



مدل سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی بر اساس روش های مبتنی بر هوش مصنوعی (مطالعه موردی: دشت زاوه تربت حیدریه)

مرجان حسینی صومعه^۱، علیرضا روشنی^۲ و ایمان ذباح^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران، (نویسنده مسوول: ar.roshani3380@gmail.com)
۳- مربی گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲
صفحه: ۲۲۳ تا ۲۳۵

چکیده

منابع آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع آبی هر کشور می باشد که شناخت صحیح و بهره برداری اصولی از آن می تواند در توسعه پایدار فعالیت های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک نقش بسزایی داشته باشد. پیش بینی نوسان های سطح آب زیرزمینی برای مدیریت آب، امر ضروری می باشد. منطقه مورد مطالعه با گستره ای حدود ۲۵۰۴ کیلومتر مربع در شمال کویر نمک، در جنوب شهر مشهد واقع است. هدف از این پژوهش، مدل سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت زاوه- تربت حیدریه با استفاده از شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا و شبکه عصبی LVQ می باشد. به همین منظور جهت آموزش مدل، از اطلاعات ۱۸ پیژومتر که دارای آمار ۲۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۵) بودند، مستخرج و توسط محققین این پژوهش از سازمان آب منطقه ای استان خراسان رضوی جمع آوری شدند و پس از پیش پردازش، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. هریک از پیژومترها با تاخیر زمانی ۱-۴ (ماه قبل) به صورت ماهانه ثبت شده و در هر پیژومتر، هفت پارامتر، ورودی های سیستم را تشکیل می دهند. جهت ارزیابی خطای سیستم از روش حداقل مربعات خطا (RMSE) محاسبه شده است. مقدار تراز آب زیرزمینی نیز تنها خروجی این شبکه عصبی را شامل می شود. براین اساس نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم های آموزشی Gradient Descent، Gradient Descent with Momentum، Levenberg Marquardt قادر به پیش بینی سطح آب زیرزمینی به صورت ماهانه با دقت ($R^2=0/9810$, $RMSE=0/0012$) در مرحله آموزش و با دقت ($R^2 = 0/9622$, $RMSE=0/0021$) در مرحله آزمون در محدوده مورد مطالعه است.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، سطح ایستابی، دشت زاوه- تربت حیدریه

مقدمه

در طی دهه های اخیر به دلیل افزایش تقاضای آب تجدید شونده، نگرانی های زیادی ایجاد شده و چگونگی استفاده از این منابع به شکل مطلوب، موثر و کارآمد برای تضمین توسعه پایدار، یکی از مهمترین موضوعات مطرح در محافل بین المللی است. منابع آب زیرزمینی همواره یکی از مهمترین و مطمئن ترین منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می رود و استحصال آب از این منابع نسبت به اقلیم های دیگر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بنابراین مدل کردن تغییرات سطح آب های زیرزمینی به منظور پیش بینی سطح ایستابی از نظر ایجاد سازه های مهندسی، مطالعات هیدروژئولوژی و مدیریتی، مصارف کشاورزی و بدست آوردن آب های زیرزمینی با کیفیت بالا، از اهمیت بالایی برخوردار است. اگرچه مدل های فیزیکی و ریاضی ابزار اساسی برای نشان دادن متغیرهای هیدروژئولوژیکی و درک فرآیندهای صورت گرفته در یک سیستم می باشد، اما نیاز آن ها به اطلاعات دقیق و متنوع یکی از مشکلاتی است که هم اکنون مدل سازان با آن مواجه می باشند. از طرفی حجم زیاد محاسبات و زمان طولانی در هر بار اجرای مدل سبب می شود تا استفاده از مدل برای بررسی رویکردهای مختلف بهره برداری زمان بر، دشوار و گاه غیرممکن باشد. در سال های اخیر از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش بینی رفتار آب های زیرزمینی در قالب شبیه سازی و مدل های بهینه سازی استفاده های بسیاری شده است (۱۴). این روش می تواند

گزینه ای مناسب در مدل سازی کمی منابع آب زیرزمینی محسوب شود.

از سوی دیگر، در اغلب مدل های منابع آب، لازم است آبخوان به صورت پیوسته شبیه سازی شود. لذا استفاده از این مدل ها در فرآیند بهینه سازی منجر به افزایش زمان اجرا می شود (۱۴). در دهه های اخیر محققان بسیاری از مدل های هوش مصنوعی از جمله شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان مدلی مؤثر و توانا در پیش بینی سیستم های پیشرفته هیدرولوژی بهره جسته اند که از این میان در مطالعات خارجی می توان به موارد ذیل اشاره نمود: لالهام و همکاران (۹) شبکه عصبی مصنوعی را در جهت ارزیابی تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوانی آهکی در شمال فرانسه به کار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) با حداقل نرون میانی در کوتاه مدت بهترین پیش بینی را انجام می دهد. سربینکت و همکاران (۲۴) تحقیقی در مورد کاربرد شبکه های عصبی در پیش بینی نوسان های زمانی سطح آب زیرزمینی در حوزه آبخیز مهشوارم در هندوستان انجام دادند. این تحقیق موید قابلیت شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی تراز سطح آب زیرزمینی با ریشه میانگین مربعات خطای ۴/۵ متر و ضریب تبیین ۰/۹۳ بود. موهانتی و همکاران (۱۲) به ارزیابی تطبیقی مدل عددی تفاضل محدوده MODFLOW و مدل شبکه عصبی مصنوعی، پیرامون شبیه سازی تراز هفتگی آب های زیرزمینی ۱۸ حلقه پاه پیژومتری درون یک آبخوان آبرفتی واقع در ادیشای هند پرداختند. نتایج حاکی از

سدیدی و همکاران (۲۲) به پیش‌بینی سطح ایستابی آبخوان سرخون واقع در استان هرمزگان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و بهره‌مندی از روش Gradient Descent پرداختند.

به‌منظور آموزش مدل از اطلاعات ۱۰ چاه پیژومتری که دارای آمار ۲۴ ساله بودند استفاده نمودند. نتایج این روش بیان‌کننده این بود که با سیستم عصبی مصنوعی می‌توان تراز سطح ایستابی آبخوان سرخون را برای سال ۱۴۰۰ با کمترین خطا و بیشترین دقت پیش‌بینی نمایند. ذباح و همکاران (۲۷) به پیش‌بینی ماهانه بارندگی شهرستان تربت‌حیدریه با استفاده از روش ترکیب شبکه‌های عصبی پرداختند و نشان دادند که استفاده از چند شبکه و تجمع نظرات آنها بهتر از استفاده از یک شبکه می‌باشد. اکبرزاده و همکاران (۱) پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت شاهرود را با استفاده شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی انجام دادند. در این مدل‌سازی ۸۵ درصد از داده‌ها برای آموزش و از ۱۵ درصد آنها، برای تست مدل استفاده نمودند. براین اساس، نشان دادند که این مدل دارای توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی تراز سطح ایستابی دشت مذکور بوده و لذا این مدل را به‌عنوان ابزاری با سرعت و دقت مناسب برای تصمیم‌گیری مدیریت دشت توصیه نمودند. نیکیخت و نوری (۲۷) در پژوهشی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و الگوریتم پس انتشار خطا، تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت مراغه (آذربایجان شرقی) را پیش‌بینی نمودند. آنها از اطلاعات ۲۰ چاهک مشاهده‌ای که دارای آمار ۱۵ ساله بود در تحقیق خود استفاده نمودند.

در تمام پژوهش‌های فوق نتایج حاکی از آن است که شبکه‌های عصبی مصنوعی بخصوص شبکه‌ها عصبی پرسپترون چندلایه^۱ یا الگوریتم پس انتشار خطا، تابع آموزشی^۲، تابع محرک^۳ و تعداد لایه‌های پنهان مناسب، دارای بیشترین بازدهی، کمترین درصد خطا و توانایی بالا در پیش‌بینی زمانی پدیده‌های هیدرولوژیکی می‌باشند. هدف از انجام این تحقیق، شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت زاوه- تربت‌حیدریه جهت استفاده کاربردی و مدیریت آبی از پارامترهای محاسبه‌شده آبخوان می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی زاوه تربت‌حیدریه با گستره‌ای در حدود ۲۵۰۴ کیلومترمربع (وسعت دشت و ارتفاعات به ترتیب ۱۲۶۰ و ۱۲۴۴ کیلومتر) به طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳ دقیقه شمالی در کویر نمک، در جنوب شهر مشهد واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی چاه‌های پیژومتر این محدوده را نشان می‌دهد.

