Irrigation Sciences and Engineering
Vol.40, No. 2, Summer 2017, p. 27-37

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٠، شماره‌ی۲، تابستان ٩٦، ص. ٣٧- ٢٧

کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در تخمین سطح ایستابی (مطالعه موردی: دشت‌های دزفول و زیدون)

رضا زمانی‌احمدمحمودی[۱]، علی‌محمد آخوندعلی[۲*] و حیدر زارعی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.aliakh@scu.ac.ir
۳- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۵

چکیده

از آنجایی که برداشت آب از چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت‌ها به صورت نقطه‌ای انجام می‌گیرد، لذا ضرورت دارد به منظور محاسبه مقدار متوسط سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها و تخمین سطح آب، اطلاعات حاصل از برداشت نقطه‌ای به کل سطح تعمیم داده شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت‌های دزفول و زیدون واقع در استان خوزستان می‌باشد. نتایج حاصل از کاربرد روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و روش عکس فاصله نشان داد که در دشت دزفول روش کوکریجینگ با مدل نیم‌تغیرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل گوسین، و در دشت زیدون روش کریجینگ با نیم‌تغیرنمای گوسین بهترین روش زمین آماری برای تخمین سطح ایستابی و ترکیب با شبکه‌های عصبی می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از ترکیب این دو مدل در هر دو دشت، نشان داد که مدل ترکیبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک دارای معیارهای ارزیابی مناسب‌تری در تخمین سطح ایستابی نسبت به کاربرد روش‌های زمین آماری به تنهایی می‌باشد. به‌طوری که کاربرد این روش ترکیبی بهینه شده در دشت زیدون که دارای تعداد چاه‌های مشاهده‌ای کمتری می‌باشد، موثرتر از دشت دزفول بوده است.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، الگوریتم ژنتیک، زمین آمار، شبکه عصبی مصنوعی.

An Application of Combined Geostatistics with Optimized Artificial Neural Network by Genetic Algorithm in Estimation of Groundwater Level (Case study: Dezful and Zeidoon plains)

R. Zamani Ahmad Mahmoodi[1], A. M. Akhond Ali[2*] and H. Zarei [3]

1- Ph. D Student, Department of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2*- Corresponding Author, Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
3- Asistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 11 June 2014 Accepted: 16 November 2015

Abstract

Since the withdrawal of the observation wells at the plains done for the point, it is necessary to calculate the average groundwater level and also generalization the estimated water level from collected point to the surface of plain. The aim of this study is an investigation on the application of combined geostatistics method with optimized artificial neural networks by genetic algorithm in interpolation of groundwater level over Dezful and Zeidoon plains located in the Khozestan province. The obtained results from Cokriging, Kriging and IDW methods indicated that Cokriging with the Gaussian variogram and cross-variogram in Dezful Plain, and Kriging with the Gaussian

Archive of SID
www.SID.ir

variogram in Zeidoon plain are the best geostatistical methods for estimation the groundwater level and combined with artificial neural networks. Also the results of combination these two models showed that optimized model by genetic algorithm have better evaluation criteria than geostatistical methods and proposed as an effective combined model for estimation of the groundwater level. So that an application of this optimized combined method in Zeidoon plain with fewer observation wells was better than Dezful plain.

Keywords: Groundwater, Genetic Algorithm, Geostatistics, Artificial Neural Network.

مقدمه

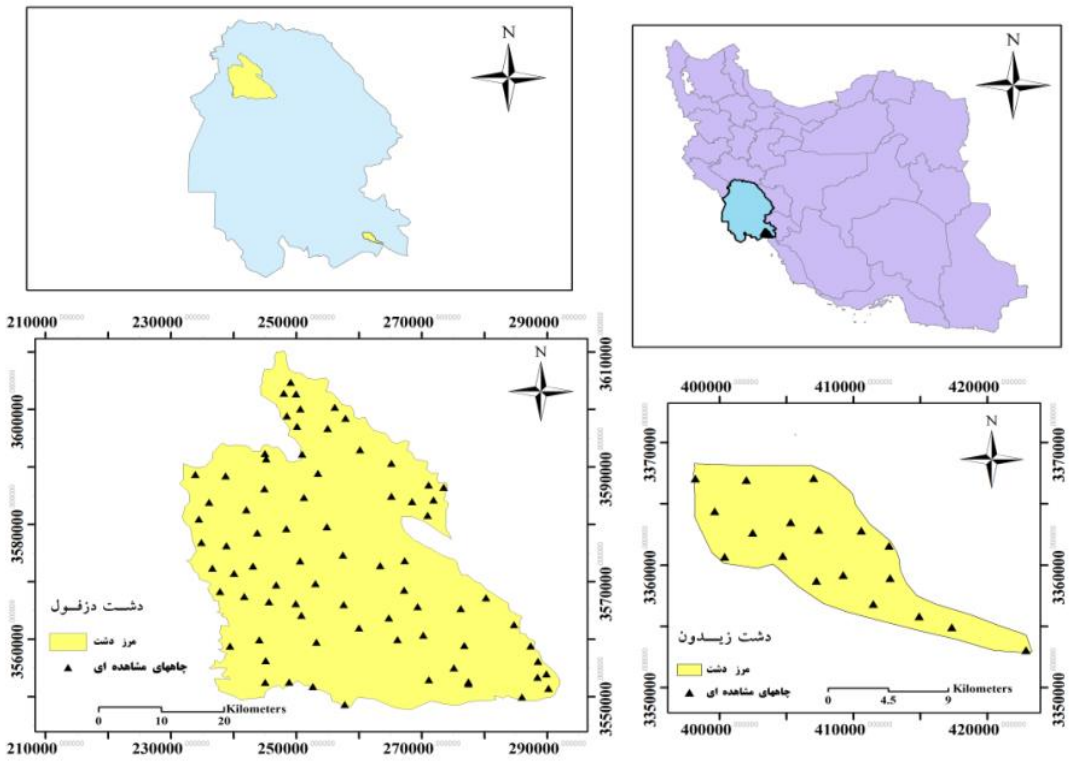
به منظور اعمال مدیریت صحیح در مورد آب‌های زیرزمینی برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آبی، مدل‌سازی و تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت‌ها عمیقا احساس می‌شود (زمانی، ۱۳۹۱). از اساسی‌ترین موارد در مدیریت کمی منابع آب زیرزمینی، تخمین سطح آب با استفاده از داده‌های برداشت شده از شبکه چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشد (زارعی و آخوندعلی، ۱۳۸۶). پژوهش‌گران متعددی از زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی در بررسی و مطالعه منابع آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می شود.

