

کارایی شبکه عصبی - فازی در برآورد برخی یون‌ها بر اساس هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی

• نصرالدین پارسافر

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، همدان، ایران (نویسنده مسئول)

• امیر سالارپور

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، همدان، ایران

• انسبیه مرآتی فشی

دانشجوی دکتری منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ دریافت: اسفند ماه ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۳

Email: n.parsafar63@gmail.com

چکیده

در ارزیابی کیفی آب، اندازه‌گیری هر یک از یون‌ها نیاز به زمان و مواد شیمیایی زیادی داشته، در حالی که اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط هدایت‌سنج به سادگی انجام پذیر است. بنابراین در صورتی که بتوان یک رابطه مورد قبول بین هدایت الکتریکی و یون‌های موجود در آب بوجود آورد می‌توان این پارامترها را اندازه‌گیری نمود. لذا در این پژوهش، به منظور کارایی شبکه عصبی - فازی در برآورد کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات و کلراید بر اساس هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار مطالعه‌ای بر روی داده‌های جمع‌آوری شده کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی از دشت مذکور در سال ۱۳۸۱ انجام پذیرفت. نتایج حاصله با روابط رگرسیونی مختلف مقایسه گردید. همچنین جهت تعیین بهترین معادله بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی از فراسنج‌های آماری ضریب همبستگی بین داده‌ها (R^2) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل عصبی - فازی دارای دقت بیشتری نسبت به مدل رگرسیونی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها می‌باشد. بهترین مقادیر R^2 به دست آمده از شبکه عصبی - فازی برای یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، کلراید، سولفات به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۸۶، ۰/۸۴ و ۰/۷۳ بودند. همانطور که مشاهده می‌گردد این شبکه برای تمامی یون‌های مورد مطالعه، دارای ضریب تعیین قابل قبول و قابل اطمینانی می‌باشد. بنابراین بهترین تخمین مربوط به یون سدیم و بدترین برآورد مربوط به یون کلسیم می‌باشد. تحلیل نتایج خروجی شبکه عصبی - فازی نشان داد که این مدل توانایی و دقت بالایی برای برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در دشت همدان - بهار دارد.

کلمات کلیدی: هدایت الکتریکی، کاتیون، آنیون، شبکه عصبی - فازی، روابط رگرسیونی.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 111 pp: 77-86

Estimation of Some Ions Base on Electrical Conductivity Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in Grounwater

By: N. Parsafar: Young Researchers & Elite Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran (Corresponding Author). A. Salarpour: Young Researchers & Elite Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran. E. Merati: Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

In evaluating water quality for measure each of the ion, chemicals material and time is consuming, while measuring the electrical conductivity by conductivity meter is easily. Therefore In order to estimate of the Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , SO_4^{-} and Cl^{-} base on electrical conductivity and developing a simple and rational relationship between some of cations, anions and electrical conductivity at hamedan-bahar plain and comparisons to adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) a study was conducted in year of 2002. The results of this study comparisons with regression models. Determine the optimum Functional relationships parameters by correlation coefficient between data and RMSE was used. The comparisons of regressions and ANFIS results indicate that ANFIS performs more accurate of cation and anion estimates. Base of ANFIN model, the values of R^2 for Ca, Mg, Na, Cl and SO_4 were 0.60, 0.71, 0.86, 0.84 and 0.73. Also, the results showed that the best and worst of estimation between cations, anions and electrical conductivity for Na and Ca were observed, respectively. The analysis of output results from ANFIS model shown that this model has a high accuracy and ability to estimation of cation and anion in hamedan-bahar plain.

Keywords: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Electrical Conductivity, regression, Cations, Anoin.

آنها در آب‌های طبیعی باعث افزایش غلظت این عناصر در آنها می‌شود (Alizadeh, 2001). کلسیم در تمام آب‌های طبیعی وجود داشته و خاک‌ها نیز از نظر کلسیم اشباع می‌باشند. وجود کلسیم در آب باعث افزایش نفوذ آب در خاک می‌شود. منیزیم به مقدار قابل اندازه‌گیری در اغلب آب‌ها وجود داشته و رفتار آن در آب مشابه کلسیم است. سولفات در تمام آب‌های طبیعی به مقدار فراوان وجود دارد. سولفات‌های سدیم، منیزیم و پتاسیم به آسانی در آب حل می‌شوند، اما سولفات کلسیم یا گچ قابلیت انحلال اندکی دارد. سولفات هیچ‌گونه نقش خاصی در خاک نداشته و تنها در بالا بردن شوری کل آن مؤثر است. وجود کلسیم محلول باعث محدودیت حلالیت سولفات می‌گردد (Alizadeh, 2004).

در زمینه استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و عصبی - فازی به منظور پیش‌بینی در جنبه‌های مختلف پژوهش‌هایی صورت گرفته است از جمله: Parsafar and Marofi (2012) در پژوهشی دمای خاک در اعماق مختلف را بر اساس دمای هوا با بهره‌گیری از روابط رگرسیونی، شبکه عصبی و شبکه عصبی - فازی برآورد نمودند نتایج آنها نشان داد که مدل عصبی - مصنوعی دارای دقت بیشتری نسبت به مدل عصبی - فازی در برآورد دمای خاک می‌باشد. دقت مدل رگرسیونی کمتر از این دو روش مشاهده گردید. (Zare Abyaneh et al, 2009) به ارزیابی دقت شبکه عصبی - مصنوعی در پیش-

