij}-(1-h)\times\left\|c_o+\sum c_i\times x_{ij}\right\|\le y_{ij}$ $p_o+\sum p_i\times x_{ij}+(1-h)\times\left\|c_o+\sum c_i\times x_{ij}\right\|\ge y_{ij}$

www.SID.ir

Archive of SID

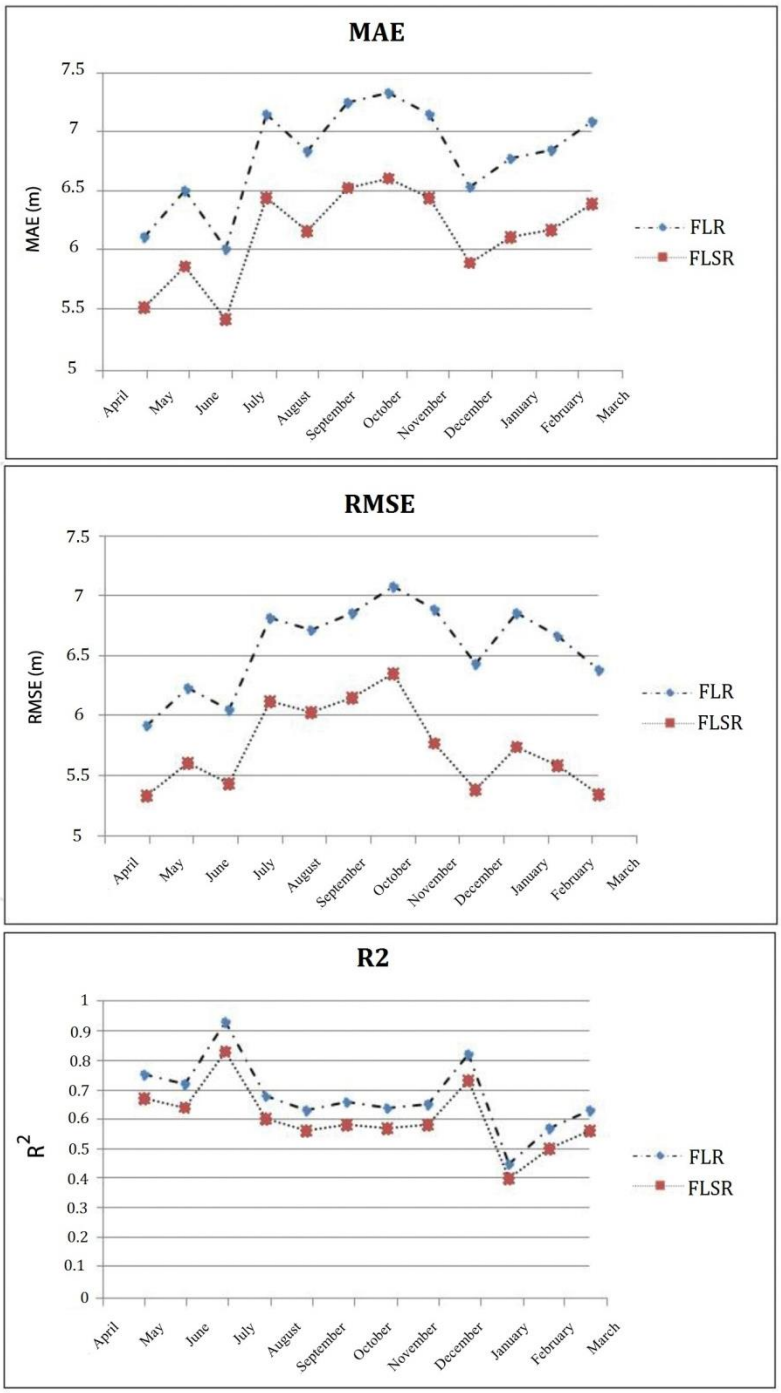

Fig. 4- Comparison of validation indices of fuzzy possibilistic regression (FLR) and fuzzy least square regression (FLSR) models in different months