قهرمان و همکاران[1] (۲۰۰۵) کاربرد زمین آمار را در ارزیابی شبکه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ارزیابی کفایت شبکه چاه‌های آب شرب شهر مشهد در ردیابی نیترات و هدایت هیدرولیکی با استفاده از کریجینگ انجام گرفت. خلقی و حسینی[2] (۲۰۰۹) در پژوهشی برای تخمین سطح آب زیرزمینی از ترکیب روش کریجینگ معمولی با روش نرو- فازی در دشت قزوین استفاده کردند. دهقانی و همکاران (۱۳۸۹) به مقایسه سه روش شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاجی فازی- عصبی تطبیقی و زمین آمار در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در دشت قزوین پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش سیستم استنتاجی فازی- عصبی برای برآورد سطح آب در نقاط مجهول آبخوان داری دقت بیشتری نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. حاجی‌هاشمی‌جزی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های زمین آماری به برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب زیرزمینی دشت گلپایگان پرداخته‌اند. بارکای و پارسالا[3] (۲۰۰۸) برای تهیه نقشه خطر نیترات از روش کریجینگ و روش‌های شبیه‌سازی هوش مصنوعی استفاده کردند، نتایج حاصله از پژوهش آنها نشان داد که روش کریجینگ مناسب‌تر می‌باشد. وی و همکاران[4] (۲۰۱۲) در پژوهشی به پیش‌بینی شاخص‌های خاک با استفاده از مدل کریجینگ- رگرسیون پرداخته‌اند. از دیگر پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام گرفته است می‌توان به تحقیقات افرادی هم‌چون مسلم‌زاده (۱۳۸۹)، صادقی‌راد (۱۳۹۰)، ایزدی و همکاران[5] (۲۰۱۲)، لی و همکاران[6] (۲۰۱۲) و اموریم و همکاران[7] (۲۰۱۲) اشاره کرد. استیل[8] (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای، کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی را در زمینه‌ی ژئوهیدورلوژی مورد بررسی قرارداد. سریکانت و همکاران[9] (۲۰۰۹) عملکرد شبکه عصبی استاندارد (FFN) که با الگوریتم لونبرگ- مارکورت (LM) آموزش داده شد، را برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز می‌شی‌وارم حیدرآباد هند مورد آزمایش قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل مذکور بهترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی دارد. اصغری مقدم و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی توانایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و زمین آمار را در پیش‌بینی مکانی غلظت فلوئورید در دو دشت بازرگان و پلدشت را مورد بررسی قرار دادند. رحمانی (۱۳۹۰) در پژوهشی به شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت عقیلی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه آن با نتایج مدل ریاضی تفاضلات محدود پرداخته است. ازجمله دیگر پژوهش‌های انجام شده در زمینه کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین سطح ایستابی می‌توان به تحقیقات افرادی همچون ماسکی و همکاران[10] (۲۰۰۰)، آدامری[11] (۲۰۰۷)، محمدی[12] (۲۰۰۸)، بنرجی و همکاران[13] (۲۰۰۹) و ستی و همکاران[14] (۲۰۱۰) اشاره کرد.

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در مدیریت پایدار منابع آب و همچنین ضرورت تخمین سطح ایستابی در دشت‌ها، در این مطالعه به ارائه رویکردی مبتنی بر ترکیب روش‌های زمین آماری با شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد مکانی سطح آب در دو دشت دزفول و زیدون در استان خوزستان پرداخته شده است.

1 - Ghahreman *et al.*
2 - Kholghi and Hosseini
3- Barcae and Passarella
4- Wei *et al.*
5 - Izady *et al.*
6- Le *et al.*
7- Amorim
8- Steyl
9- Sreekanth *et al.*
10- Maskey *et al.*
11- Uddameri *et al.*
12- Mohammadi
13- Banerjee *et al.*
14- Sethi *et al.*

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱- موقعیت دشت‌ها در استان خوزستان و موقعیت چاه‌های مورد مطالعه درهر یک از دشت‌ها

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت دزفول به عنوان وسیع‌ترین دشت حوضه آبریز دز و از جمله دشت‌های وسیع استان خوزستان محسوب می‌شود که با وسعتی معادل با ۲۴۸۷ کیلومترمربع از مناطق کوهستانی شمال استان شروع و تا مناطق کم ارتفاع مرکز امتداد می‌یابد. دشت زیدون با مساحت ۱۹۰/۶ کیلومترمربع، در طول جغرافیایی ´۴۲ °۴۹ تا ´۱۵ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۶ °۳۰ تا ´۴۱ °۳۰ شمالی، قرار دارد. در این پژوهش از ۷۶ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت دزفول و ۱۸ حلقه در دشت زیدون استفاده شد. به منظور رسم هیدروگراف واحد آب زیرزمینی و تعیین ماه‌هایی که در آن دشت‌های مورد مطالعه دارای حداکثر، حداقل و متوسط سطح ایستابی بوده‌اند از دوره‌ی آماری ۵ ساله (۸۶-۱۳۸۵) تا (۹۰-۱۳۸۹) استفاده گردید. شکل (۱) موقعیت دشت‌ها را در استان خوزستان و هم‌چنین نحوه پراکنش چاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