مقدمه

آب خالص عبارت است از آبی که حاوی مواد معلق و یا محلول نباشد. چنین آبی در طبیعت یافت نمی‌شود. آب طبیعی اعم از آب‌های جاری و یا زیرزمینی حاوی مقادیری املاح است که در حین بارش از طریق هوا و یا در حین نفوذ در خاک و لایه‌های زمین در آب حل شده و به همراه آب حرکت می‌نماید. هدایت الکتریکی عبارت از قابلیت یک محیط در انتقال جریان الکتریسیته است. این خاصیت در اثر وجود یون‌های موجود در آب می‌باشد. واحد اندازه‌گیری هدایت الکتریکی میلی‌زیمنس بر متر است که ممکن است به صورت میکروموس بر سانتی‌متر نیز بیان شود (Alizadeh, 2001). این املاح از انحلال یا هوادیدگی سنگ‌ها و خاک، از جمله انحلال آهک، گچ و سایر کانی‌های کند حل‌پذیر، به وجود آمده‌اند (Hajrasouliha, 2003). در مطالعه‌های بررسی کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی، اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. کاتیون‌های غالب در خاک‌های شور و سدیمی عبارتند از: سدیم، کلسیم، منیزیم و مقدار کمی پتاسیم و آنیون‌های غالب شامل کلراید، سولفات، بی‌کربنات، نیترات و در pH بالا کربنات می‌باشد (Barzegar, 2000). منبع اصلی سدیم آب‌های طبیعی مربوط به هوادیدگی و تجزیه سنگ‌های مختلف می‌باشد. بیشتر پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های خانگی، غنی از سدیم بوده و تخلیه

بلند و ارتفاعات الوند محصور است، با مساحت تقریبی ۹۳۰ کیلومتر مربع در حد فاصل ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا واقع شده، دارای کمترین وسعت در بین دشت‌های منطقه همدان می‌باشد. دشت همدان-بهار در محدوده طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۴ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲ دقیقه واقع شده است. این دشت یکی از دشت‌های اصلی تأمین‌کننده آب شرب و کشاورزی همدان است که به دلیل افت مداوم و کاهش ذخایر آن و روند افزایشی تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، مواد جامد، کاربرد سموم و کودهای شیمیایی در محدوده آن مورد توجه است (Ehsani et al, ۲۰۰۷). در این دشت بخش‌های مرکزی از شهرستان همدان و بخش‌های لالچین، صالح آباد و بخش مرکزی از شهرستان بهار قرار دارد. این دشت بر اساس دیاگرام اقلیمی آمبرژه، در اقلیم نیمه خشک سرد قرار گرفته و دارای آب و هوای سرد کوهستانی می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود، مجموع برداشت سالیانه آب از منابع زیرزمینی دشت برای مصارف مختلف حدود ۳۵۲ میلیون متر مکعب است، که حدود ۳۲۰ میلیون متر مکعب آن توسط چاه‌ها، ۱۹ میلیون متر مکعب آن توسط قنات‌ها و ۱۳ میلیون متر مکعب آن توسط چشمه‌ها بدست می‌آید. این میزان برداشت در سه بخش شرب، کشاورزی و صنعت در سطح دشت به مصرف می‌رسد (Office of Water Resources Studies, ۲۰۰۱).

دشت همدان-بهار با اینکه فقط نه درصد مساحت دشت‌های استان را تشکیل می‌دهد، یکی از مهم‌ترین مراکز تولید محصول‌های استان محسوب می‌شود. شیب عمومی منطقه، جنوبی-شمالی و شمال شرقی-غربی است. عمده‌ترین رودخانه‌های حوضه از کوه‌های الوند سرچشمه می‌گیرند و در قسمت‌های مرکزی دشت به هم پیوسته و رودخانه سیمینه رود را تشکیل می‌دهند. متوسط آبدهی رودخانه مذکور در ۷ سال اخیر برابر ۱/۴۳ مترمکعب در ثانیه بوده که حاکی از کاهش آبدهی ۵۷ درصدی است (Toranjeyan, ۲۰۰۹). موقعیت استان همدان در کشور و دشت همدان-بهار در این استان و همچنین موقعیت چاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد چاه‌ها دارای پراکندگی مناسبی در سطح دشت می‌باشند.

در شکل ۲ نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۱ تهیه گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد کشت گیاهان زراعی دیم و آبی، باغ و مرتع سطح دشت را پوشش داده‌اند. لذا کاربری عمده این دشت کشاورزی می‌باشد. مهم‌ترین محصول‌های زراعی دشت گندم، جو آبی و دیم و پس از آن به ترتیب یونجه، سیب‌زمینی و سیر است.

۲- روش نمونه‌برداری

جهت دستیابی به کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت همدان-بهار، محدوده دشت در بلوک‌های ۲۵ کیلومتری تقسیم گردید. بلوک به طور تصادفی انتخاب گردید و در هر بلوک نزدیک‌ترین اجتماع به‌عنوان ایستگاه‌های ثابت جهت برداشت نمونه انتخاب شد. در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده ماهانه برخی کاتیون‌ها،

بینی تبخیر-تعرق گیاه سیر بر اساس داده‌های لایسیمتری در منطقه همدان پرداختند مقایسه عملکرد شبکه عصبی-مصنوعی با مقادیر لایسیمتری نشان داد که دقت شبکه عصبی-مصنوعی در حد قابل قبولی بوده است. همچنین مشخص گردید که مدل مطلوب شبکه عصبی-مصنوعی در حالت تغییرات افزایشی نسبت به دمای حداکثر هوا، دارای بیشترین حساسیت و نسبت به پارامتر حداقل رطوبت نسبی، کمترین حساسیت را دارد. (Gholizadeh and Darand, ۲۰۱۰) در پژوهشی بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی-مصنوعی در منطقه تهران را پیش‌بینی کردند. نتایج بعد از آزمون شبکه با لایه‌های پنهان و با ضرایب یادگیری مختلف نشان داد که استفاده از این شبکه‌های با یک پرسپترون ۲ لایه پنهان با ضریب یادگیری ۰/۱ و مومنتم ۰/۷ مدل نسبتاً بهتری را ارائه می‌کند.