شکل ٤ - مقایسه شاخص‌های اعتبارسنجی مدل رگرسیون فازی امکانی (FLR) و کمترین مربعات فازی (FLSR) در ماه‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با تغییرات ارتفاع، میزان دبی چاه‌ها نیز تغییر می‌کند به‌طوری‌که دبی چاه‌های در شمال و شرق دشت نیشابور کمتر از جنوب و غرب دشت است به‌گونه‌ای تغییرات خطوط تراز سطح آب و خطوط تراز سطح زمین از هم تبعیت می‌کند، بنابراین اعمال پارامتر تراز سطح آب به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل سبب افزایش قابل‌توجه دقت مدل می‌گردد. در پژوهش حاضر همانند تحقیق Izadi et al. (2008) از تراز سطح ایستابی به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی مدل استفاده شد. نتایج بررسی Khashei-Siuki et al. (2013)، نشان داد مدلی که در آن تراز بررسی نشده است، دبی و بارندگی ماهانه نتوانسته تخمینی مناسبی از سطح آب زیرزمینی داشته باشد. میزان خطای شبکه عصبی در برآورد سطح آب در مقایسه مدل‌هایی که در آن تراز سطح آب اعمال‌شده از ۱۴ به ۸۰ درصد تغییر پیداکرده است.

یافته‌های پژوهش حاضر مشخص کرد دقت برآورد در ماه‌های زمستان برای هر دو مدل استفاده در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور، پایین‌تر از سایر فصول است، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده‌شده، پایین‌ترین دقت در بین ماه‌های زمستان مربوط به دی‌ماه با ضریب تبیین ۰/۴۰ و ۰/۴۵ به ترتیب برای مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی و رگرسیون امکانی فازی می‌باشد. گرچه همانند سایر ماه‌ها دقت برآورد مدل فازی امکانی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از مدل کمترین مربعات فازی بود. Khashei-Siuki et al. (2013) گزارش کردند کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و استنتاج تطبیقی عصبی–فازی در ماه‌های زمستان کاهش‌یافته است. بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقادیر آماره‌های متوسط مطلق خطا و ریشه مجذور مربعات خطا برای هر دو مدل رگرسیون فازی در ماه‌های بهار مشاهده شد، گرچه بالاترین دقت در ماه خرداد با R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۳ و ۶/۰۵ برای مدل رگرسیون امکانی فازی مشاهده شد. با توجه اعمال تأخیر دوماهه بارش به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل رگرسیون فازی افزایش دقت مدل با توجه به افزایش نزولات جوی در این دو ماه گذشته و تأثیر مستقیم آن در بالا آمدن سطح آب است. بیشترین افت سطح آب زیرزمینی به‌طورمعمول در اوایل فصل پاییز اتفاق می‌افتد که تخلیه کم شده و بارندگی به‌صورت جدی شروع نشده است تا بتواند روی تغذیه آبخوان تأثیر بگذارد و تأثیر بارندگی‌های بهاره نیز تا حدودی کاهش‌یافته است. استفاده از پیش‌بینی‌های ماهانه به مدیران کمک می‌کند به‌منظور کنترل میزان برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی تصمیمات مؤثرتری اخذ نمایند. ازآنجاکه امکان کاهش برداشت آب در تعدادی ماه‌های سال امکان‌پذیر است لذا عکس‌العمل آبخوان در تغییر سطح آب به‌صورت ماهانه مؤثرتر از سالیانه یا روزانه می‌باشد.

شکل (۴)، تغییرات سطح آب زیرزمینی پیش‌بینی شده با روش‌های رگرسیون فازی و اندازه‌گیری شده در دشت نیشابور را در بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مشاهده می‌شود مقادیر سطح آب زیرزمینی پیش‌بینی شده با رگرسیون امکانی فازی مطابقت بهتری با مقادیر مشاهده شده دارد و از افت و خیز آب زیرزمینی تخمین مناسب تری ارائه داده است. درهمین راستا Kurtulus و Razack (2010)، Soltani (2006) و Dastourani et al. (2011) گزارش کردند مقادیر سطح آب زیرزمینی پیش بینی شده با مدل‌های عصبی–فازی کمترین اختلاف با مقایر مشاهداتی را دارند. با در نظر گرفتن شاخص‌های اعتبارسنجی مدل و تغییرات این پارامترهای می‌توان بیان داشت که استفاده از مدل رگرسیون امکانی فازی به‌مراتب نتایج دقیق‌تر و کارایی مؤثرتری در برآورد تراز سطح ایستابی آبخوان دشت نیشابور داشته است.