روش انجام پژوهش

قبل از استفاده از تخمین‌گرهای زمین آماری، با استفاده از نرم‌افزار spss16 پارامترهای توصیفی حداقل، حداکثر، میانگین، میانه، چولگی و کشیدگی، انحراف معیار، ضریب تغییرات و آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمرینوف[1] بررسی شد و متناسب با نتایج حاصله، از تبدیل لاگ نرمال[2] یا تبدیل ریشه‌ی مربعات[3] در محیط نرم‌افزار GS^+9 استفاده گردید.

برازش مدل‌های نیم‌تغییرنما

در استفاده از روش‌های زمین آماری برای هر نوع تخمینی، ابتدا نیاز به محاسبه نیم‌تغییرنما می‌باشد و به منظور رسم نیم‌تغییرنما هم نیاز به تعیین نوع توزیع داده‌ها و نرمال کردن آنها می‌باشد. در مرحله‌ی بعد همسان‌گردی و ناهمسان‌گردی داده‌ها برای رسم نیم‌تغییرنما باید بررسی شود (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). در این پژوهش از چهار نوع مدل نیم‌تغییرنمای تجربی کروی، خطی، نمایی و گوسین برای برازش بر داده‌ها استفاده گردید. یک نیم‌تغییرنمای ایده‌آل دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای[4] (C_0)، حد آستانه[5] (C_0+C) و دامنه

1- Kolmogorov- Smirnov
2-Log- Normal Trasform
3-Root Square Transform
4-Nugget effect
5- Sill

Archive

www.SID.ir

مؤثر[1] می‌باشد (محمدی، ۱۳۸۵). با مشخص شدن بهترین مدل نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل در هر دشت، اقدام به تخمین و میان‌یابی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ (کریجینگ بلوکی) و روش معین عکس فاصله با استفاده از نرم‌افزار $GS^{+}9$ شد. همچنین برای یافتن ماهی که دارای متوسط سطح آب در دوره آماری مورد مطالعه است نیاز به ترسیم هیدرگراف واحد هر دشت می‌باشد. به این منظور از نرم‌افزار Arcgis 9.3 و اطلاعات سطح آب برداشت شده از چاه‌های مشاهده‌ای و روش شبکه‌بندی تیسن استفاده شد. بعد از مشخص شدن ماه‌های مورد نظر، داده‌های سطح ایستابی چاه‌های مشاهده‌ای مورد بررسی در هر دشت، در ماه انتخابی برای مقایسه تخمین روش‌های زمین آماری کوکریجینگ، کریجینگ و روش معین عکس فاصله و کاربرد در روش ترکیبی با شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب گردید.

معیارهای ارزیابی

ارزیابی مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش داده شده بر داده‌ها با استفاده از پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات باقیمانده[2] (RSS) و نسبت $(\frac{c}{c_0+c})$[3] که شاخصی از قدرت ساختار ساختار مکانی در داده‌های مورد مطالعه است انجام شد. برای ارزیابی میزان دقت و انتخاب بهترین روش تخمین، معیارهای مختلفی مانند میانگین خطای مطلق[4] (MAE)، میانگین خطای انحراف[5] (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا[6] (RMSE) خطا استفاده گردید.

شبکه عصبی مصنوعی

یکی از مهمترین مراحل آماده‌سازی داده‌ها قبل از طراحی و آموزش شبکه عصبی مصنوعی هم مقیاس کردن داده‌های ورودی و خروجی شبکه است. به این فرآیند نرمال کردن داده‌ها گفته می‌شود که این مرحله به صورت خودکار توسط نرم‌افزار Neuro Sulution انجام می‌شود. در ادامه داده‌ها به منظور آموزش، آزمایش و صحت-سنجی به سه دسته تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی براساس تحقیقات مشابه صورت گرفته، امری معمول بوده و قاعده خاصی در این خصوص وجود ندارد (آذری، ۱۳۸۸). اگرچه مطالعات مختلف نشان داده است که برای دست یابی به نتایج بهتر در شبکه عصبی مصنوعی باید تعداد داده‌های مورد استفاده در مرحله آموزش بیشتر از مرحله‌ی آزمایش باشد (دیمانتوپولا و همکاران[7]، ۲۰۰۵).

استفاده بهتر از شبکه‌های عصبی مصنوعی مستلزم بهینه کردن پارامترهای مورد استفاده در آن می‌باشد. برای تعیین بهترین مقادیر پارامترهای مختلف شبکه عصبی نظیر تعداد لایه‌ها، نرون‌ها و وزن‌ها در هر لایه، زمان زیادی صرف واسنجی این پارامترها به روش آزمون و خطا می‌شود (زهرایی و حسینی، ۱۳۸۸). به همین منظور در این پژوهش با ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک (GA-ANN) به عنوان یک روش بهینه‌سازی، دستیابی به مقادیر مطلوب پارامترها به آسانی میسر گردید. به منظور دستیابی آسان‌تر به این پارامترها و نیز تعیین ترکیب مؤثر در واسنجی ضرایب شبکه عصبی مصنوعی از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی استفاده گردیده است. به منظور بهینه‌سازی تابع هدف یا حداقل نمودن خطای کل داده‌های شبیه‌سازی و تخمین زده شده از رابطه شماره (۱) استفاده شده است:

$$F = \min imize(MSE) \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، f تابع هدف می‌باشد.