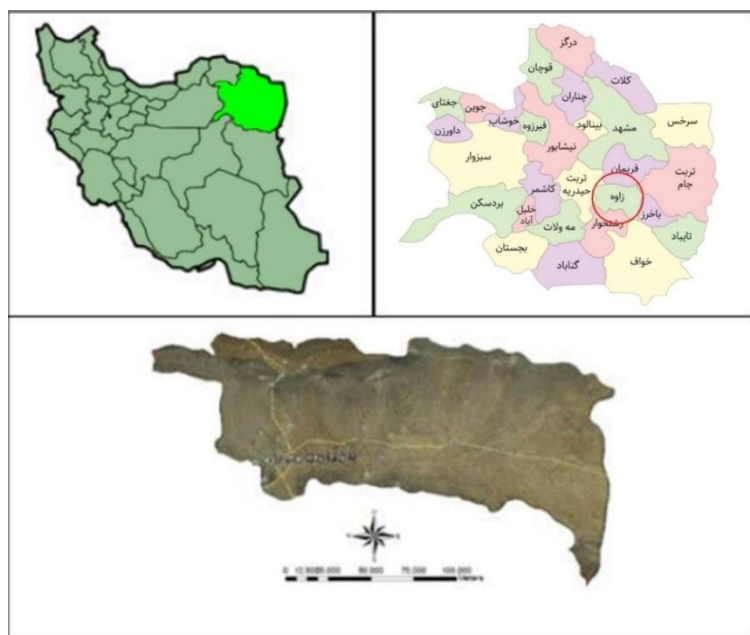
برتری مدل ANN نسبت به مدل عددی بود. بانرجی و همکاران (۲) به مطالعه یک حوضه آبریز کشاورزی در شمال هند پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از پتانسیل چشمگیر شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دقیق تغییرات فصلی آبخوان به‌منظور صرفه‌جویی آب زیرزمینی در مصارف کشاورزی و استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی بوده است.

ازجمله مطالعات داخلی که به‌منظور برآورد سطح آب زیرزمینی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی صورت گرفته است می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود:

اسماعیلی و همکاران (۶) در تحقیقی از سیستم هوشمند شبکه عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه جهت برآورد تغییرات سطح ایستابی آبخوان یزگرد استفاده کردند. آنها برای مدل کردن آبخوان از ۱۰ پارامتر ورودی به عنوان عوامل موثر بر سطح ایستابی استفاده نمودند. به منظور امکان‌سنجی استفاده از شبکه‌های عصبی با ساختار پرسپترون چند لایه در برآورد سطح ایستابی، در مجموع ۲۴ آرایش مختلف شبکه مورد ارزیابی قرار دادند. در هر آرایش، تعداد تکرارهایی که بالاترین مقدار $2R$ را تولید میکرد بعنوان تکرار بهینه‌گزينش گردید. که مقدار $2R$ برابر با $0/9$ ، RMSE برابر با $0/143$ نوسانات سطح ایستابی آبخوان یزگرد را پیش‌بینی نمود و به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید.

ایزدی و همکاران (۷) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و با بهره‌گیری از اطلاعات ۱۵ پیژومتر انتخابی در سطح دشت که دارای آمار بیش از ۱۲ سال بودند، به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور پرداختند. نتایج آزمایش‌های مختلف نشان داد که شبکه عصبی پیشخور آموزش داده شده با الگوریتم مومنتم بهترین روش برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در طی ۶ ماه آینده داشته است.

محتشم و همکاران (۱۳) در دشت بیرجند پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. به منظور آموزش مدل، از اطلاعات ۱۶ پیژومتر که اغلب دارای بیش از ۱۵ سال آمار بودند، استفاده نمودند. آنها از روش شبکه عصبی در دو حالت (برای هر پیژومتر یک شبکه عصبی و یا یک شبکه عصبی برای تمام پیژومترها) انجام دادند. همچنین در نظر گرفتن شبکه برای تک تک پیژومترها به طور مجزا نسبت به اجزای شبکه برای کل پیژومترها از دقت بالاتری برخوردار بود. مختاری و ناظمی (۱۴) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تراز سطح ایستابی دشت شیبستر استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم پس انتشار خطا با تابع آموزشی (Trainlm)، تابع محرک (Tansig) و تعداد دولایه پنهان، دارای بیشترین بازده شبکه، کمترین درصد خطا و توانایی بالایی در پیش‌بینی زمانی پدیده‌های هیدرولوژیکی برخوردار می‌باشد. و این مدل قادر است با دقت بالایی تراز آب زیرزمینی را محدوده مورد مطالعه پیش‌بینی نماید.



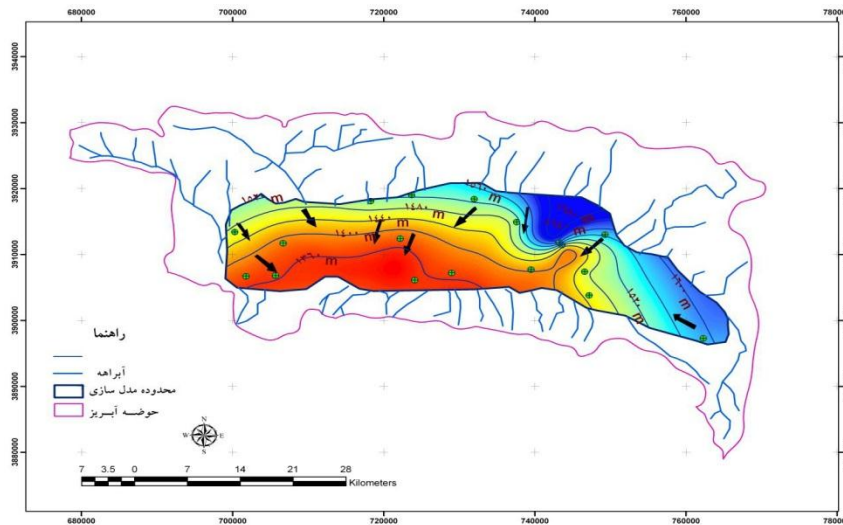
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی تربت‌حیدریه-زاهه
Figure 1. Geometric location of study area of Torbatehidiriya-Zawah

داشته است. در حال حاضر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی دشت زاوه- تربت‌حیدریه یکی از مسائل مهم و اساسی می‌باشد، بدین منظور برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهینه آن لازم است بررسی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود.

بررسی پیژومترها (آمار و اطلاعات)

برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از نتایج اندازه‌گیری ماهانه سطح آب ۲۱ حلقه چاه پیژومتری استفاده شد که از این تعداد، ۱۸ چاه با داشتن آمار نسبتاً طولانی مدت ۲۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۵) که از سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی جمع‌آوری شدند در محدوده مدل‌سازی قرار گرفتند. برای انتخاب پیژومترها، مواردی مانند کامل بودن داده‌ها و پراکنندگی یکنواخت در سطح دشت در نظر گرفته شد. شکل ۲ محدوده پیژومترهای موجود و منتخب منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ارتفاع متوسط این محدوده ۱۶۵۰ متر از سطح دریاست. از نظر آب و هوایی این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه محدوده دشت ۲۷۵ میلی‌متر، تقریباً ۱/۳ میانگین بارندگی جهانی است. تغذیه آبخوان آبرفتی توسط رودخانه‌های کال سالار و شصت دره انجام می‌گیرد (۲۱). در سال‌های اخیر به دلیل کاهش شدید بارندگی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این دشت با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است به طوری که کاهش میزان ۳۵ درصدی بارندگی نسبت به مدت مشابه سال قبل در تربت‌حیدریه در نهایت منجر به کاهش سطح آب زیرزمینی به میزان ۶۱ تا ۱۵۲ سانتی‌متر در طول چند سال گذشته شده است (۲۰). با توجه به اینکه در دشت چاه‌های غیرمجاز زیادی حفر شده که پمپاژ از آن‌ها بر مبنای مطالعات آب زیرزمینی صورت نگرفته است، بنابراین برداشت از سفره آب زیرزمینی بیشترین تأثیر را درافت سطح آب در این منطقه

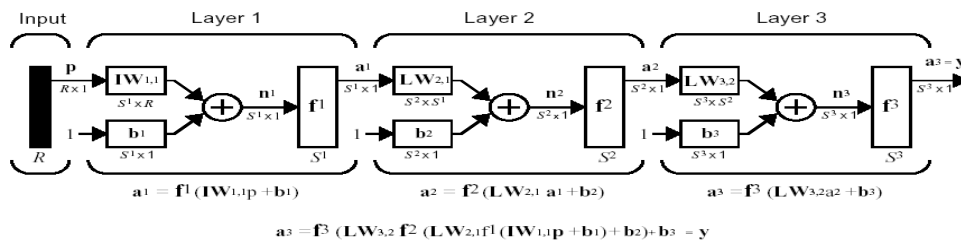


شکل ۲- نمایش محدوده پیزومترهای موجود در سطح دشت زاوه تربت حیدریه
Figure 2. Display of existing piezometers and selected piezometers in the plain

پیش بینی سطح پیزومتر به کمک شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه

نوع دوم سیگنال های خطا هستند که با برگشت از لایه خروجی و منشعب شدن به لایه های پنهانی دیگر محاسبه می شوند. تعداد نرون های لایه پنهان بستگی به نظر طراح شبکه دارد و با سعی و خطا به دست می آید. در صورت کافی نبودن نرون ها، شبکه قادر به ایجاد نگاشت دقیقی بین بردارهای ورودی و خروجی نخواهد بود. در خروجی هر نرون از شبکه (MLP) یک تابع خطی قرار دارد و فرآیند یادگیری در تمام نرون ها و لایه ها صورت می گیرد. همه وزن ها و بایاس هایی که در شبکه قرار دارند در طول فرآیند یادگیری می توانند تغییر کنند. شکل ۳ ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در این پژوهش که از نوع ۳ لایه است را نشان می دهد.