محققان مختلف به فراخور نیاز خود، سعی در ترکیب دو یا چند الگوریتم فراابتکاری برای شبیه‌سازی داده‌ها در جنبه‌های مختلف داشته‌اند. شاید بتوان به الگوریتم‌های فرا-ابتکاری ترکیبی، مدل‌سازی چندگانه نیز اطلاق نمود. مدل‌سازی چندگانه روشی برای اعمال چند مدل در توصیف نوع فرآیند حاکم، برای حصول نتیجه بهتر است. به عبارت دیگر قرار گرفتن دو مدل فراابتکاری در کنار یکدیگر می‌تواند ما را به سطح بالاتری از توانمندی‌ها در پاسخ‌گویی به نیازهایمان برساند. به عنوان نمونه تلفیق شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک، منجر به برآوردهای مناسب‌تری از مشخصات پرش هیدرولیکی در جریان غیرمادگار نسبت به روش شبکه عصبی شد (Parvaresh Rizi et al, ۲۰۰۶). (Keskin et al, ۲۰۰۹) ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی را در تخمین فرآیند تبخیر موفق‌تر از منطق فازی گزارش کردند.

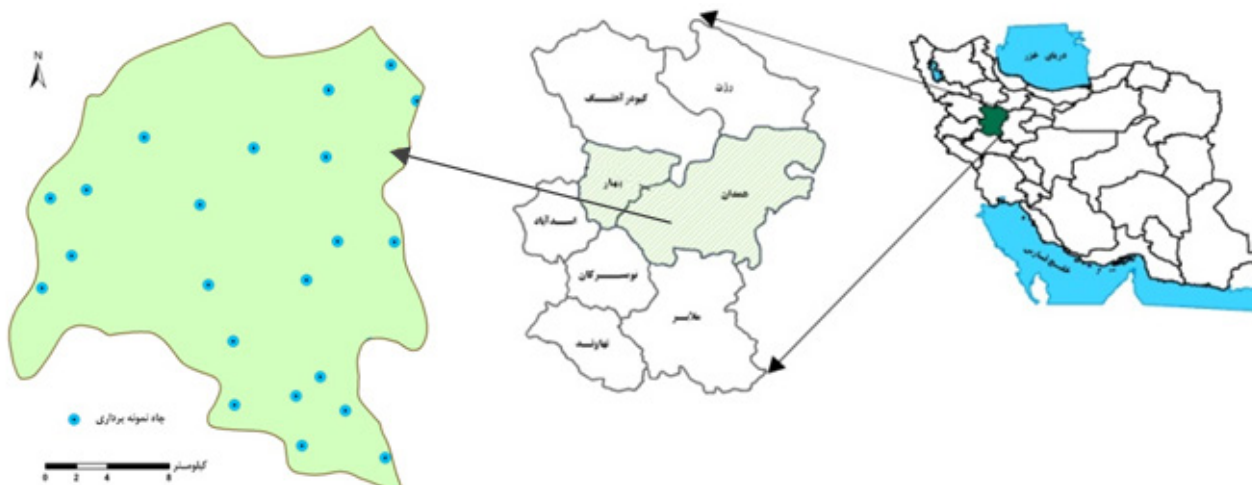
در ارزیابی کیفی آب، اندازه‌گیری هر یک از این‌ها نیاز به زمان و مواد شیمیایی زیادی داشته، در حالی که اندازه‌گیری هدایت الکتریکی توسط هدایت‌سنج به سادگی انجام پذیر است. بنابراین اگر بین هدایت الکتریکی با کاتیون‌ها و آنیون‌ها همبستگی بالایی وجود داشته باشد به راحتی می‌توان مقادیر این فاکتورها را از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برآورد نمود. با این کار هم در زمان و هم در هزینه می‌توان صرفه‌جویی کرد. با توجه به اینکه در این زمینه پژوهش‌های بسیار اندکی صورت گرفته است و با توجه به ارتباطی که بین هدایت الکتریکی و یون‌های موجود در آب وجود دارد، لذا در این پژوهش ارتباط بین هدایت الکتریکی و برخی کاتیون‌ها و آنیون‌های آب چاه‌های دشت همدان-بهار مورد بررسی قرار گرفت. لذا مهم‌ترین اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- بررسی کارایی شبکه عصبی-فازی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد بررسی براساس هدایت الکتریکی. ۲- مقایسه بین پارامترهای مورد بررسی برآورده شده بر اساس شبکه عصبی-فازی ۳- مقایسه بین شبکه عصبی-فازی و روابط رگرسیونی مختلف