قابل ذکر است که در تدوین ساختار شبکه عصبی در هر دو دشت، از دو نوع شبکه عصبی MLP و GFF، همراه با سه الگوریتم آموزش مومنتم، لونبرگ مارکوات و شیب مزدوج و دو نوع تابع انتقال Tan Axon و Sig Axon استفاده شد. بعد از ساختن بهترین مدل شبکه عصبی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی وزن-ها و سایر پارامترهای شبکه عصبی به منظور ترکیب با خروجی‌های حاصل از تخمین روش زمین آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از رسم هیدروگراف واحد هر یک از دشت‌ها در دوره‌ی آماری مورد مطالعه در جدول (۱) ذکر شده است. برای مقایسه تخمین حاصل از روش‌های زمین آماری و کاربرد در روش ترکیبی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، داده‌های سطح ایستابی در ماه‌های متوسط سطح آب برای هریک از دشت‌ها انتخاب شد.

نتایج حاصل از برازش مدل‌های نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل بر داده‌های مورد مطالعه در هر یک از دو دشت دزفول و زیدون در جدول (۲) ذکر شده است. قابل ذکر است که در این پژوهش از چهار نوع نیم‌تغییرنمای گوسین، نمایی، کروی و خطی استفاه شد. با توجه به معیارهای ارزیابی محاسبه شده، مدل

1- Range of Influence
2- Residual Sums of Squares
3- Proportion
4- Mean Absolute Error
5- Mean Bias Error
6- Root Mean Square Error
7- Diamantopoulou *et al.*

Archive of SID
www.SID.ir

نیم‌تغییرنما گوسین، بهترین مدل برای برازش بر داده‌های سطح ایستابی هر دو دشت مورد مطالعه می‌باشد.

بعد از تعیین و برازش بهترین توابع نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل، با استفاده از روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ بلوکی (با کریجینگ معمولی) و روش عکس فاصله اقدام به تخمین سطح ایستابی در دشت‌های مورد مطالعه گردید. سایر مشخصات روش‌های زمین آماری مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۳) ذکر شده است. شایان ذکر است که نتایج ارائه شده در جدول ۳ با استفاده از روش سعی و خطا به نحوی تعیین گردیده‌اند، که روش زمین آماری مورد استفاده دارای بهترین تخمین باشد. نتایج حاصل از تخمین سطح ایستابی با استفاده از روش‌های زمین آماری ذکر شده با مشخصات جدول (۳)، در دو دشت مورد مطالعه، مطابق جدول (۴) می‌باشد.

جدول ۱- نتایج حاصل از رسم هیدروگراف واحد دشت‌های مورد مطالعه

وضعیت / دشت	حداقل سطح آب	متوسط سطح آب	حداکثر سطح آب
دشت دزفول	مردادماه ۱۳۸۸	مردادماه ۱۳۸۷	مهرماه ۱۳۸۵
دشت زیدون	مهرماه ۱۳۸۸	شهریورماه ۱۳۸۶	فروردین‌ماه ۱۳۸۶

جدول ۲- مشخصات مدل‌های نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل انتخاب شده برای ماه دارای متوسط سطح آب در دو دشت مورد مطالعه

دشت	ماه	نیم تغییرنما/نیم تغییرنمای متقابل	R^2	RSS	Proportion $\frac{c}{c_0+c}$	Range Parameter (A_0)	Sill (C_0+C)	Nugget (C_0)
دزفول	مردادماه ۱۳۸۷	نیم تغییرنما	۰/۹۹۶	$۱/۵۷\times۱۰^{-۵}$	۰/۹۹۳	۴۸۴۸۰	۰/۲۱۷۲	۰/۰۰۳۶
		نیم تغییرنمای متقابل	۰/۹۹۸	$۲/۱۸۷\times۱۰^{-۵}$	۰/۹۹۳	۷۵۸۶۰	۰/۶۸۴	۰/۰۰۵
زیدون	شهریورماه ۱۳۸۶	نیم تغییرنما	۰/۹۹۵	$۲/۲۶۹\times۱۰^{-۵}$	۱	۵۸۴۵۶/۷۱	۳۳۷۵۰	۰/۲۰۰۲
		نیم تغییرنمای متقابل	۰/۹۹۳	$۴/۷۲۵\times۱۰^{-۵}$	۱	۴۹۹۸۶/۹۸	۲۸۸۶۰	۰/۲۰۰۲

جدول ۳- مشخصات روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در دشت‌های مورد مطالعه

دشت	method	Active Lag Distance	Lag Class Distance Interval*	Radius	Neighbors	Weighting Power
دشت دزفول	Co Kriging	۳۷۵۵۴/۶۲	۴۶۹۹/۷۹	۶۷۵۵۴/۶۲	۴	-
	Kriging	۳۷۵۵۴/۶۲	۴۶۹۹/۷۹	۶۶۲۵۴/۷۸	۳	-
	IDW		-		۶	۳
دشت زیدون	Co Kriging	۲۲۷۴۱/۷۷	۲۲۷۴/۲۸	۲۸۴۲۸/۴۷	۷	-
	Kriging	۲۲۷۴۱/۷۷	۲۲۷۴/۲۸	۲۶۳۵۲/۱۲	۳	-
	IDW		-		۵	۲

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- نتایج حاصل ازدرون‌یابی با استفاده از روش‌های زمین آماری مورداستفاده

دشت	ماه	روش	MAE	MBE (m)	R^2
		کوکریجینگ	۳/۰۳	-۰/۰۸۵	۰/۹۶۲
دشت	مردادماه	کریجینگ	۳/۳۷	-۰/۱۵۳	۰/۹۵
دزفول	۱۳۸۷	عکس فاصله	۴/۱۸	-۰/۴۷	۰/۹۳۲
		کوکریجینگ	۵/۹۸	-۰/۲۲	۰/۸۵
دشت	شهریورماه	کریجینگ	۵/۳۴	۰/۴۷	۰/۸۶۹
زیدون	۱۳۸۶	عکس فاصله	۶/۵	-۰/۹۹	۰/۸۱۷