یکی از ساده ترین و کارآمدترین ساختارهای پیشنهادی برای استفاده در مدل سازی عصب های واقعی، مدل پرسپترون چندلایه (MLP) می باشد که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل یافته است. در این ساختار، تمام نرون های یک لایه به تمام نرون های لایه بعد متصل هستند. این چیدمان در اصطلاح یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می دهد. در این شبکه از دو نوع سیگنال استفاده می شود که باهم متفاوت هستند. نوع اول سیگنال هایی هستند که بر اساس ورودی های هر نرون و پارامترهای وزن و تابع محرک نظیرش محاسبه می شوند و



شکل ۳- معماری شبکه عصبی پرسپترون ۳ لایه در این پژوهش
Figure 3. Neutral neural network architecture of 3 layer perceptron in this research

Sgm: نیز تابع سیگموئید است که به صورت زیر طبق رابطه (۲) تعریف می گردد:
(۲)

$$Sgm(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

نرمال سازی داده ها

با توجه به آنکه وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود، لذا در آموزش شبکه،

رابطه ۱ خروجی شبکه در لایه آخر را نمایش می دهد.
(۱)

$$O_i = sgm(\sum_m sgm(\sum_l x_l w_{lm}^h) w_{mi}^o)$$

که در آن h و o: به ترتیب نشان دهنده لایه نهان و لایه خروجی بوده و منظور از W: همان وزن های لایه ها می باشد.

روش تحقیق

در این مطالعه برای پیش‌بینی زمانی تراز آب زیرزمینی در دشت زاوه- تربت‌حیدریه، برای اولین بار اقدام به جمع‌آوری سطوح آب‌های زیرزمینی هریک از چاه‌های این دشت نمودیم. دیتای جمع‌آوری شده تأثیرگذار بر سطح آب زیرزمینی عبارت‌اند از: دما (حداقل و حداکثر)، بارش، تبخیر، معدل نم نسبی رطوبت و تراز آب زیرزمینی هریک از پیژومترها با تأخیر زمانی t_0-1 (ماه قبل) در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۵). جدول ۱ مشخصات چاه‌های پیژومتری را نشان می‌دهد. از آنجایی که ثبت داده‌های مربوط به پیژومترهای مختلف در بازه‌های زمانی متنوع صورت گرفته است، داده‌های گم‌شده در آن‌ها وجود داشت که نیازمند پیش‌پردازش بود. لذا تعداد نمونه‌های ثبت‌شده هر پیژومتر حدود ۴۷۸ نمونه است که از این تعداد ۷۰ درصد نمونه‌ها جهت آموزش شبکه عصبی و ۳۰ درصد باقیمانده جهت آزمون شبکه استفاده شده است. جدول ۲، ۱۰ نمونه رکورد از داده‌های ورودی مربوط به منطقه حشمت‌آباد را نشان می‌دهد. بدین منظور در بخش اول این پژوهش اطلاعات موردنیاز از قبیل داده‌های هواشناسی و هیدرولیکی از ۱۸ پیژومتر جمع‌آوری شده است. در بخش دوم به تجزیه و تحلیل داده و پیش‌پردازش آن‌ها و حذف داده‌های زائد آماری پرداخته‌ایم. در بخش سوم برای مدل‌سازی فرایند به‌منظور پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN استفاده شده است و معماری شبکه عصبی تک لایه و دولایه مورد استفاده از نوع پس انتشار خطا مورد بررسی قرار گرفته است. برای هر یک از پیژومترها حدود ۵۰ شبکه عصبی مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین معماری شبکه به دست آید. هنگام طراحی یک سیستم یادگیر انتخاب‌های فراوانی وجود دارد مانند: نحوه نمایش، پارامترهای یادگیر، داده‌های آموزشی، شکل ۴ الگوریتم مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

نرمالیزه کردن داده‌ها قبل از اعمال شبکه بسیار مهم است. برای پیشگیری از چنین شرایطی و همچنین به لحاظ یکسان کردن ارزش داده‌ها برای شبکه، عمل نرمال‌سازی داده‌ها مطابق رابطه ۳ انجام شد (۱۴).

$$x_n = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

در این رابطه، X : داده‌های نرمال نشده، X_n : داده‌های نرمال شده و X_{min} و X_{max} : حداقل و حداکثر داده‌های ورودی می‌باشند.

ارزیابی دقت مدل

معمولاً دو معیار مختلف به‌منظور ارزیابی کارایی هر شبکه و توانایی آن برای پیش‌گویی دقیق استفاده می‌شود. مجذور خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) که نشانگر میزان بازده شبکه می‌باشد مطابق رابطه (۴) و (۵) محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (-\bar{Y})^2}$$

در این رابطه y_i : نتایج مشاهداتی، \hat{y}_i : نتایج محاسباتی و N : تعداد کل مشاهدات است. RMSE: اختلاف این دو مقدار را نشان می‌دهد. کمترین مقدار RMSE، بالاترین صحت پیش‌گویی را نشان می‌دهد. لذا هرچه این مقدار به صفر و R^2 به یک نزدیک‌تر شود، مدل ارائه‌شده به واقعیت نزدیک‌تر است. در این مطالعه شبکه‌های عصبی مصنوعی متفاوتی، با ساختار پرسپترون چندلایه مورد استفاده قرار گرفتند. پارامترهای ورودی به‌عنوان متغیرهای آن در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات چاه‌های پیژومتری در محدوده مورد مطالعه

Table 1. Profile of observation wells in the study area

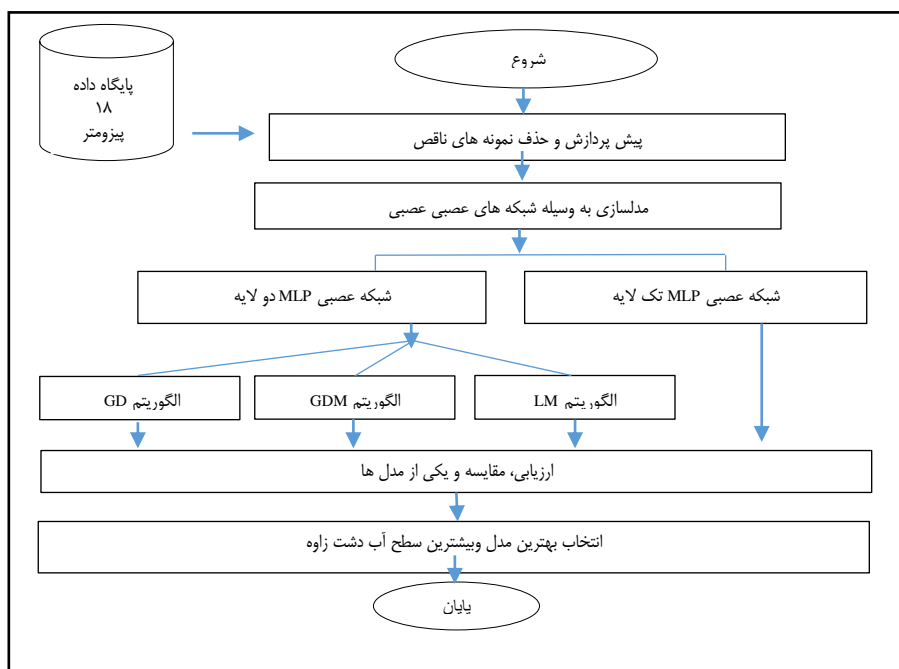
| شماره | نام پیژومتر | تراز (م) | Universal Transverse Mercator (UTM) | | نوع سازند | نوع آبخوان |
|-------|----------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-----------|------------|
| | | | (X) | (Y) | | |
| ۱ | اول شهین آباد | ۱۳۷۳/۰۲ | ۷۲۲۲۰۰ | ۳۹۱۱۲۴۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۲ | جاده کمربندی اسیفوخ | ۱۳۸۵/۶۸ | ۷۰۶۷۰۰ | ۳۹۱۱۷۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۳ | جاده متروکه قلعه آقا حسن | ۱۵۸۷/۱۶ | ۷۶۲۲۸۲ | ۳۸۹۷۲۶۲ | آبرفت | آزاد |
| ۴ | حشمت‌آباد | ۱۵۰۵/۹۴ | ۷۳۷۶۰۰ | ۳۹۱۱۴۹۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۵ | داخل محوطه اداره | ۱۳۷۰/۲۹ | ۷۰۱۸۰۰ | ۳۹۰۶۷۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۶ | دامسک | ۱۳۶۳/۶۵ | ۷۰۵۷۰۰ | ۳۹۰۶۸۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۷ | دولت‌آباد | ۱۳۶۵/۱۱ | ۷۱۹۰۰۰ | ۳۹۰۷۳۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۸ | روستای کلاته سرخ | ۱۵۲۶/۷۸ | ۷۳۳۷۰۰ | ۳۹۱۹۰۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۹ | زاوه پشت مدرسه | ۱۳۵۷/۱۵ | ۷۳۴۱۰۰ | ۳۹۰۶۱۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۰ | سلطان‌آباد مرغزار | ۱۵۶۸/۳۱ | ۷۴۹۳۰۰ | ۳۹۱۱۳۰۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۱ | شهرک ولی عصر، آب قنداب | ۱۴۶۶/۴۳ | ۷۰۰۳۰۰ | ۳۹۱۱۳۴۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۲ | صفی‌آباد دیمزار | ۱۴۰۴/۷۷ | ۷۳۹۵۰۰ | ۳۹۰۷۷۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۳ | عنبرسرا | ۱۵۳۰/۳۱ | ۷۳۲۰۰۰ | ۳۹۱۱۸۴۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۴ | قلعه‌نو صفی‌آباد کنار جاده | ۱۴۶۷/۷۱ | ۷۴۶۶۰۰ | ۳۹۰۷۴۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۵ | کاریزک ناگهانی | ۱۵۱۲/۴۶ | ۷۱۸۳۰۰ | ۳۹۱۱۸۱۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۶ | کنار شهوار کاهیجه | ۱۴۵۱/۱۴ | ۷۴۷۲۰۰ | ۳۹۰۳۸۰۰ | آبرفت | آزاد |
| ۱۷ | مرغزار اول روستا | ۱۴۷۸ | ۷۴۳۵۹۷ | ۳۹۱۱۴۰۰۸ | آبرفت | آزاد |
| ۱۸ | مرغزار جرگه | ۱۵۹۲/۷۸ | ۷۴۳۲۰۰ | ۳۹۱۱۸۰۰ | آبرفت | آزاد |