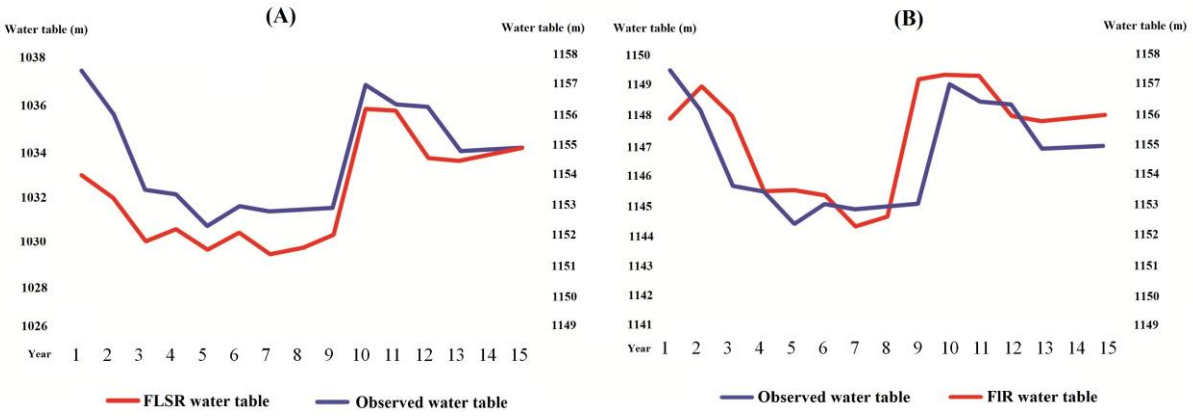

Fig. 5- Comparison of estimation and observational water table of the of (A) fuzzy possibilistic regression and (B) fuzzy least square regression models

شکل ۵ - مقایسه تراز آب محاسباتی و مشاهداتی مدل (الف) رگرسیون فازی امکانی و (ب) کمترین مربعات فازی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که خروجی مدل‌ها در ماه‌های مختلف باهم متفاوت است که این امر به علت وجود نوسانات سطح آب در ماه‌های مختلف بوده است. هر دو مدل رگرسیون فازی توانایی مناسبی در تخمین میزان تراز سطح ایستابی داشتند. نتایج نشان داد دقت هر دومدل رگرسیون فازی در برآورد سطح آب ماه‌های زمستان پایین‌تر از سایر فصول بود. بهترین دقت در ماه خرداد بامیانگین قدرمطلق خطا برابر ۶/۰۱، جذر مربعات خطا برابر ۶/۰۵ و ضریب تعیین برابر ۰/۹۳ برای مدل رگرسیون امکانی فازی مشاهده شد. شایان‌ذکر است با توجه به شاخص‌های اعتبارسنجی مدل، دقت مدل رگرسیون امکانی فازی به مراتب بیشتر از مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی است، بنابراین می‌توان مدل مذکور را به‌عنوان رویکردی قابل‌قبول در تخمین تراز سطح ایستابی معرفی نمود. در انتها پیشنهاد می‌شود از سایر مدل‌های رگرسیون فازی و رویکردهای مختلفی ازجمله فازی سازی متغیرهای مستقل استفاده گردد و نتایج را با تحقیق حاضر مقایسه نموده و مدلی که کمترین خطا را در پیش‌بینی تراز سطح ایستابی دشت‌ها داراست برای مدیریت بهینه آب در آینده معرفی شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد در تعیین ساختار پارامترهای ورودی رگرسیون فازی تأثیر دوره‌های تر و خشک در نظر گرفته شود و تأثیر پارامترهای دیگر نظیر تراز سطح زمین، تبخیر و... در پیش‌بینی سطح ایستابی اعمال گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه بیرجند در انجام این تحقیق تقدیر و تشکر نمایند.