جدول ٥- مشخصات شبکه اعمال شده روی هر یک از دشت‌های مورد مطالعه

دشت	Direction	Interpolation Rang	Distance Interval (m)	Number of points
دشت دزفول	x	۲۳۳۸۷۰-۲۹۰۲۱۶	۱۴۴۴/۷۷	۴۰
	y	۳۵۴۸۶۳۴-۳۶۰۴۷۳۶	۱۴۳۸/۴۹	۴۰
دشت زیدون	x	۳۹۸۱۷۸-۴۲۲۹۱۴	۵۶۲/۱۸	۴۵
	y	۳۳۵۳۳۶۸-۳۳۶۹۹۷۲	۳۳۸/۸۶	۵۰

بر اساس نتایج ذکر شده درجدول (۴) روش کوکریجینگ در دشت دزفول و روش کریجینگ در دشت زیدون، به عنوان بهترین روش زمین آماری برای تخمین سطح ایستابی می‌باشند و به همین منظور برای ترکیب با شبکه‌های عصبی مصنوعی از این روش‌ها استفاده گردید. در ادامه پس از اعمال یک شبکه ۴۰×۴۰ بر روی دشت دزفول و یک شبکه ۵۰×۴۵ بر روی دشت زیدون، نقاطی از شبکه‌های ایجاد شده که درون هر دشت قرار می‌گیرند، به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب شده‌اند. مشخصات شبکه ایجاد شده روی هر یک از دشت‌ها در جدول (۵) آمده است. لازم به ذکر است که از ۱۶۰۰ نقطه تخمینی توسط روش کوکریجینگ در دشت دزفول، ۹۸۷ نقطه درون مرز این دشت و از ۲۲۰۰ نقطه تخمینی با استفاده از روش کریجینگ در دشت زیدون، ۸۰۵ نقطه درون مرز دشت زیدون بوده و به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب شده‌اند. همچنین جهت جلوگیری از طولانی شدن مطلب، برای بررسی کاربرد روش ترکیبی تخمین‌گرهای زمین آماری با شبکه‌های عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، فقط داده‌های مربوط به ماه دارای متوسط سطح آب در هر دشت مبنای محاسبات قرار گرفت.

در ادامه مختصات نقاط انتخابی از شبکه ایجاد شده هر دشت به عنوان ورودی و سطح ایستابی نقاط را به عنوان خروجی شبکه‌های عصبی انتخاب و اقدام به ساخت و ترکیب این مدل‌ها شد. در دو دشت مورد مطالعه ابتدا مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک ساخته و به کار گرفته شده‌اند و در ادامه از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پارامترهای بهترین ساختار شبکه عصبی انتخاب شده استفاده گردیده است. در سه مرحله آموزش، صحت‌سنجی و آزمایش مدل در دشت دزفول به ترتیب از ۶۰ ، ۱۵ و ۲۵ درصد داده‌ها استفاده گردید که این نسبت برای دشت زیدون به صورت ۶۵، ۱۵ و ۲۰ درصد داده‌های می‌باشد. لازم به ذکر است که تقسیم‌بندی داده‌ها با سعی و خطا تعیین شده است. سایر مشخصات مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در هر یک از دشت‌ها به صورت زیر می‌باشد:

الف) در دشت دزفول، تعداد لایه پنهان ۲، تعداد نرون در لایه پنهان اول و دوم به ترتیب ۸ و ۵ و حداکثر الگوها ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

همچنین در استفاده از قانون آموزش ممنتم در شبکه MLP مقدار ممنتم ۰/۹ به عنوان بهترین مقدار ممنتم و در نوع شبکه GFF مقدار ممنتم ۰/۷ به عنوان مقدار ممنتم مناسب انتخاب شد. نتایج حاصل از تدوین شبکه‌های عصبی مصنوعی در انتخاب نوع شبکه، تابع انتقال و قانون آموزش مناسب با تغییر تابع انتقال و قانون آموزش در هریک از دو نوع شبکه مورد مطالعه در جدول (۶) ذکر شده است. با توجه به نتایج این جدول، شبکه عصبی MLP، تابع انتقال Tan Axon و قانون آموزش لونبرگ مارکوات به عنوان بهترین ساختار در دشت دزفول انتخاب شد.

ب) در دشت زیدون، تعداد لایه پنهان ۱، تعداد نرون در لایه پنهان ۸، حداکثر الگوها ۱۰۰۰، ۰/۹ ممنتم مناسب در هر دو نوع شبکه انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از تدوین ساختار شبکه عصبی در این دشت، شبکه عصبی MLP، تابع انتقال sig Axon و قانون آموزش لونبرگ مارکوات به عنوان بهترین ساختار در دشت زیدون انتخاب شد.

Archive of SID
www.SID.ir

ساختار انتخاب شده با تقسیم‌بندی داده‌ها به صورت ذکر شده، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تلفیق شده است تا مشخصات آن از جمله تعداد لایه پنهان مناسب، تعداد نرون در هر لایه، بهترین تعداد تکرار و وزن‌های بهینه مشخص شود. لازم به ذکر است که مشخصات آموزش شبکه انتخاب شده در ترکیب با الگوریتم ژنتیک دقیقاً همان خصوصیات و پارامترهای هر شبکه در حالت بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در واقع همان‌طور که قبلا ذکر شد هدف از ترکیب و استفاده از الگوریتم ژنتیک کاهش خطا در مرحله آموزش و انتخاب بهینه پارامترهای اولیه می‌باشد. در این تحقیق برای اجرای بهینه‌سازی، از الگوریتم ژنتیک به صورت زیر استفاده شده است:

الف)در دشت دزفول، از تزویج یک نقطه‌ای با احتمال ۰/۹، جهش یکنواخت با احتمال ۰/۰۱، چرخ رولت، تعداد جمعیت ۵۰، حداکثر نسل تولید شده ۱۰۰ و تعداد تکرار ۱۰۰۰ استفاده شد. خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول (۷) و شکل (۵) نشان داده شده است.