مواد و روش‌ها

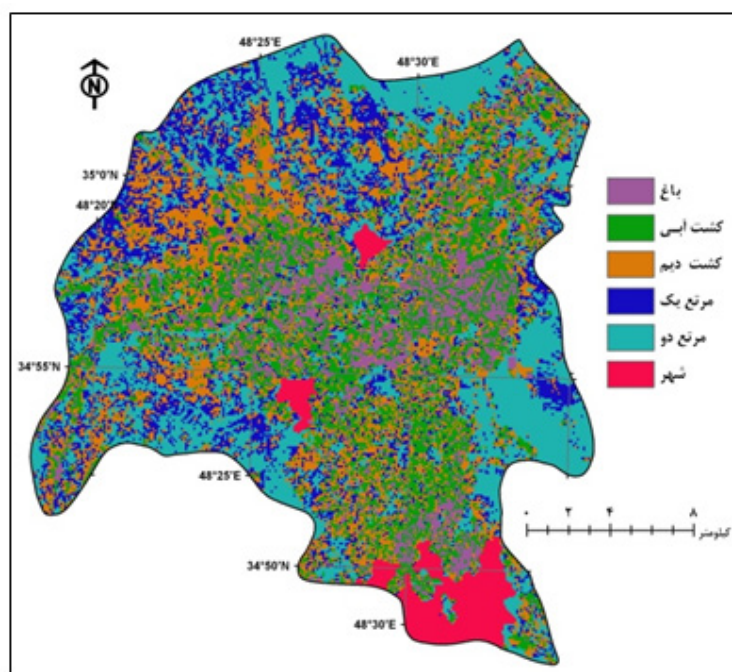
۱- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه و منابع داده‌ها: دشت همدان-بهار در طول دره وسیعی که از دو طرف به کوه‌های

و سدیم و آنیون‌ها شامل کلراید و سولفات بودند. با توجه به صفر بودن مقادیر کربنات و همچنین مقادیر پایین پتاسیم از ارائه این دو یون صرفنظر گردید. همبستگی بین بی‌کربنات و هدایت الکتریکی بسیار پایین مشاهده گردید لذا در این پژوهش برآورد این یون انجام نگردید.

آنیون‌ها و هدایت الکتریکی در سال ۱۳۸۱ در دشت همدان - بهار استفاده گردید. این پارامترها مربوط به ۳۰ حلقه چاه در سال ۱۳۸۱ می‌باشند. این داده‌ها از سازمان محیط زیست استان همدان اخذ شدند. کاتیون‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل کلسیم، منیزیم



شکل ۱- موقعیت استان همدان در نقشهٔ کشوری به همراه دشت همدان - بهار در استان همدان



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی دشت همدان - بهار در سال ۱۳۸۱

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

که در این روابط X_i و Y_i i امین داده واقعی و برآورد شده، \bar{X} و

\bar{Y} میانگین داده‌های X_i و Y_i و n تعداد نمونه‌ها می‌باشند. در این تحقیق از نرم‌افزارهای SPSS16 و Excel2010 جهت محاسبات استفاده گردید.

نتایج و بحث

میانگین و حدود تغییرات کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. همانطور که در این جدول مشهود است بیشترین و کمترین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد بررسی به ترتیب مربوط به کلسیم و سدیم است. و این نشان‌دهنده مقادیر بالای کلسیم در منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در دوره مورد مطالعه می‌باشد. شایان ذکر است که به منظور صحت نتایج اندازه‌گیری آزمایشگاهی، مجموع کاتیون‌ها و مجموع آنیون‌ها محاسبه شدند که مقادیر تقریباً یکسان مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها نشان‌دهنده دقت آزمایش است. در این پژوهش تنها از برخی کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست استفاده گردید.

قبل از انجام محاسبات به منظور نشان دادن میزان همبستگی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی، ضریب همبستگی پیرسون در دشت مورد مطالعه محاسبه گردید که نتایج مربوطه در جدول ۲ ارائه گردیده است. براساس نتایج پژوهش حاضر بیشترین همبستگی بین هدایت الکتریکی و کلراید مشاهده گردید که در سطح یک درصد معنی‌دار است. شایان ذکر است که این همبستگی بسیار نزدیک به همبستگی بین هدایت الکتریکی و یون سدیم می‌باشد. کمترین مقدار همبستگی بین هدایت الکتریکی و منیزیم مشاهده گردید. که در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

۱- مدل‌های رگرسیونی

در جدول ۳ روابط رگرسیونی خطی مرتبه اول بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی ارائه گردیده‌اند. همانطوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی خطی مرتبه اول بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به کلراید و منیزیم می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین هدایت الکتریکی و کلراید نزدیک به ضریب همبستگی بین هدایت الکتریکی و سدیم می‌باشد. بررسی کارایی رگرسیون‌های خطی مورد

هدایت الکتریکی آب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج که دارای یک سلول هادی شامل الکترودهای پلاتینی پوشیده شده با پلاتین سیاه یا کربن می‌باشد، اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری سدیم به روش فتومترش شعله انجام می‌شود. در این روش محلول حاوی سدیم به داخل شعله پاشیده شده و سپس نور منتشره توسط سدیم با نوری که از محلول استاندارد سدیم متصاعد می‌شود، مقایسه می‌گردد و از طریق مقدار یون سدیم تعیین می‌شود. برای اندازه‌گیری مجموع کلسیم و منیزیم روش تیتراسیون EDTA و برای تعیین کلراید روش موهر (Mohr) مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد روش موهر برای تعیین کلراید بدین ترتیب است که در تیتراسیون کلراید نقره با نیترات نقره، محلول در یک نقطه از نظر کلراید نقره اشباع شده و غلظت مساوی یون کلراید و نقره را شامل می‌شود. وقتی کرومات پتاسیم به عنوان معرف اضافه می‌شود، مازاد اندک نقره بصورت کرومات نقره قرمز رنگ رسوب می‌کند. همانطور که مشاهده می‌گردد اندازه‌گیری این پارامترها به جزء هدایت الکتریکی هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشد.