Refrences

1- Anonymous., 2009. Management Studies for Water Resources Reconciliation in Neyshabour Plain. Khorasan Razavi Regional Water Company, *Technical Rep*. (In Persian).

2- Arabpour, A.S., 2014. Fuzzy Linear Regression and Effect of Percent Points. *4th Congress on Fuzzy and Intelligent Systems of Iran. Zahedan, University of Sistan and Baluchestan*. (In Persian).

3- Bardossy, A., Bogardi, I. and Duckstein, L., 1990. Fuzzy regression in hydrology. *Water Resources Research*, *26*(7), pp.1497-1508.

4- Chang, Y.H.O. and Ayyub, B.M., 2001. Fuzzy regression methods–a comparative assessment. *Fuzzy Sets and Systems*, *119*(2), pp.187-203.

5- Daliakopoulos, I.N., Coulibaly, P. and Tsanis, I.K., 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, *309*(1-4), pp.229-240.

6- Dastourani, M.T., Sharifi Darani, H., Talebi, A. and Moghaddamnia, A.S., 2011. Efficiency of Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Rainfall-Runoff Modeling in Zayandehrud Dam Watershed. *Journal of Water and Sewage*. 14(22), pp.114-125. (In Persian).

7- Dillip, K.G., Sudhansu, S.P. and Prakash, C.S. 2010. Prediction of water table depth in western region, Orissa interpolation of groundwater head series. *Journal of Hydrology*. 192, pp.65–80.

8- Farahi, G., Kodashenas, S. and Alizadeh, A., 2011. Estimation of sediment of watersheds in northern Khorasan province using fuzzy regression model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 5(15), pp.11-24. (In Persian).

9- Fathi, F. and Zibaei, m., 2010. Water management in the common water conditions. *Journal of Agricultural Economics*. *4*(4), pp.47-63. (In Persian).

10- Hellegers, P., 2002. Treating water in irrigated agriculture as an economic good. *Presented on the Conference of Irrigation Water Policies, June, Agadir, Morocco*.

11- Heshmaty, B. and Kandel, A., 1985. Fuzzy linear regression and its applications to forecasting in uncertain environment. *Fuzzy Sets and Systems*, *15*(2), pp.159-191.

12- Hosseini, A., Farajzadeh, M. and velayati, S., 2005. Analysis of Water Crisis in Neyshabur with Environmental Planning Approach, Research Committee of Regional Water Company of Khorasan, *Technical Rep* (In Persian).

13- Izadi, A., Davari, K., Alizadeh, A. and Ghahreman, B., 2008. Application of Panel Data Model in Predicting Groundwater Level. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 2(2): 133-144 (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID
DOI: 10.22055/jise.2018.23275.1652

14- Jusseret, S., Tam, V.T. and Dassargues, A., 2009. Groundwater flow modelling in the central zone of Hanoi, Vietnam. *Hydrogeology Journal*, *17*(4), pp.915-934.

15- Khashei-Siuki. A., Ghahraman, B. and Kouchakzadeh, M., 2013. Comparison of ANN, ANFIS and Regression Models to Estimate Groundwater level of Neyshaboor Aquifer. *Iranian Journal of lrrigation and Drainage. 7*(1), pp.10-22. (In Persian).

16- Koorehpazan Dezfouli, A., 2014. The *Principles of Fuzzy sets Theory and Its Applications in Modeling Water Engineering Issues*. Jahad University Press. Amirkabir University of Technology. Fourth Edition. pp. 261. (In Persian).

17- Kurduvani, p., 1995. *Geohydrology*. Tehran University Press, Tehran University Press. (In Persian).