1- Miss Data

جدول ۲- نمونه ای از داده های ورودی منطقه حشمت آباد راه برزو

Table 2. An example of the entrance pisometers of the Hashmatbad area

| سال | ماه | حد اقل دما | حد اکثر دما | میانگین رطوبت نسبی | بارش | تبخیر | پیزومتر |
|-------|-----|------------|-------------|--------------------|------|-------|---------|
| ۷۵-۷۶ | ۱ | ۳/۷۱ | ۱۲/۶۸ | ۳۸/۸۱ | ۳۱/۵ | ۱۳۶/۹ | ۷۴/۵۸ |
| ۷۵-۷۶ | ۲ | ۷/۵۲ | ۱۸/۱۳ | ۴۶/۴۵ | ۹۰ | ۱۷۳/۹ | ۷۴/۴۸ |
| ۷۵-۷۶ | ۲ | ۸/۴ | ۲۰/۷۹ | ۵۱/۳۹ | ۵۳ | ۱۶۶/۸ | ۷۴/۴۸ |
| ۷۵-۷۶ | ۳ | ۱۴/۴۵ | ۲۵/۹۷ | ۲۸/۳۲ | ۴۳/۵ | ۲۵۷/۴ | ۷۴/۱۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۳ | ۱۴/۲۷ | ۲۶/۳۵ | ۴۴/۲۹ | ۳۱ | ۲۴۰/۶ | ۷۴/۱۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۴ | ۱۷ | ۲۸/۲۴ | ۴۴ | -۱ | ۳۷۶/۱ | ۷۴/۳۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۴ | ۱۹/۶۸ | ۲۹/۸۴ | ۱۸/۸۷ | -۱ | ۴۰۳/۸ | ۷۴/۳۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۵ | ۱۸/۸۷ | ۳۲/۳۱ | ۳۵/۹۴ | -۱ | ۵۲۹ | ۷۴/۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۵ | ۱۷/۹۷ | ۳۰/۸۴ | ۳۳/۵۸ | -۱ | ۳۸۹ | ۷۴/۵ |
| ۷۵-۷۶ | ۶ | ۱۲/۸۷ | ۲۶/۵۸ | ۵۰/۳۵ | -۱ | ۴۰۴ | ۷۴/۶ |



شکل ۴- الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش
Figure 4. The algorithm used in this study

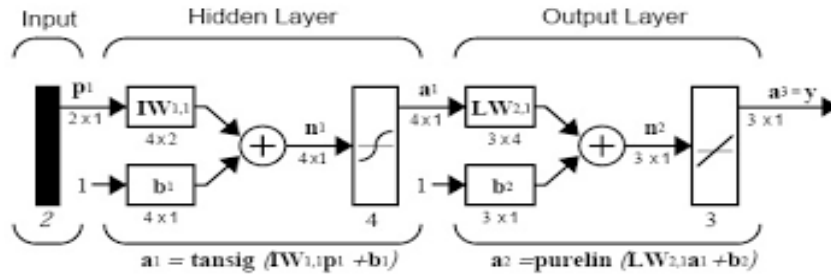
شکل ۵- ب معماری شبکه سه لایه در این پژوهش را نشان می دهد.

برای هر یک از پیزومترها شبکه های عصبی مختلف که تفاوت آن ها در تعداد نرون های لایه میانی است مورد بررسی قرار گرفت.

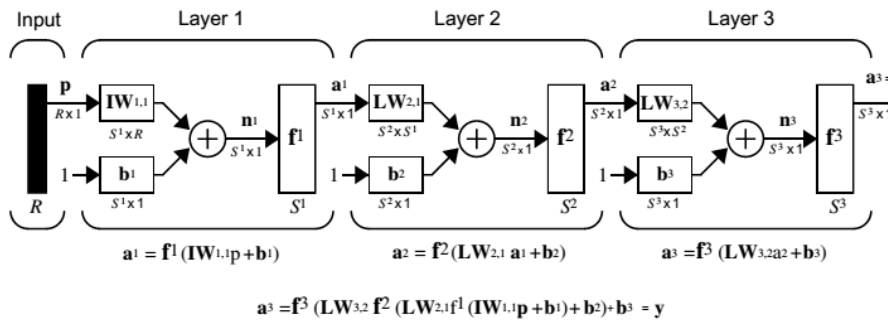
از آنجایی که یک شبکه عصبی پرسپترون ۳ لایه قابلیت تقریب زنی هر نوع تابع غیرخطی را دارا است، این نوع از شبکه عصبی (یک لایه خروجی و دو لایه پنهان) دقیق تر بررسی گردید. این معماری برای پایگاه داده مفروض مورد آزمایش قرار گرفت. بازه تغییرات نرون های لایه مخفی بین ۱۰ تا ۵۰ انتخاب شده است تا بهترین معماری شبکه به دست آید. در تمامی شبکه های فوق از ۷۰٪ داده ها در مرحله آموزش و ۳۰٪ در مرحله آزمون استفاده شده است. شکل های ۶ تا ۱۱ میزان بازدهی شبکه های مختلف درازای تغییرات نرون در لایه مخفی برای پیزومترهای مختلف را نشان می دهد.

هدف از این مطالعه پیش بینی تراز سطح آب پیزومتر کل منطقه زاوه تربت حیدریه است. لذا باید در طراحی شبکه های عصبی ورودی های تأثیرگذار در میزان هر پیزومتر مشخص گردد. در این پژوهش ورودی های شبکه عصبی عبارتند از ۱- ماه، ۲- تبخیر، ۳- حداکثر دما، ۴- حداقل دما، ۵- مجموع باران، ۶- معدل نم نسبی ۷- سطح پیزومتر ماه قبل و تراز سطح آب در گام زمانی فعلی به عنوان خروجی مدل استفاده شده است. از آنجایی که پیزومتر ماه قبل می تواند میانگین حسابی از وضعیت پیزومتر هر چاه باشد لذا می تواند به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده شود.