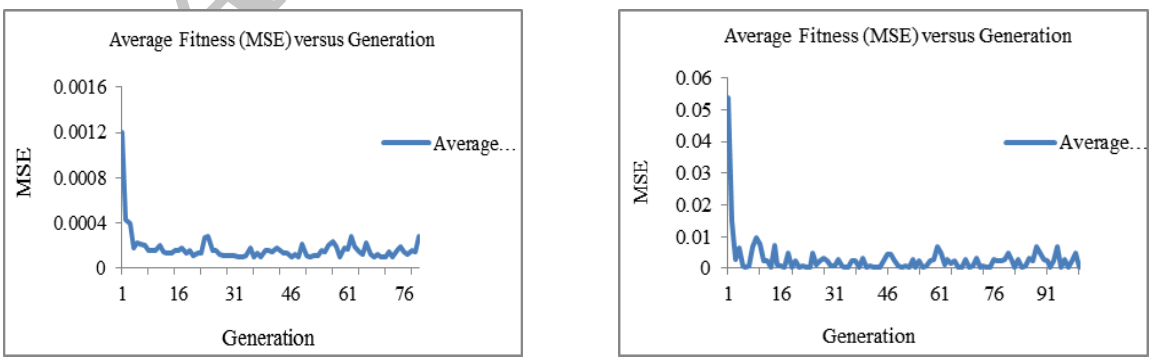
ب)در دشت زیدون، از تزویج یک نقطه‌ای با احتمال ۰/۹، جهش یکنواخت با احتمال ۰/۰۱، چرخ رولت، تعداد جمعیت ۴۰، حداکثر نسل تولید شده ۸۰ و تعداد تکرار ۱۰۰۰ استفاده گردید. خلاصه نتایج حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول (۷) و شکل (۶) نشان داده شده است.

جدول ٦- نتایج حاصل از مراحل آموزش و آزمایش ساختار شبکه عصبی انتخاب شده

دشت	نوع شبکه	تابع انتقال	قانون آموزش	تعداد لایه پنهان	آموزش			آزمایش		
					MSE	MAE	R^2	MSE	MAE	R^2
دزفول	MLP	Tan Axon	لونبرگ مارکوات	۲	۲/۷۲	۱/۰۰۶	۰/۹۹۷	۳/۳۸	۱/۴۷	۰/۹۹۵
زیدون	MLP	Sig Axon	لونبرگ مارکوات	۱	۲/۰۲	۱/۱۹	۰/۹۹۶	۲/۶۷	۱/۹۸	۰/۹۹۴

جدول۷- خلاصه بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی انتخاب شده با الگوریتم ژنتیک

دشت	Optimization Summary	Average Fitness	Best Fitness
دشت دزفول	Generation	۲۹	۲۱
	Minimum MSE	۰/۰۰۰۲۷۹	۰/۰۰۰۲۷۹
	Final MSE	۰/۰۰۰۵۶۴	۰/۰۰۰۲۷۹
دشت زیدون	Generation	۱۸	۸
	Minimum MSE	$۹/۹۹\times۱۰^{-۵}$	$۹/۹۹\times۱۰^{-۵}$
	Final MSE	۰/۰۰۰۲۸۴۶	$۹/۹۹\times۱۰^{-۵}$



شکل۵-خروجی حاصل از بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک در دشت دزفول

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج حاصل از مراحل آموزش و آزمایش ساختارهای انتخاب شده در هر دو دشت، که با الگوریتم ژنتیک بهینه شده است، به صورت جدول (۸) می‌باشد. در ادامه با استفاده از مدل ترکیبی بهینه شده به تخمین سطح ایستابی دشت دزفول (مردادماه۱۳۸۷) و دشت زیدون (شهریورماه۱۳۸۶) پرداخته شد. مطابق نتایج بیان شده در جدول (۹) روش ترکیبی کوکریجینگ- شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (GA-ANN-Co K)، نسبت به روش کوکریجینگ در دشت دزفول و روش ترکیبی کریجینگ- شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (GA-ANN-K) نسبت به روش کریجینگ در دشت زیدون دارای معیارهای ارزیابی مناسب‌تری برای تخمین نقطه‌ای سطح ایستابی می‌باشند. از جمله تفاوت‌های فاحش حاصل از تخمین با استفاده از روش ترکیبی بهینه شده و تخمین با استفاده از روش‌های زمین آماری در هر دو دشت می‌توان به موارد اشاره شده در جدول (۱۰) اشاره کرد.