18- Kurtulus, B. and Razack, M., 2010. Modeling daily discharge responses of a large karstic aquifer using soft computing methods: Artificial neural network and neuro-fuzzy. *Journal of Hydrology*, *381*(1-2), pp.101-111.

19- Lai, Y.J. and Chang, S.I., 1994. A fuzzy approach for multiresponse optimization: An off-line quality engineering problem. *Fuzzy Sets and Systems, 63*(2), pp.117-129.

20- Larroque, F., Treichel, W. and Dupuy, A., 2008. Use of unit response functions for management of regional multilayered aquifers: application to the North Aquitaine Tertiary system (France). *Hydrogeology Journal*, *16*(2), pp.215-233.

21- Lashkaripour, G.H., Ghafouri, M., Kazemi Golian, R. and Damshenas, M., 2007. Land Summit due to groundwater subsidence in Neishabour plain. *Iranian Geology and Engineering Conference. pp.1082-1090*. (In Persian).

22- Lohani, A.K. and Krishan, G., 2015. Application of artificial neural network for groundwater level simulation in Amritsar and Gurdaspur districts of Punjab, India. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, *6*(4), p.1.

23- Parviz, L., Kholghi, M. and Fakhorifard, A., 2010. Forecasting annual streamflow using autoregressive integrated moving average model and fuzzy regression. *Journal of Soil and Water Science*. *19*(1), pp.66-82. (In Persian).

24- Reghunath, R., Murthy, T.S. and Raghavan, B.R., 2005. Time series analysis to monitor and assess water resources: A moving average approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, *109*(1-3), pp.65-72.

25- Sadatinezhad, S.J., Hasanshahi, R., Shayanfar, M. and Abdollahi, K.H., (2011) Evaluation of Fuzzy Regression Efficiency for Reconstructing Missing Annual Precipitation Data in Karoon Basin. *Environmental Sciences. 8*(3), pp.109-116. (In Persian).

26- Savic, D.A. and Pedrycz, W., 1991. Evaluation of fuzzy linear regression models. *Fuzzy Sets and Systems*, *39*(1), pp.51-63.

27- Shizeradi, S. and Saboisaboni, M., 2014. Investigating the stability and equilibrium of groundwater table in order to achieve sustainable management (Case study: Neyshabour basin). *Journal of Agricultural Economics Researches. 6*(4), pp.107-128 (In Persian).

28- Soltani, F., 2006. Comparison of Application of Neuro-Fuzzy Adaptive Network (ANFIS) to Artificial Neural Network (ANN) in forecasting the flow of Zayanderad River. *7th International River Engineering Workshop. Shahid Chamran University of Ahvaz.*

29- Sun, Y., Wendi, D., Kim, D.E. and Liong, S.Y., 2015. Application of artificial neural networks in groundwater table forecasting-a case study in Singapore swamp forest. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, *12*(9).

30- Tanaka, H. and Uejima, S., 1982. Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Transactions* on *Systems, Man,* And *Cybernet*. *12*, pp.903-907.

31- Velayati, S., 2000. The most important factors affecting the quality changes of the Neyshabour plain. *Quarterly Journal Of Geographic Research*. *15*, pp.102-134. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

32- Wang, H.F. and Tsaur, R.C., 2000. Insight of a fuzzy regression model. *Fuzzy Sets and Systems, 112*(3), pp.355-369.

33- Yan, Q. and Ma, C., 2016. Application of integrated ARIMA and RBF network for groundwater level forecasting. *Environmental Earth Sciences, 75*(5), p.396.

34- Yen, K.K., Ghoshray, S. and Roig, G., 1999. A linear regression model using triangular fuzzy number coefficients. *Fuzzy Sets and Systems, 106*(2), pp.167-177.

35- Zhang, N., Xiao, C., Liu, B. and Liang, X., 2017. Groundwater depth predictions by GSM, RBF, and ANFIS models: a comparative assessment. *Arabian Journal of Geosciences, 10*(8), p.189.

36- Zhou, Y. and Li, W., 2011. A review of regional groundwater flow modeling. *GeoscienceFrontiers, 2*(2), pp.205-214.

www.SID.ir