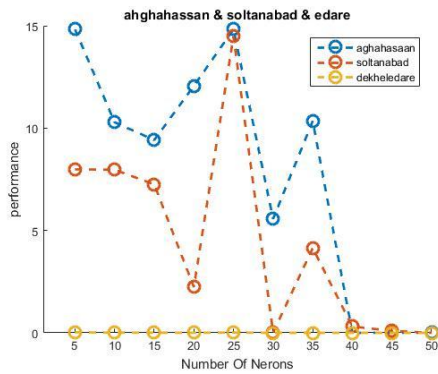
در این مطالعه از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت یافتن نوسانات سطح آب هر پیزومتر استفاده شده است. به گونه ای که ابتدا یک شبکه دو لایه (یک لایه مخفی و یک لایه خروجی) و سپس یک شبکه عصبی سه لایه (دو لایه مخفی و یک لایه خروجی) با مشخصات جدول ۲ طراحی گردید. این معماری شبکه برای پایگاه داده مفروض، مورد آزمایش قرار گرفت. شکل ۵- الف معماری شبکه ۲ لایه و



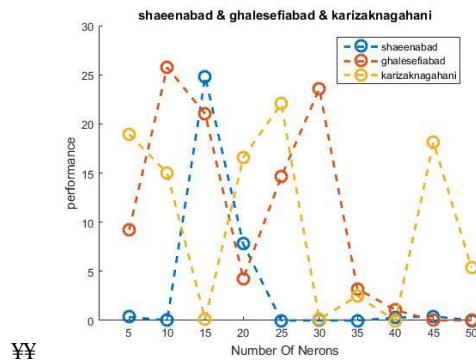
شکل ۵ الف- معماری شبکه عصبی ۲ لایه به منظور پیش‌بینی سطح آب هر یک از پیزومترها
Figure 5 a. Two layers neural network designed to predict the water level in each of piezometers



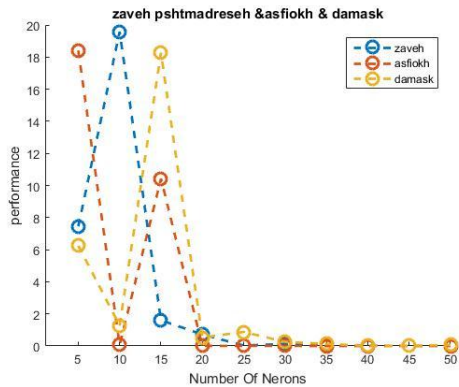
شکل ۵ ب- معماری شبکه عصبی ۳ لایه به منظور پیش‌بینی سطح آب هر یک از پیزومترها
Figure 5b. Three layers neural network designed to predict the water level in each of piezometers



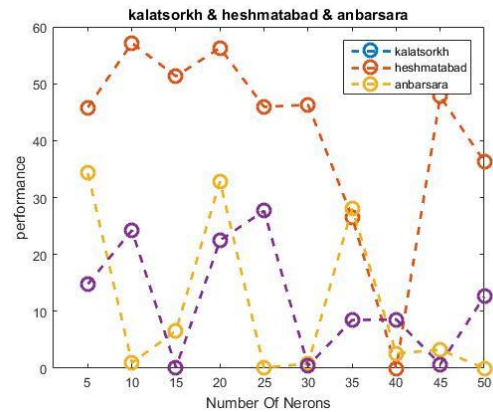
شکل ۷- طراحی شبکه‌های عصبی پیزومترهای (شهن آباد- صفی آباد- کاریزک ناگهانی)
Figure 7. Design of piezometer neural networks (Shahnabad - Safiabad - Sudden Karizak)



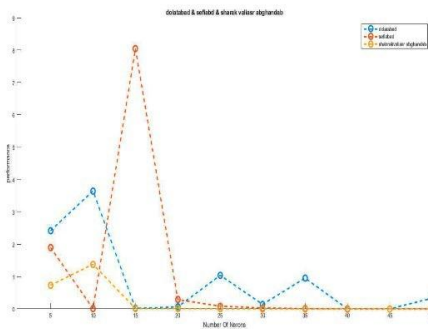
شکل ۶- طراحی شبکه‌های عصبی پیزومترهای (قلعه آقاحسن- سلطان آباد- اداره)
Figure 6. Design of piezometer neural networks (Aghahsan Castle-Sultanabad-Office)



شکل ۹- طراحی شبکه عصبی های عصبی پیزومترهای (کلات سرخ- هشمت آباد- انبرسرا)
Figure 9. Design of piezometer neural network (Red Kalat - Heshmatabad - Anbersara)

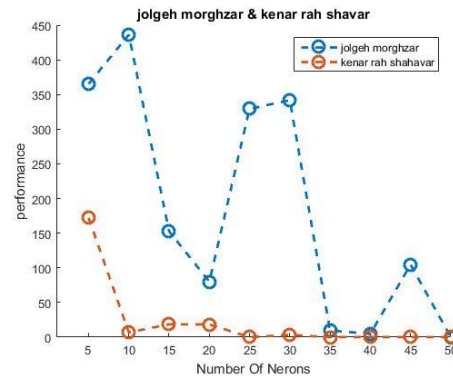


شکل ۸- طراحی شبکه های عصبی پیزومترهای (زاهه- اسفیوخ- دامسک)
Figure 8. Design of piezometer neural networks (Zaveh - Sphyuokh- Damsak)



شکل ۱۱- طراحی شبکه های عصبی پیزومترهای (مرغزار- شهوار)

Figure 11. Design of piezometer neural networks (marghzar-shavar)



شکل ۱۰- طراحی شبکه های عصبی پیزومترهای (دولت آباد - قلعه نو صفی آباد- شهرک ولی عصر)

Figure 10. Design of piezometer neural networks (Dolatabad - New Castle Safi Abad - Shahr Vali Asr)

شبهتر پیش بینی شبکه را با دقت بالای $R^2 = 99/63$ و $RMSE = 1/43$ در مرحله آموزش و $R^2 = 99/16$ و $RMSE = 1/167$ در مرحله صحت سنجی، سیدی و همکاران (۲۲) اطلاعات ۱۰ چاه پیزومتری دشت سرخون را با خطای $RMSE$ بین $0/00125$ تا $0/0509$ و همچنین خطای MEA بین $0/0012$ تا $0/049$ بررسی و نوسانات سطح آب زیرزمینی را پیش بینی نمودند. لذا دریافتند شبکه های عصبی به عنوان روشی کارآمد و مناسب قادر به پیش بینی سطح ایستابی چاه ها می باشد. لازم به ذکر است که در تعیین ساختار پارامترهای ورودی شبکه عصبی پیزومترها به صورت مجزا و همچنین مجموع در نظر گرفته شده و تأثیر پارامترهای دما، بارش، تبخیر و... بر دقت شبکه می افزاید. در این مطالعه خروجی شبکه میزان سطح پیزومتر هر چاه می باشد. به این ترتیب در ابتدا نرمالیزه کردن داده های مراحل آموزش و صحت سنجی برای هر یک از پیزومترها اجرا گردید. از آنجایی که نوع الگوریتم آموزش در صحت عملکرد مدل اهمیت دارد لذا سه الگوریتم مختلف آموزشی شامل لوبنرگ مارکواریت^۱ گرادیان نزولی^۲ و گرادیان نزولی با مومنت^۳

نتایج و بحث

هدف از این مطالعه ارائه مدلی بر اساس سیستم های هوشمند می باشد بطوری که بتواند با دقت مناسب به پیش بینی ماهانه و حتی سالانه مقدار تراز آب زیرزمینی هر یک از چاه های منطقه و در نتیجه سطح آب زیرزمینی کل دشت زاهه- تربت حیدریه پردازد. هدف نهایی یک سیستم شناسایی الگو رسیدن به بالاترین دقت پیش بینی ممکن برای مسئله مورد نظر است. از آنجایی که هیچ الگوریتم پیش گوینده ای وجود ندارد که به تنهایی به طور کامل برای تمام مسائل مناسب باشد، لذا شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان یک راه حل برای افزایش کارایی سیستم های پیش گوینده پیشنهاد شده است. در این خصوص کارایی شبکه های عصبی در نتایج پژوهش های دیگران مشهود بوده به طوری که ایزدی و همکاران (۷) سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور را با دقت مورد نظر $R^2 = 0/937$ و $RMSE = 0/378$ ، محتشمی و همکاران (۱۳) سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند را با دقت $R^2 = 0/99$ و $RMSE = 0/032$ ، اندازه گیری نمودند. همچنین مختاری و همکاران (۱۴) با استفاده از اطلاعات ۱۵ پیزومتر دشت

مارکوارت می‌تواند انتخاب هوشمند تری جهت طراحی شبکه عصبی در فاز آموزش باشد.

در این مطالعه تلاش شده است که اولاً سطح پیژومتر هر چاه در دشت زاوه تربت حیدریه به طور مجزی محاسبه شود؛ دوما علاوه بر پیش‌بینی ماهانه سطح آب هر پیژومتر امکان پیش‌بینی سالانه سطح آب آن پیژومتر وجود دارد. سوماً در این مطالعه پیش‌بینی سطح آب کل منطقه دشت زاوه هم به صورت ماهانه و هم به صورت سالانه صورت گرفته است. مدل ارائه شده در این پژوهش که مبتنی بر معماری شبکه عصبی پرسپترون چندلایه است، قادر است با دقت بالایی تراز آب زیرزمینی را در محدوده مورد مطالعه را پیش‌بینی نموده و از صرف زمان و هزینه‌های مالی بیشتر جهت حفر پیژومترهای زیاد جلوگیری نماید. این پژوهش از نظر روش‌شناسی می‌تواند راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پیش‌بینی زمانی تراز آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها باشد. نتایج حاصل از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی بیانگر قدرت بالای این روش غیرخطی در تخمین پارامترها مورد نظر می‌باشد. جدول ۴ پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در کل دشت زاوه در سال آماری ۱۳۹۵ به عنوان نمونه را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی نوسانات تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفتند. تعداد نرونها در لایه مخفی اول بین ۱ تا ۵۰ نرون متغیر بوده است. جدول ۳ معماری‌های مختلف شبکه عصبی و وضعیت حداقل خطا را نشان می‌دهد.