جدول ۸- نتایج حاصل از مراحل آموزش و آزمایش ساختار بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

دشت مورد مطالعه	آزمایش			آموزش		
	R	MAE	MSE	R	MAE	MSE
دشت دزفول (مردادماه۱۳۸۷)	۰/۹۹۸	۱/۰۷	۲/۱۸	۰/۹۹۹	۰/۸۹	۱/۲۷
دشت زیدون (شهریورماه۱۳۸۶)	۰/۹۹۷	۰/۹۵۶	۱/۵۴	۰/۹۹۷	۰/۸۵	۱/۱۹

جدول ۹- مقایسه تخمین سطح ایستابی با استفاده از روش ترکیبی بهینه شده و روش‌های زمین آماری

دشت مورد مطالعه	روش	RMSE	MAE	MBE (m)	R^2
دشت دزفول (مردادماه۱۳۸۷)	روش ترکیبی با کوکریجینگ	۲/۲۴	۱/۶۸	۰/۰۳۸	۰/۹۹
	کوکریجینگ	۴/۴۸	۳/۰۳	-۰/۰۸۵	۰/۹۶۲
دشت زیدون (شهریورماه۱۳۸۶)	روش ترکیبی با کریجینگ	۱/۰۷۴	۰/۷۹	-۰/۱۱	۰/۹۹۶
	کریجینگ	۵/۳۴	۰/۴۷	۰/۸۶۹	۰/۸۶۹

جدول ۱۰- مقایسه تخمین روش ترکیبی بهینه شده با روش‌های زمین آماری در تعدادی از چاه‌های مورد مطالعه

دشت	مختصات		سطح ایستابی واقعی (متر)	تخمین روش کوکریجینگ/کریجینگ (متر)	تخمین روش ترکیبی (متر)
	y	x			
دشت دزفول (مردادماه۱۳۸۷)	۳۶۰۴۷۳۷	۲۴۹۰۸۷	۱۲۴/۱۶	۱۱۳/۳۴	۱۲۲/۱
	۳۵۶۹۴۴۶	۲۴۶۷۷۵	۹۶/۰۳	۷۸/۱۷	۸۹/۸۷
	۳۵۵۲۷۶	۲۷۷۴۳۳	۳۹/۵۷	۵۱/۰۸	۴۰/۷
	۳۵۵۲۵۴۹	۲۴۸۸۴۷	۷۱/۶۱	۶۲/۱۳	۷۱/۴۵
دشت زیدون (شهریورماه۱۳۸۶)	۳۳۵۸۹۶۲	۴۱۲۷۴۸	۱۱۲/۶	۱۱۹/۶۴	۱۱۲/۳۶
	۳۳۶۲۶۷۰	۴۰۲۴۶۸	۹۷/۰۶	۹۲/۵۷	۹۵/۳۷
	۳۳۶۹۹۷۲	۴۰۱۹۹۹	۷۹/۹۵	۶۹/۵۴	۷۷/۲۶
	۳۳۶۷۰۷۹	۳۹۸۱۷۸	۸۱/۳۹	۹۳/۲۸	۸۲/۶۲

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد روش ترکیبی تخمین‌گرهای زمین آمار با شبکه‌های عصبی مصنوعی بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک در تخمین سطح آب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که، در انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنما و نیم‌تغییرنمای متقابل در هر دو دشت، مدل گوسین به عنوان بهترین مدل انتخاب و دارای معیارهای ارزیابی مناسب‌تری بوده است. این نتیجه با گزارش‌های ذکر شده در بسیاری از تحقیقاتی که به منظور میان‌یابی سطح ایستابی از روش‌های زمین آمار استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. به ترتیب دو روش کوکریجینگ و کریجینگ در دشت‌های دزفول و زیدون به عنوان بهترین روش زمین آماری به منظور تخمین سطح آب زیرزمینی و ترکیب با مدل شبکه عصبی انتخاب گردید. بعد از مقایسه دو نوع شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق، مشخص گردید که شبکه MLP تا حدودی بهتر از شبکه GFF بوده و از بین قانون‌های آموزش مورد استفاده، قانون لونبرگ مارکوات بهتر از دو نوع دیگر عمل می‌کند. بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی انتخاب شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک در هر دو دشت مورد مطالعه مفید واقع شد. با توجه به نتایج ذکر شده در جدول (۸)، تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک، باعث کاهش خطا در فرآیندهای آموزش و به دنبال آن در فرآیند آزمایش شده است. همچنین بررسی ترکیب روش زمین آماری انتخاب شده با بهترین ساختار شبکه عصبی ساخته شده برای تخمین سطح ایستابی در هر دو دشت دزفول و زیدون نشان داد، که این ترکیب باعث بهبود تخمین نقطه‌ای در اکثر چاه‌های مورد مطالعه شده است. با توجه به نتایج حاصل از جدول (۹)، معیارهای ارزیابی روش ترکیبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک مناسب‌تر و بهتر از روش‌های زمین آماری به تنهایی می‌باشد. با توجه با نتایج حاصل از ترکیب روش زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان گفت که این روش ترکیبی برای تخمین سطح ایستابی بسیار مفید و باعث بهبود تخمین نقطه‌ای شده است و به عنوان روشی مناسب در مطالعات مربوط به سطح آب زیرزمینی توصیه می‌شود. البته با توجه به نتایج ذکر شده در جدول (۹)، روش ترکیبی بهینه شده در دشت زیدون کارآمدتر از دشت دزفول می‌باشد. به عبارت دیگر در دشت زیدون یا دشت‌های مشابه، که تعداد چاه‌های مشاهده‌ای کم می‌باشند و یا دارای پراکنش نامنظم در سطح دشت می‌باشند و بنابراین تخمین حاصل از روش‌های زمین آماری دارای خطا می‌باشد، این روش ترکیبی معرفی شده می‌تواند جایگزینی مناسب برای تخمین نقطه‌ای سطح ایستابی باشد. پیشنهاد می‌شود از مدل ترکیبی معرفی شده در میان‌یابی بارش، تخمین نقطه‌ای و منطقه‌ای بارش و همچنین ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی و میان‌یابی سایر پارامترهای مرتبط با آب زیرزمینی استفاده کرد. ترکیب روش‌های زمین آمار با روش‌های نوین دیگر مانند سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی، مقایسه با سایر الگوریتم‌های ترکیبی دیگر و بهینه‌سازی فرآیند تخمین با دیگر روش‌های بهینه‌سازی و ...، ازجمله مباحث مهمی هستند که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده مورد بررسی قرار گیرند.