۳- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS)

(Karamouz, et al, ۲۰۰۵) سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی را مدلی توانمند، در طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی با کاربردی موفق در مدل‌سازی و کنترل سیستم‌های پیچیده می‌دانند. روش آموزش اصلی در این سیستم، روش پس انتشار خطا (BP) است که در ترکیب با کمترین مجموع مربعات خطا، روش ترکیبی (Hyb) به دست می‌آید. در مجموع ANFIS، از ساختاری ۵ لایه با تعدادی ورودی تشکیل شده که هر ورودی دو یا چند تابع عضویت دارد. ساختار این سیستم با داده‌های ورودی، نوع تابع عضویت ورودی و خروجی، قوانین و تعداد تابع عضویت انتخاب می‌گردد.

در مدل ANFIS توابع عضویت ورودی شامل: پی‌شکل (Pi)، مثلثی (Tri)، ذوزنقه‌ای (Trap)، زنگوله‌ای شکل (Gbell)، گوسی (Gauss)، گوسی ترکیبی (Gauss2)، دو-سیگموئیدی (Dsig) و حاصل ضرب دو-سیگموئیدی (Psig) و توابع عضویت خروجی شامل: ثابت و خطی می‌باشند. برای تخمین کاتیون‌ها و آنیون‌ها توسط مدل ANFIS با تغییر الگوریتم آموزشی، توابع عضویت ورودی و خروجی و تعداد توابع عضویت در نظر گرفته برای داده‌های ورودی، در آرایش‌های مختلف اجرا گردید. تا بهترین آرایش معرفی گردد.

داده‌ها در سیستم استنتاج عصبی-فازی به صورت دو مجموعه، داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش آماده شدند (Bayat Varkeshi et al, ۲۰۰۹). در این پژوهش به منظور استفاده از مدل ANFIS از نرم‌افزار MATLAB10 استفاده گردید. در این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی مدل ANFIS در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها از معیارهای ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده گردید. روابط مربوط به این آماره‌ها به صورت زیر می‌باشند.

و سدیم مشاهده گردید. این روابط دارای دقت قابل قبول در برآورد کلراید و سدیم و دارای دقت پایین در مورد سایر یون‌ها می‌باشند. تنها نتیجه‌گیری کردن بر اساس ضریب همبستگی نمی‌تواند معیار خوبی باشید به همین دلیل در این پژوهش از پارامترهای خطا نیز جهت تحلیل نتایج استفاده گردید.

نظر بر اساس پارامترهای خطا (جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق) نشان داد که کارایی این روابط رگرسیونی در مورد سدیم و کلراید بهتر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش ضریب همبستگی مقدار این دو پارامتر مذکور روند خاصی نداشتند. به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر آنها به ترتیب در مورد سولفات

جدول ۱- میانگین و حدود تغییرات کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی در دشت همدان - بهار

کاتیون‌ها و آنیون‌ها (mgL^{-1})					هدایت الکتریکی	پارامتر
سولفات	کلراید	سدیم	منیزیم	کلسیم	(میکروموس بر سانتی-متر)	
۲۲۴/۳۸	۶۹/۰۴	۶۱/۵۴	۲۰۷/۰۲	۲۸۱/۸۹	۱۰۴۲/۵۰	میانگین
۲۰/۷۸	۷/۰۰	۶/۲۵	۶۸/۰۰	۱۱۰/۰۰	۱۹۰/۰۰	حداقل
۴۸۶/۰۰	۱۹۱/۰۰	۲۰۶/۴۰	۴۴۱/۰۰	۴۶۲/۰۰	۲۵۴/۰۰	حداکثر
۱۰۶/۳۶	۴۴/۲۷	۴۰/۹۵	۷۴/۱۴	۸۵/۲۰	۳۹۶/۰۲	انحراف معیار

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی در دشت همدان - بهار

کاتیون‌ها و آنیون‌ها (mgL^{-1})					پارامتر
سولفات	کلراید	سدیم	منیزیم	کلسیم	
۰/۷۳۹	۰/۸۵۳	۰/۸۴۷	۰/۶۴	۰/۶۵۸	ضریب همبستگی پیرسون
یک درصد	یک درصد	یک درصد	یک درصد	یک درصد	سطح معنی‌داری

جدول ۳- روابط رگرسیونی خطی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به همراه فراسنج‌های آماری در دشت همدان - بهار

روابطه رگرسیونی	R^2	MAE (mgL^{-1})	RMSE (mgL^{-1})	کاتیون و آنیون
$y = 0/14222x + 133/63$	۰/۴۳۷	۵۰/۱۶	۶۳/۸۵	کلسیم
$y = 0/1209x + 80/947$	۰/۴۱۷	۴۷/۶۴	۵۶/۷۹	منیزیم
$y = 0/0879x - 30/074$	۰/۷۲۲	۱۴/۹۹	۲۱/۵۶	سدیم
$y = 0/0958x - 30/802$	۰/۷۳۴	۱۷/۵۶	۲۲/۸۰	کلراید
$y = 0/2002x + 15/679$	۰/۵۵۶	۵۶/۰۷	۷۰/۸۰	سولفات

Y: یون مورد نظر بر حسب mg/L ; X: هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر

الکتریکی و سدیم می‌باشد. بررسی کارایی رگرسیون‌های خطی مرتبه دوم مورد نظر براساس پارامترهای خطا (جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق) نشان داد که کارایی این معادلات رگرسیونی در مورد سدیم و کلراید بهتر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش ضریب همبستگی مقدار این دو پارامتر مذکور روند خاصی نداشتند. به طوری که بیشترین و کمترین مقادیر آنها به ترتیب در مورد

در جدول ۴ روابط رگرسیونی خطی مرتبه دوم بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی ارائه گردیده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی خطی مرتبه دوم بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به کلراید و منیزیم می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین هدایت الکتریکی و کلراید نزدیک به ضریب همبستگی بین هدایت

بوده است اما با توجه به اینکه این ضریب همبستگی تا حدی نزدیک هم بوده لذا معیار مقایسه را بر اساس پارامترهای خطا قرار دادیم بر اساس این پارامترهای خطا، مدل خطی مرتبه اول دارای مقادیر بسیار کمتری بوده لذا نسبت به رگرسیون خطی مرتبه دوم بهتر جواب داد.

کلسیم و سدیم مشاهده گردید. این روابط دارای دقت قابل قبول در برآورد کلراید و سدیم و دارای دقت پایین در مورد سایر یون‌ها می‌باشند. مقایسه نتایج رگرسیون خطی مرتبه اول با رگرسیون مرتبه دوم نشان داد که ضریب همبستگی مرتبه دوم بالاتر از مرتبه اول

جدول ۴- روابط رگرسیونی درجه دو بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به همراه فراسنج‌های آماری

رابطه رگرسیونی	R ²	MAE (mgL ⁻¹)	RMSE (mgL ⁻¹)	کاتیون و آنیون
$y = -0.00009x^2 + 0.3605x + 15.58$	۰/۵۰۳	۲۲۲/۱	۲۹۱/۶	کلسیم
$y = 0.00003x^2 + 0.4333x + 122.91$	۰/۴۲۸	۸۳/۰	۱۱۳/۱	منیزیم
$y = 0.00002x^2 + 0.8733x - 29.788$	۰/۷۲۲	۱۵/۰	۲۱/۶	سدیم
$y = -0.00002x^2 + 0.1364x - 52.787$	۰/۷۴۳	۴۷/۲	۶۲/۵	کلراید
$y = -0.00007x^2 + 0.3657x - 73.834$	۰/۵۸۰	۱۷۲/۹	۲۲۹/۷	سولفات

۷: یون مورد نظر بر حسب mg/L، x: هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر

روابط خطی توصیه می‌گردد.

۲- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی فازی (ANFIS)

در این پژوهش مدل ANFIS با تابع عضویت ورودی گوسی (Gauss) و تابع عضویت خروجی خطی با روش آموزش ترکیبی (Hyb) با سه تابع عضویت و ۱۰۰۰ تکرار بهترین نتیجه را داد. در جدول ۷ نتایج حاصل از این سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی با ساختار ذکر شده در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منابع آب دشت همدان- بهار ارائه گردیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، با توجه به مقادیر ضریب تعیین و پارامترهای خطا بهترین برآورد مربوط به یون سدیم و بدترین برآورد مربوط به کلسیم بود. همچنین نتایج نشان داد که سیستم عصبی-فازی توانایی خوبی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها براساس هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار دارد و می‌توان با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی مقادیر سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها را تخمین زد. همچنین در این پژوهش کارایی و دقت شبکه عصبی-فازی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها بهتر از روابط رگرسیون مورد بررسی در منابع آب زیرزمینی دشت مذکور مشاهده گردید.

در جدول ۵ روابط رگرسیونی لگاریتمی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی ارائه گردیده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی لگاریتمی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به کلراید و منیزیم می‌باشند. این روابط رگرسیون برای کلراید و سدیم دارای ضریب همبستگی خوب و خطای کم بوده و لذا قابل قبول می‌باشند. در جدول ۶ روابط رگرسیونی نمایی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی ارائه گردیده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین و کمترین ضریب همبستگی نمایی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به سدیم و منیزیم می‌باشند. این روابط رگرسیون برای کلراید و سدیم دارای ضریب همبستگی خوب و خطای کم بوده و لذا قابل قبول می‌باشند. برای بیشتر یون‌ها رگرسیون نمایی در مقایسه با رگرسیون‌های لگاریتمی و خطی مرتبه دوم دارای خطای کمتری می‌باشد و در مقایسه با رگرسیون خطی مرتبه اول دارای خطای بیشتری است. مقایسه روابط رگرسیونی مورد بررسی نشان داد که تمامی این روابط رگرسیون دارای برآورد مناسب برای دو یون سدیم و کلراید می‌باشند. اما با توجه به سادگی او سهولت استفاده،

جدول ۵- روابط رگرسیونی لگاریتمی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به همراه فراسنج‌های آماری

رابطه رگرسیونی	R ²	MAE (mgL ⁻¹)	RMSE (mgL ⁻¹)	کاتیون و آنیون
$y = 15.076 \ln(x) - 754.97$	۰/۴۷۶	۴۷/۲۱۸	۶۱/۵۷۵	کلسیم
$y = 112.74 \ln(x) - 568.32$	۰/۳۵۲	۴۷/۴۷۲	۵۹/۶۰۹	منیزیم
$y = 83.447 \ln(x) - 512.37$	۰/۶۳۲	۱۷/۱۸۱	۲۴/۸۲۱	سدیم
$y = 92.648 \ln(x) - 568.15$	۰/۶۶۶	۲۰/۲۶۱	۲۵/۵۳۵	کلراید
$y = 20.351 \ln(x) - 117.52$	۰/۵۵۷	۵۶/۰۷۲	۷۰/۶۹۱	سولفات