در جدول ۳ از سه نوع الگوریتم آموزشی گرادیان نزولی و گرادیان نزولی ممتوم و لونیبرگ مارکوورات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی موارد شبکه عصبی با الگوریتم لونیبرگ مارکوورات بهترین نتیجه را در بین سایر الگوریتم‌ها دارد چرا که کمترین خطا و بهترین پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی را برای هر یک از پیژومترها دارد.

به عنوان مثال در مورد شماره ۶ منطقه دامسک مشاهده می‌شود که در استفاده از ۳ نوع الگوریتم مختلف گرادیان نزولی و گرادیان نزولی با مومتوم و الگوریتم لونیبرگ مارکوورات خطاهای بدست آمده به ترتیب ۰/۰۹، ۴/۳۱، ۸/۰۲ می‌باشد. هرچقدر خطای ریشه مربعات خطا به صفر نزدیک تر باشد دقت محاسبات بیشتر خواهد بود، بر این اساس الگوریتم لونیبرگ مارکوورات توانسته است با دقت بیشتری به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی بپردازد.

به طور مشابه در مورد سایر موارد جدول نیز این مساله صحت دارد. لذا این جدول نشان می‌دهد که الگوریتم لونیبرگ

جدول ۴- پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در یک سال آماری برای کل منطقه

Table 4. Predict fluctuations in groundwater level in a statistical year

| سال آماری | مقدار واقعی سطح آب زیرزمینی دشت زاوه Y | مقدار واقعی سطح آب زیرزمینی دشت زاوه T |
|-----------|--|--|
| ۱۳۹۵ | 15907/3 | 15923/1 |

میزان پیژومتر پیش‌بینی شده توسط مدل و ستون t در هر ماه میزان پیژومتر واقعی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال مقدار سطح پیژومتر پیش‌بینی چاه منطقه آسفیوخ در ماه فروردین برابر ۲۵/۸۱ و مقدار واقعی ۲۵/۸۲ به دست آمده است که نشان‌دهنده تفاوت معناداری در اعشاری دارد.

در مطالعه حاضر علاوه بر امکان پیش‌بینی سطح آب دشت، این توانایی نیز وجود دارد که سطح پیژومتر هر چاه نیز به‌تنهایی محاسبه شود. جدول ۵ نمونه‌ای از نتایج به دست آمده توسط مدل ارائه شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد میزان پیژومتر پیش‌بینی شده هر چاه نسبت به مقدار واقعی آن تفاوت در رقم اعشار دارد. ستون Y در هر ماه

جدول ۵- سطح پیش‌بینی شده دشت جلگه زاوه به تفکیک در هر پیزومتر t مقدار واقعی ، y مقدار پیش‌بینی شده

Table 5. The predicted level of Zawah plain - Heidariye plain by resolution in each piezometer t real value, y predicted value