منابع

۱- آذری، ا. ۱۳۸۷. برآورد میزان بار گاز مصرفی شهر تهران با استفاده از فناوری شبکه های عصبی. نشریه دانشکده فنی، (۸)۴۲: ۹۶۸-۹۶۱.

۲- اصغری مقدم، ا.، ندیری، ع. و الف فیجانی. ۱۳۸۸. پیش‌بینی مکانی غلظت فلوئورید با استفاده از مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و زمین آمار. مجله دانش آب وخاک، (۲) ۱۴۵:۱۲۹-۱۱۹.

۳- حاجی‌هاشمی‌جزی، م.، آتشگاهی، م. و ا. ح. حمیدیان. ۱۳۸۹. برآورد مکانی مولفه‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آمار(مطالعه موردی: دشت گلپایگان). نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، (۴)۶۳ :۳۵۷-۳۴۷.

۴- حسنی پاک، ع. ا. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ ص.

۵- دهقانی، ا.، عسگری ا. و. ا. مساعدی. ۱۳۸۹. مقایسه سه روش شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاجی فازی-عصبی تطبیقی و زمین آمار در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی:دشت قزوین). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(ب-۱): ۵۲۸-۵۱۷.

۶- رحمانی، غ. ر. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت عقیلی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه آن با نتایج مدل ریاضی تفاضلات محدود. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Archive of SID

www.SID.ir

۷- زارعی، ح. و ع. م. آخوندعلی. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های زمین آماری و آمار کلاسیک در ترسیم هیدروگراف واحد آب زیر زمینی. طرح پژوهشی سازمان آب و برق خوزستان. ۷۲ ص.

۸- زمانی، ر. ۱۳۹۱. بررسی کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۹- زهرایی، ب. و س. م. حسینی. ۱۳۸۸. الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی مهندسی. انتشارات گوتنبرگ، ۲۹۸ ص.

۱۰- صادقی‌راد، ر. ۱۳۹۰. تأثیر تطویل آمار در تخمین توزیع مکانی بارش با استفاده از روش‌های زمین آماری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۱۱- محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری جلد دوم (آمار مکانی). انتشارات پلک، ۴۵۳ ص.

۱۲- مسلم‌زاده، م. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی ایستگاه‌های شبکه باران‌سنجی جهت برآورد توزیع مکانی بارش با استفاده از ژئو استاتیستیک و الگوریتم ژنتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز.

13- Amorim, A.M.T., Gonçalves, A.B., Nunes, L.M. and A.J. Sousa. 2012. Optimizing the location of weather monitoring stations using estimation uncertainty. International Journal of Climatology, 32 (6): 941-952.

14- Barcae, E. and G. Passarella. 2008. Spatial evaluation of the risk of groundwater quality degradation: Acomparison between disjunctive kriging and geostatistical simulation. Journal of Environmental Monitoring and Assessment, 133: 261-273.

15- Banerjee, P.R., Prasad, K., and V.S. Singh. 2009. Forecasting of groundwater level in hard rock region using artificial neural network. Environmental Geology, 58 (6):1239–1246.

16- Diamantopoulou, M.J., Antonopoulos, V.Z. and D.M. Papamichail. 2005. The use of a neural network technique for the prediction of water quality parameters of Axios River in Northern Greece. European Water, 11/12:55-62.

17- Ghahreman, B., Hoseini, M. and H. Asgari. 2005. Application of geostatistics in ground water quality. Journal of Technical and Engineering. Amir Kabir University, 55(5): 971-981.

18- Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ghahraman, B., Sadeghi, M., A. Moghaddamnia. 2012. Application of "panel-data" modeling to predict groundwater levels in the Neishaboor Plain, Iran. Hydrogeology Journal, 20 (3):435-447.

19- Kholghi, M. and Hosseini S.M. 2009. Comparison of Groundwater Level Estimation UsingNeuro-fuzzy and Ordinary Kriging. Journal of Environmental Modeling and Assessment, 14(6):729-753.

20- Le, T.M.H., Gallipoli, D., Sanchez, M., S.J. Wheeler. 2012. Stochastic analysis of unsaturated seepage through randomly heterogeneous earth embankments. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 36(8):1056-1076.

21- Maskey, S., Dibike, Y.B., Jonoski, A., and D.Solomatine. 2000. Groundwater model approximation with artificial neural network for selecting optimal pumping strategy for plume removal. In: Workshop Proceedings in Artificial Intelligence Methods in Civil Engineering Applications, pp. 67–80.

22- Mohammadi, K. 2008. Ground water table estimation using MODFLOW and artificial neural networks. Water Science and Technology Library, 68(2):127–138.

Archive of SID

www.SID.ir

23- Steyl, G. 2009. Application of artificial neural networks in the field of geohydrology. University of the Free State, South Africa.

24- Sethi, R.R., Kumar, A., Sharma, S.P., and H.C. Verma. 2010. Prediction of water table depth in a hard rock basin by using artificial neural network. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 2(4):95– 102.

25- Sreekanth, P.D., Geethanjali, N., Sreedevi, P.D., Shakeel, A., Ravi Kumar, N., and P.D. Kamala Jayanthi. 2009. Forecasting groundwater level using artificial neural networks, Current Science, 96(7), 933-939.

26- Uddameri, V. 2007. Using statistical and artificial neural network models toforecast potentiometric levels at a deep well in South Texas. Environmental Geology, 51(6):885–895.

27- Wei, S., Minasny, B., and A. Bratney. 2012. Analysis and prediction of soil properties using local regression- kriging. Geoderma, 171:16-23.

Archive of SID

www.SID.ir