۷: یون مورد نظر بر حسب mg/L، x: هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر

جدول ۶- روابط نمایی بین کاتیون‌ها، آنیون‌ها و هدایت الکتریکی به همراه فراسنج‌های آماری در دشت همدان - بهار

رابطه رگرسیونی	R ²	MAE (mgL ⁻¹)	RMSE (mgL ⁻¹)	کاتیون و آنیون
$y = 4/7412x^{0.5868}$	۰/۴۹۲	۴۹/۱۰۳	۶۲/۶۰۷	کلسیم
$y = 4/6218x^{0.541}$	۰/۳۷۵	۴۵/۷۲۰	۵۹/۱۶۵	منیزیم
$y = 0/0006x^{1/6358}$	۰/۷۳۹	۱۶/۱۱۸	۲۳/۰۳۵	سدیم
$y = 0/0013x^{1/5521}$	۰/۷۲۲	۱۸/۰۲۵	۲۴/۵۵۲	کلراید
$y = 0/0228x^{1/3131}$	۰/۶۰۲	۵۸/۴۲۶	۷۹/۵۹۰	سولفات

Y: یون مورد نظر بر حسب mg/L, X: هدایت الکتریکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر

مطالعه (Moghaddamnia et al, ۲۰۰۹) و (Bazartseren et al, ۲۰۰۳) به ترتیب در پیش‌بینی میزان تبخیر از تشک و تغییرات سطح آب رودخانه نیز نشان از برتری نسبی ANN نسبت به ANFIS بود. همچنین (Bayat Varkeshi, et al, ۲۰۰۹) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. (Keskin, et al, ۲۰۰۹) ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی را در تخمین فرآیند تبخیر موفق‌تر از منطق فازی گزارش کردند.

نتایج (Gholizadeh and Darand, ۲۰۱۰) نشان داد که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با یک پرسپترون ۲ لایه پنهان با ضریب یادگیری ۰/۱ (یک دهم) و مومنتم (هفت دهم) ۰/۷ مدل نسبتاً بهتری را ارائه می‌کند. (Sabziparvar et al, ۲۰۱۰) نتیجه گرفتند که دقت روش استنتاج تطبیقی عصبی - فازی ۴ درصد بیشتر از روش آماری رگرسیونی در برآورد دمای خاک است. (Parsafar and Marofi, ۲۰۱۲) نشان دادند که مدل عصبی - فازی در برآورد دمای خاک دارای دقت نسبی بیشتری نسبت به مدل رگرسیونی می‌باشد.

جدول ۷- نتایج حاصل از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها

مرحله آموزش		مرحله تست		یون‌های مورد بررسی
R ²	RMSE (mgL ⁻¹)	R ²	RMSE (mgL ⁻¹)	
۰/۶۶	۵۱/۶۵	۰/۶۰	۵۰/۶۵	کلسیم
۰/۶۱	۴۶/۵۰	۰/۷۱	۴۰/۹۰	منیزیم
۰/۷۵	۲۰/۷۴	۰/۸۶	۱۷/۳۸	سدیم
۰/۸۲	۱۹/۲۶	۰/۸۴	۱۷/۴۸	کلراید
۰/۶۸	۶۰/۲۵	۰/۷۳	۶۱/۷۵	سولفات

تغییرات کاتیون‌ها و آنیون‌ها مورد مطالعه در دوره مورد نظر در دشت همدان - بهار نشان داد که بیشترین و کمترین مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌های به ترتیب مربوط به کلسیم و سدیم است. و این نشان‌دهنده مقادیر بالای کلسیم در منابع آب زیرزمینی دشت مذکور می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی بین هدایت الکتریکی و کلراید مشاهده گردید که در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. کمترین مقدار همبستگی بین هدایت الکتریکی و منیزیم مشاهده گردید. که در سطح یک درصد معنی‌دار بود. استفاده از روابط رگرسیونی مختلف نشان داد که کارایی این مدل‌ها در برآورد

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به دلیل وجود حجم زیادی از داده‌های جمع‌آوری شده از کمیت و کیفیت منابع آب، استفاده از روش‌های داده‌محور توسعه چشمگیری یافته است. در بین روش‌های داده‌محور، تلفیق شبکه‌های عصبی با سیستم‌های استنتاج فازی، به‌ویژه برای مسائل کیفی منابع آب که دارای رفتار پیچیده و غیرخطی‌اند بسیار حائز اهمیت و کاربردی است. در این پژوهش مقادیر برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر اساس هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار با بکارگیری روش عصبی - فازی برآورد گردید. بررسی