| منطقه | فروردین | | اردیبهشت | | خرداد | | تیر | | مرداد | | شهریور | | مهر | | آبان | | آذر | | دی | | بهمن | | اسفند | | |
|----------------------------|---------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | y | T | y | T | Y | T | y | T | Y | T | Y | T | Y | T | Y | T | Y | t | y | t | y | t | y | t | |
| 1 جاده کمربند آسفویخ | ۲۵/۸۱ | ۲۵/۸۲ | | | ۲۶/۱۲ | ۲۹/۴۱ | ۲۹/۴۸ | ۲۶/۳۲ | ۲۶/۵۹ | ۲۶/۶۴ | ۲۶/۶۷ | ۲۶/۳۶ | ۲۶/۷۱ | ۲۶/۹۳ | ۲۶/۹۵ | ۲۷/۱۸ | ۲۷/۰۴ | ۲۷/۰۴ | ۲۷/۰۶ | ۲۷/۰۸ | ۲۷/۰۹ | ۲۶/۳۵ | ۲۶/۳۶ | ۲۳/۲۷ | ۲۷/۰۱ |
| 2 جاده قلعه آقا حسن | ۷۳/۹۹ | ۷۴ | ۷۵/۴ | ۷۵/۵ | ۷۳/۶۶ | ۷۴ | ۷۴ | ۷۴/۰۷ | ۷۴/۱۲ | ۷۴/۱ | ۷۴/۰۸ | ۷۴/۱۳ | ۷۴/۱۲ | ۷۴/۱۳ | ۷۴/۱۳ | ۷۴/۱۲ | ۷۴/۲۱ | ۷۴/۱۳ | ۷۴/۱۳ | ۷۶/۲ | ۷۶/۲ | ۷۴/۱۶ | ۷۴/۱۷ | ۱۵/۷۴ | ۷۴/۱۵ |
| 3 حشمت‌آباد راه برونو داخل | ۸۶/۹۷ | ۸۶/۹۸ | ۸۷/۰۹ | ۸۷/۰۹ | ۸۷/۳۸ | ۸۷/۲۳ | ۷۸/۴۸ | ۸۷/۳۵ | ۸۷/۶۲ | ۸۷/۴۵ | ۸۷/۶۳ | ۸۷/۵۸ | ۸۷/۶۷ | ۷۸/۶۸ | ۸۷/۷۷ | ۸۷/۷۸ | ۸۷/۸۱ | ۸۷/۸ | ۸۸/۰۶ | ۸۸/۰۶ | ۷۸/۸۸ | ۸۸/۸۷ | ۸۸/۸۶ | ۸۸/۸۶ | ۸۸/۸۶ |
| 4 محوطه اداره | ۱۱/۴ | ۱۱/۴۱ | ۱۱/۷۳ | ۱۱/۷۳ | ۱۲/۴۵ | ۱۲/۴۷ | ۱۲ | ۱۳/۰۱ | ۱۲/۸۳ | ۱۲/۸۲ | ۱۳/۱۲ | ۱۳/۱۴ | ۱۲/۳۷ | ۱۲/۳۷ | ۱۲/۷۹ | ۱۲/۷۹ | ۱۱/۹۵ | ۱۱/۹۵ | ۱۱/۵۵ | ۱۱/۵۵ | ۱۱/۵۷ | ۱۱/۵۸ | ۱۱/۲۸ | ۱۱/۲۸ | ۱۱/۲۸ |
| 5 دامسک | ۳۰/۲۴ | ۳۰/۲۷ | ۳۱/۱۱ | ۳۱/۱۲ | ۳۱/۶۳ | ۳۱/۶ | ۳۱/۷۶ | ۳۱/۷۷ | ۳۱/۹۱ | ۳۱/۸۴ | ۳۱/۹۱ | ۳۲/۰۷ | ۳۲/۱۸ | ۳۲/۱۹ | ۳۱/۹ | ۳۲/۲۴ | ۳۲/۱ | ۳۲/۱۶ | ۳۱/۶۹ | ۳۱/۶۹ | ۳۱/۱۲ | ۳۱/۱۲ | ۳۱/۱۷ | ۳۱/۱۷ | ۳۱/۰۸ |
| 6 دولت‌آباد | ۳۳/۳۹ | ۳۳/۳۷ | ۳۴/۰۱ | ۳۳/۹۹ | ۳۴/۱۹ | ۳۴/۴۹ | ۳۴/۸۵ | ۳۴/۸۸ | ۳۳/۹۷ | ۳۳/۹ | ۳۴/۸۵ | ۳۴/۸۱ | ۳۳/۷۸ | ۳۳/۷۹ | ۳۳/۹ | ۳۳/۹ | ۳۳/۸۸ | ۳۳/۸۷ | ۳۳/۹۶ | ۳۲/۹۶ | ۳۱/۹ | ۳۱/۹۵ | ۳۱/۶۳ | ۳۱/۶۳ | ۳۱/۶۳ |
| 7 زاوه پشت مدرسه | ۳۳/۵۸ | ۳۳/۵ | ۳۳/۵۶ | ۳۳/۵۶ | ۳۳/۹۸ | ۳۴/۱۴ | ۳۵ | ۳۴/۸۳ | ۳۵/۳۸ | ۳۵/۲۷ | ۳۵/۷ | ۳۵/۳۴ | ۳۵/۹ | ۳۵/۸۲ | ۳۵/۹۵ | ۳۵/۹۸ | ۳۳/۵۴ | ۳۳/۶۵ | ۳۴/۱ | ۳۴/۷۳ | ۳۳/۴۱ | ۳۳/۸۷ | ۳۳/۳۳ | ۳۳/۳۳ | ۳۳/۳۳ |
| 8 سلطان‌آباد مرغزار | ۹۴/۱۶ | ۹۴/۱۶ | ۹۴/۲۲ | ۹۴/۲۳ | ۹۴/۱ | ۹۴/۲۹ | ۹۴/۳۴ | ۹۴/۳۷ | ۹۴/۳۷ | ۹۴/۴۳ | ۹۴/۳۵ | ۹۴/۴۹ | ۹۵/۵۴ | ۹۵/۵۴ | ۹۴/۶۶ | ۹۴/۶۶ | ۹۴/۶ | ۹۴/۶۱ | ۹۵/۰۵ | ۹۵/۰۶ | ۹۵/۱ | ۹۵/۱۱ | ۹۴/۶۸ | ۹۴/۶۹ | ۹۴/۶۹ |
| 9 شعبان‌آباد | ۳۲/۷۴ | ۳۲/۶۵ | ۳۳/۵۴ | ۳۳/۵۴ | ۳۴/۱۱ | ۳۴/۲۴ | ۳۴/۷۸ | ۳۴/۷۲ | ۳۵/۵ | ۳۵/۰۱ | ۳۵/۰۸ | ۳۵/۲ | ۳۵/۳۴ | ۳۵/۳۵ | ۳۵/۲۸ | ۳۵/۴۶ | ۳۴/۱ | ۳۵/۲۹ | ۳۳/۴ | ۳۴/۴ | ۳۲/۴ | ۳۳/۶۴ | ۳۳/۱۵ | ۳۳/۱۱ | ۳۳/۱۱ |
| 10 آب قنداب | ۴۸ | ۴۸/۱۱ | ۴۸/۵۳ | ۴۸/۵۳ | ۴۷/۹ | ۴۸/۱۲ | ۴۹/۱۵ | ۴۸/۳۹ | ۴۸/۴۳ | ۴۸/۴۳ | ۴۸/۰۴ | ۴۸/۴۸ | ۴۸/۴۲ | ۴۸/۴۲ | ۴۸/۴ | ۴۸/۴۴ | ۴۸/۲۴ | ۴۸/۲۶ | ۴۸/۱ | ۴۸/۱۱ | ۴۸/۴۱ | ۴۸/۴۲ | ۴۸/۳۴ | ۴۸/۳۴ | ۴۸/۳۴ |
| 11 صفی‌آباد | ۳۹/۲۲ | ۳۹/۴۳ | ۳۹/۵۵ | ۳۹/۴۹ | ۳۹/۱ | ۳۹/۵۸ | ۳۹/۲ | ۳۹/۵۹ | ۴۰/۱۷ | ۳۹/۶۲ | ۳۹/۰۴ | ۳۹/۷۱ | ۳۹/۳۴ | ۳۹/۷۹ | ۳۹/۶۸ | ۳۹/۸۶ | ۳۹/۳۱ | ۳۹/۸۹ | ۴۰/۶۶ | ۳۹/۷۹ | ۳۹/۵۴ | ۳۹/۵۲ | ۳۹/۹۱ | ۳۹/۹۳ | ۳۹/۹۳ |
| 12 غنبرسرا | ۱۱۴/۲ | ۱۱۴/۰ | ۱۴/۷۳ | ۱۱۴/۶ | ۱۱۴/۹ | ۱۱۵/۱ | ۱۱۵ | ۱۱۵/۳ | ۱۱۵/۲ | ۱۱۵/۴ | ۱۱۵/۳ | ۱۱۵/۷ | ۱۱۵/۶ | ۱۱۵/۹ | ۱۱۶/۱ | ۱۱۵/۹ | ۱۱۶/۱ | ۱۱۶/۰ | ۱۱۵/۵ | ۱۱۵/۰ | ۱۱۴/۷ | ۱۱۴/۷ | ۱۱۴/۴ | ۱۱۴/۴ | ۱۱۴/۴ |
| 13 قلعه نو صفی‌آباد | ۷۷/۹۶ | ۷۷/۹۶ | ۷۸/۰۶ | ۷۸/۰۶ | ۷۸/۱۷ | ۷۸/۱۷ | ۷۸/۲۷ | ۷۸/۲۷ | ۷۸/۳۷ | ۷۸/۳۷ | ۷۸/۴۶ | ۷۸/۴۶ | ۷۸/۵۷ | ۷۸/۵۷ | ۷۸/۶۷ | ۷۸/۶۷ | ۷۸/۷۶ | ۷۸/۷۶ | ۷۸/۸۳ | ۷۸/۸۳ | ۷۸/۷۵ | ۷۸/۷۵ | ۷۸/۸۱ | ۷۸/۸۱ | ۷۸/۸۱ |
| 14 کاریزک ناگهانی | ۱۴۸/۷ | ۱۴۸/۷ | ۱۴۸/۰ | ۱۴۹/۰ | ۱۴۹/۴ | ۱۴۹/۳ | ۱۵۰/۰ | ۱۴۹/۴ | ۱۴۹/۴ | ۱۴۹/۶ | ۱۵۰/۸ | ۱۵۰/۸ | ۱۵۰/۱ | ۱۵۰/۱ | ۱۵۰/۷ | ۱۵۰/۷ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ | ۱۵۰/۹ |
| 15 کلاته سرخ کنار راه | ۱۴۷/۳ | ۱۴۷/۴ | ۱۴۷/۱ | ۱۴/۷۳ | ۱۴۷/۲ | ۱۴۷/۹ | ۱۴۷/۸ | ۱۴۸/۰ | ۱۴۸/۷ | ۱۴۸/۱ | ۱۴۷/۵ | ۱۴۸/۳ | ۱۴۸/۷ | ۱۴۸/۰ | ۱۴۸/۳ | ۱۴۸/۶ | ۱۴۸/۵ | ۱۴۸/۷ | ۱۴۸/۵ | ۱۴۸/۷ | ۱۴۹/۹ | ۱۴۸/۵ | ۱۴۸/۲ | ۱۴۸/۲ | ۱۴۸/۶ |
| 16 شهوار کاهپیچه | ۵۸/۸۹ | ۵۸/۹۴ | ۵۹/۲۲ | ۵۹/۲۳ | ۵۹/۱۲ | ۵۹/۴۱ | ۵۹/۳۱ | ۵۹/۵۵ | ۵۹/۹۹ | ۵۹/۷۴ | ۵۹/۵۶ | ۵۹/۹ | ۶۰/۰۳ | ۶۰/۰۴ | ۶۰/۱۲ | ۶۰/۱۲ | ۶۰/۲۱ | ۶۰/۱۸ | ۶۱/۸۲ | ۶۲/۲۳ | ۵۹/۳۱ | ۵۹/۷۲ | ۵۹/۶۵ | ۵۹/۶۸ | ۵۹/۶۸ |
| 17 مرغزار اول روستا | ۸۸/۰۱ | ۸۸/۰۴ | ۸۸/۳۷ | ۸۸/۱ | ۸۷/۵۳ | ۸۸/۱۷ | ۸۹/۷۳ | ۸۸/۳۲ | ۸۷/۹۴ | ۸۸/۴۵ | ۸۸/۲۱ | ۸۸/۵۳ | ۸۹/۲۸ | ۸۸/۴۵ | ۸۸/۵۵ | ۸۸/۵۳ | ۸۸/۶۳ | ۸۸/۶۳ | ۸۸/۶۶ | ۸۸/۶۴ | ۸۸/۴۶ | ۸۸/۷۵ | ۸۸/۷۱ | ۸۸/۷۱ | ۸۸/۷۱ |
| 18 مرغزار جرگه | ۱۶۷/۷ | ۱۶۸/۱ | ۱۶۸/۴ | ۱۶۸/۳ | ۱۶۸/۱ | ۱۶۸/۴ | ۱۶۷/۶ | ۱۶۸/۷ | ۱۶۸/۲ | ۱۶۸/۸ | ۱۶۷/۰ | ۱۶۸/۹ | ۱۶۹/۱ | ۱۶۹/۱ | ۱۶۹/۸ | ۱۶۹/۲ | ۱۶۹ | ۱۶۹/۳ | ۱۶۷/۰ | ۱۶۶/۹۸ | ۱۶۷/۴ | ۱۶۷/۳ | ۱۶۹/۲ | ۱۶۹/۳ | ۱۶۹/۳ |

استفاده گردید. در تکنیک شبکه عصبی، از الگوریتم‌های آموزشی مختلفی از جمله گرادیان نزولی و گرادیان نزولی با مونتیم و لوبنبرگ مارکوارت، استفاده گردید. بردارهای ورودی مختلف بارش و تبخیر، دما (حداکثر، حداقل)، معدل نم نسبی رطوبت، سطح پیژومتر ماه قبل به مدل داده شد. از بین تمام ورودی‌ها و توابع آموزشی مورد استفاده در شبکه، بهترین ورودی سطح آب زیرزمینی با یک ماه تأخیر و توابع آموزشی لوبنبرگ- مارکوارت به دست آمد. سپس اعتبار مدل‌ها با استفاده از روش مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت در بهترین حالت توانستند مقدار RMSE سطح آب زیرزمینی هر پیژومتر و نیز مجموع آن‌ها یعنی سطح آب زیرزمینی کل دشت را با دقت مناسبی در مرحله آموزش (۰/۰۱۲) و در مرحله آزمون (۰/۰۲۱) تخمین زده شوند همچنین میزان R^2 در مرحله آموزش (۰/۹۸۱۰) و آزمون (۰/۹۶۲۲) حاصل گردید.