4. Barzegar, R. (2000). Salt - affected soils: Diagnosis and productivity, Shahid Chamran University of Ahvaz press. 280 pages (In Persian).
5. Bayat Varkeshi, M., Zare Abyaneh, H. Marofi, S. Sabziparvar, A.A. and Soltani, F. (2009). Simulation of reference evapotranspiration using Artificial Neural Method and Empirical Methods and comparison with experimental Lysimeter data in cold semi-arid climate of Hamedan. J. of Water and Soil Conservation, Vol, 16, No, 4. pp: 79-100 (In Persian).
6. Bazartseren, B. Hildebrandt, G. and Holz, K. (2003). Short-term water level prediction using neural networks and neuro-fuzzy approach. Neurocomputing, No, 55. pp: 439-450.
7. Ehsani, H.R. Javid, A.H. Hasani, A.H. Shariat, S.M. and Rahmani, A. (2007). Investigation of trend of nitrate and total dissolved solids (TDS) variation in groundwater of Hamadan-Bahar plain by using GIS. 10th National Conference on Environmental Health, Iran, Hamadan (In Persian).
8. Gholizadeh, M.H. and Darand, M. (2010). Forecasting monthly precipitation by using artificial neural networks a case study: Tehran. Physical Geography Research Quarterly, Vol, 42, No, 71. pp: 51- 64 (In Persian).
9. Hagan, M.T. and Menhaj, M.B. (1994). Training feedforward network with the Marquardt algorithm. IEEE Trans on Neural Networks, No, 5. pp: 989-993.
10. Hajrasouliha, Sh. (2003). Water quality for agriculture, Iran university press, Tehran. 264 pages (In Persian).
11. Karamouz, M. Tabesh, M. Nazif, S. and Moridi, A. (2005). Estimation of hydraulic pressure in waterv networks using artificial neural networks and fuzzy logic. Water and Waterwaste, No, 53. pp: 3-14 (In Persian).
12. Keskin, M.E. Terzi, Ö. and Taylan, D. (2009). Estimating daily pan evaporation using adaptive neural-based fuzzy inference system. Theoretical and Applied Climatology, Vol, 98, No, 1-2. pp: 79-87.
13. Moghaddamnia, A. Ghafari Gousheh, M. Piri, J. Amin, S. and Han, D. (2009). Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neurofuzzy inference system techniques. Advances in Water Resources, Vol, 32, No, 1. pp: 89-97.
14. Office of Water Resources Studies, (2001). Report of

بسیاری از یون‌ها در حد قابل قبول نبوده و نمی‌توان از این مدل‌ها با دقت بالا استفاده نمود. همچنین نتایج کاربرد شبکه عصبی- فازی در برآورد کاتیون‌ها و آنیون‌ها نشان داد که در مرحله تست بیشترین ضریب تعیین مربوط به یون سدیم (۰/۸۶) و کمترین ضریب تعیین مربوط به کلسیم (۰/۶۰) مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که مدل عصبی-فازی دارای دقت نسبتاً خوبی در برآورد پارامترهای مورد بررسی می‌باشد. و می‌توان با اطمینان و دقت مناسب این مدل را استفاده نمود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که می‌توان از شبکه عصبی- فازی به عنوان ابزار قدرتمندی در تخمین کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر اساس هدایت الکتریکی در منابع آب زیرزمینی دشت همدان- بهار استفاده نمود. از روش‌های رگرسیونی و شبکه عصبی- فازی می‌توان در تخمین اولیه این پارامترها بهره گرفت و می‌تواند در وقت و هزینه صرفه-جویی نماید. به منظور کارایی بهتر می‌توان در چند دوره اقدام به برداشت داده‌های میدانی نمود و با داده‌های بدست آمده از مدل مقایسه نمود. پیشنهاد می‌گردد که در سایر دشت‌های کشور نیز این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان با اطمینان بیشتر نظر قطعی رو بیان نمود.

پاورقی‌ها

- 1 - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
- 2- Hybrid
- 3- Pi-shaped
- 4- Triangular
- 5- Trapezium
- 6- Generalized bell-shaped
- 7- Gaussian
- 8- Gaussian combination
- 9- Two Sigmoid
- 10- Product of two sigmoiddally
- 11- Constant
- 12- Linear

منابع مورد استفاده

1. Alijani, B. and Ghavidel Rahimi, Y. (2006). Comparison and Prediction of the Temperature Variations of Tabriz with the Global Temperature Anomalies Through the Use of Regression and Artificial Neural Network Methods. Geography and Development Iranian Journal, Vol, 3, No, 6. pp: 21-38 (In Persian).
2. Alizadeh, A. (2001). Principles and practices of trickle irrigation. Emam reza university press, Mashhad. 494 pages (In Persain)
3. Alizadeh, A. (2004). Plant and soil water relationships. Ferdowsi university press, Mashhad. 472 pages (In Persian).

Varkeshi, M. (2010). A model Comparison between Predicted Soil Temperatures Using ANFIS Model and Regression Methods in Three Different Climates. Journal of Water and Soil, Vol, 24, No, 2. pp: 274-285 (In Persian).

18. Toranjeyan, A. (2009). Investigation of vulnerable locations to pollution in Hamedan- Bahar aquifer using GIS. M. Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University. 93 pages (In Persian).

19. Zare Abyaneh, H. Ghasemi, A. Bayat varkeshi, M. and Marofi, S. (2009). Assessment of Artificial Neural Network (ANN) in prediction of garlic evapotranspiration (ETC) with lysimeter in Hamedan. J. of Water and Soil (Agricultural sciences and technology), Vol, 23, No, 3. pp: 176-185 (In Persian).

balance of groundwater resources in Hamadan-Bahar plain for water years 1999-2000, Hamadan Regional Water Company. (In Persian).

15. Parsafar, N. and Marofi, S. (2012). Estimation of Soil Temperature from Air Temperature Using Regression Models, Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Case Study: Kermanshah Region). J. of Water and Soil Conservation, Vol, 21, No, 3. pp: 139-152 (In Persian).

16. Parvaresh Rizi, A. Koochak Zadeh, S. and Omid, M. (2006). Estimating moving hydraulic jump parameters by means of ANN and the integration of ANN and GA. Agricultural Sciences, Vol, 37, No, 1. pp: 187-196 (In Persian).

17. Sabziparvar, A.A. Zare Abyaneh, H. and Bayat

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■