از آنجاکه پیش بینی سطح آب زیرزمینی امر بسیار مهمی در کشور خشک و کم‌آبی مانند ایران محسوب می‌شود، به همین جهت تحقیقات و مقاله‌های بسیاری در زمینه برآورد سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف کشور انجام شده است. قابل ذکر است که در بسیاری از مقالات از داده‌های ماهانه به‌عنوان داده ورودی استفاده و پیش بینی به صورت ماهیانه انجام گردیده است. شبکه عصبی مصنوعی به دلایل عمده از جمله برخورداری از توانایی تشخیص الگو، کشف رابطه بین ورودی و خروجی، حساسیت کم تر نسبت به نویز در اطلاعات ورودی، فرآیند پردازش به طور کامل موازی، نیاز به تعداد داده‌های ورودی کمتر و روند صحت سنجی و واسنجی سریع تر، قادر به پیش‌بینی و دسته‌بندی با دقت مطلوب است. با این استدلال در تحقیق حاضر به‌منظور پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت زاوه- تربت حیدریه از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با الگوریتم‌های متفاوت

منابع

1. Akbarzadeh, F., H. Hasanpour and S. Imam Gholizadeh. 2016. The prediction of groundwater level in Shahroud plain using artificial radial neural network, Water Management Management Research Center, seventh year, No. 13.
2. Banerjee Chattopadhyaya, P. and R. Rangarajana. 2014. Application of ANN in sketching spatial nonlinearity of unconfined aquifer in agricultural basin. *Agricultural Water Management*, 133: 81-91.
3. Banerjee, P., R.K. Prasad and V.S. Singh. 2009. "Forecasting of groundwater level in hard rock region using artificial neural network." *Environmental Geology*, 58(6): 1239-1246.
4. Chung, Y.W. 2008. Prediction water table fluctuation using artificial neural network, in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, University of Maryland, 185 pp.
5. Coppola, E., M. Poulton, E. Charles, J. Dustman and F. Szidarovszky. 2003. Application of artificial neural networks to complex groundwater management problem, *Natural Resources Research*, 12: 303-320.
6. Esmaili, V., M. Khayate Kholqi and M. Shafiey. 2002. Presentation of an intelligent model for estimating groundwater level fluctuations in an alluvial aquifer using artificial neural network. The first Annual Conference of Iran Water Resources Management, Water Resources Science Forum Tehran Iran, Tehran University.
7. Izadi, A.S., A. Davari, K. Alizadeh, A.B. Qahraman and S.A. Haqaiqi Moqaddam. 2007. Estimation of surface level using artificial neural network, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2: 59-71.
8. Khashei seok, A.S., B. Qahraman and M. Kocheq Kord. 2013. Compared to artificial neural network models, ANFIS, regression In the estimation of aquifer Nishapur, *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 1(7): 10-22.
9. Lallahem, S., J. Mania, A. Hani and Y. Najjar. 2005. On the use of neural networks to evaluate groundwater levels in fractured media. *Journal of Hydrology*, 307: 92-111.
10. Mekanik, F., M.A. Imteaz, S Gato-Trinidad and A. Elmahdi. 2013. Multiple regression and Artificial Neural Network for long-term rainfall forecasting using large scale climate modes. *Journal of Hydrology*, 503, 11-21
11. Mir Arabi, M. 2008. AS. Nakhaie. Prediction of ground water level fluctuations in Birjand plain using artificial neural network, *Proceedings of the Twelfth Iranian Geological Survey*, Ahvaz, pp: 1-8.
12. Mohanty, S., Jha, Madan, K. Kumar Ashwani and D.K. Panda. 2013. Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi-Suru Inter-basin of Odisha, India. *Journal of Hydrology*, 495: 38-51.
13. Mohtasham, M., A. Dehghani, A. Akbarpour, M. Meftah Holghi and M. Eatebari. 2010. Estimation of the level of the station using the Artificial Neural Network of Shabestar Plain, *Journal of Irrigation and Drainage*, Year, No. 1.
14. Mokhtari, Z., A. Nazemi and A. Nadiri. 2012. The prediction of ground water leveling using Shistar plain artificial neural network model, *Geotechnical Geology (Applied Geology)*, 8(4): 345-353.
15. Moslemei, K., S. Emam Oolizadeh and G.H. Karami. 2011. Comparison of artificial intelligence systems ANN and ANFIS in forecasting groundwater level of Bastam Plain Fifth conference of watershed management and soil and water resource management, Kerman, Iran, irrigation and water engineering.

16. Mothakane, A., B. Arabi, H. Shokri and B. Mir Bagheri. 2012. Estimated amount Changes in rainfall estimation using combined techniques of artificial neural networks and geostatistics in the North West of Iran, *Quarterly Journal of Remote Sensing and GIS of Iran*, 16: 37 pp.
17. Nayak, Satyajji Rao, Y.R. and K.P. Sudheer. 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach. *Water Resources Management*, 2(1): 77-99
18. Nikbakht, J. and S. Noori. 2017. Clustering of Observational Wells and Forecasting Groundwater Levels Using Artificial Neural Networks (Case Study: Maragheh Plain). *Water and Soil Knowledge* 27(1): 281-94.
19. Pour Mohammadi, S., H. Malekinejad and V. Pour Sharaani. 2013. Comparison of different methods Vsry time neural network to predict the groundwater level (case study: Sub-basin Bakhtegan Fars Province) *Journal of Water Conservation and Watershed Research*, 20(4): 251-261.
20. Report of Integrated Water Resources Management Studies, Torbat Heydariyeh, Cover two, Meteorology, Khorasan Razavi Regional Water Company, Year, 2014.
21. Report of Integrated Water Resources Management Studies, Torbat Heydariyeh, Cover three, Meteorology, Khorasan Razavi Regional Water Company, Year, 2013.
22. Sadidi, G., M. Kamangar, H. Rezaeian, A.S. Hamidiyan, M. Baaqedeh and H. Aryan Nezhad. 2014. Anticipation of the level weatrar of arid and arid regions using Artificial Neural Network and Gradient Descent method, *Geographical studies of arid regions*, 16: 39-53.
23. Shigidi, A. and L.A. Garcia. 2003. Parameter estimation in groundwater hydrology using artificia neural networks. *J.of Computing in Civil Engineering*, 17(4): 281-289.
24. Sreekanth, P.D. Geethanjali, N. Sreedevi, P.D. Ahmed, Sh.N. Ravi Kumar and P.D. Kamala Jayanthi. 2009. Forecasting groundwater level using artificial neural networks, *Current Science*, 96: 1-7.
25. Taormina, R., Ch. Kwok-wing and S. Rajandrea. 2012. Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in acoastal aquifer system of the Venice lagoon. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25: 1679-1676.
26. Tasaloti, B. 2003. Estimation of groundwater level using mudflow and artificial neural network. Master thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, p. 105.
27. Zabbah, I., A. Roshani and A. Khafage. 2018. Prediction of monthly rainfall using artificial neural network mixture approach, Case Study: Torbat-e Heydariyeh. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(4), 115-126. doi: 10.22059/jesphys.2018.244511.1006941
28. Zamani, N., M. Javaheri Tehrani, S. Eslamian and F. Mousavi. 2016. Simulation of Groundwater Table of Mahyar Plain with Artificial Neural Network Geographic Information System Under Different Scenarios.

Modeling of Groundwater Fluctuations Based on Artificial Intelligence Methods (Case study: Zawah-Torbat Heidarieh plain)

Marjan Hosseini¹, Alireza Roshani² and Iman Zabbah³

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Torbat-e-Heydariyeh, Iran

2- Assistant Professor. Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Torbat-e-Heydariyeh, Iran, (Corresponding author: ar.roshani3380@gmail.com)

3- Department of Computer, Torbat-e-Heydariyeh, Islamic Azad University, Torbat-e-Heydariyeh, Iran

Received: October 10, 2018 Accepted: February 1, 2020

Abstract

Groundwater resources are one of the most important water sources in each country. That proper knowledge and basic exploitation in this field can play a principal role in the sustainable development of the social and economic activities of a region, especially in semiarid and dry areas. The prediction of groundwater level fluctuations for supplying management and exploit Akon of watering is essential the purpose of this research is to predict Zawah-Torbat Heidarieh groundwater level³² fluctuations with a range of about 2054 square kilometers is located in the north of the desert pans on desert flats in, south of Mashhad. In order to training of the model, information from 18 piezometers extracted by the researchers of this study, which had a staggered surface alignment level with a time series of 20 years (1375-1395), was used. Each piezometer is registered on a monthly basis with a delay of t0-1 (last month), and in each piezometer, seven parameters form the system inputs. For process modeling, multi-layer perceptron neural networks with error propagation algorithm and LVQ network are used. The calculation error is calculated using the least squares method (MSE). The amount of groundwater level is also the only output of this neural network. The results of this study showed that the artificial neural network with the Gradient Descent, Gradient Descent With Momentum, Levenberg Marquardt algorithms was able to predict groundwater levels in the monthly interval is (RMSE=0/0012) in the training phase and is (RMSE=0/021) in the testing phase in the study area.

Keywords: Artificial Neural Network, Static Level, Zawah _Torbat-e-heydariyeh Plain