

پیش‌بینی نوسانات سالانه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

دکتر شهرام روستایی^۱، توحید رحیم‌پور^{۲*}، مهسا نخستین‌روحي^۳

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، E-mail: roostaei@tabrizu.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، E-mail: Rahimpour1990@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، E-mail: mahsa.nakhostinrouhi@gmail.com

چکیده

در همه‌ی دنیا و از جمله کشور ما، آب‌های زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، صنعت و شرب محسوب می‌شوند. تعیین کیفیت آب در مدیریت منابع از اهمیت خاصی برخوردار بوده و پایش آن به عنوان یک اصل مهم در برنامه‌ریزی‌ها باید مدنظر قرار گیرد. در این تحقیق، با هدف پیش‌بینی نوسانات سالانه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین، با استفاده از آمار بلند مدت کیفیت آب‌های زیرزمینی اندازه‌گیری شده، توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، شاخص‌های EC (هدایت الکتریکی)، SAR (نسبت جذبی سدیم)، با استفاده از شبکه‌های عصبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پیش‌بینی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی در چاه‌های منتخب محدوده مطالعاتی شیرامین نشان داد که روند تغییرات هر یک از پارامترهای مورد بررسی (EC, SAR) در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است که ادامه همین روند در سال‌های پیش‌بینی توسط مدل تأیید شده است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، EC، SAR، شبکه‌های عصبی مصنوعی، دشت شیرامین

۱- مقدمه

امروزه کیفیت آب‌ها در سراسر جهان به‌ویژه در کشورهای جهان سوم به دلیل فرآیندهای طبیعی و انسانی در حال کاهش است و منابع آب شیرین به‌وسیله‌ی پدیده‌ی شوری تهدید می‌شوند (لی و ژانگ^۱، ۲۰۰۸: ۳۵). افزایش بی‌رویه جمعیت، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش‌ازاندازه از آب‌های زیرزمینی باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور در سال‌های گذشته شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند که برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به‌عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد. در زمینه پیش بینی نوسانات کیفیت آب‌های زیرزمینی مطالعات گوناگونی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است از جمله: درخشان و همکاران (۱۳۹۲)، در تحقیقی به شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در سواحل استان مازندران پرداختند. جهت انجام این تحقیق اطلاعات مربوط به آزمایش‌های کیفی آب در سواحل جنوبی دریای مازندران گردآوری شد و مقادیر کمی عوامل مؤثر در شوری آب زیرزمینی شامل: قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان، شوری آب‌های سطحی، توپوگرافی منطقه و فاصله از دریا برآورد گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در بهترین ساختار شبکه، ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی ۰/۷۵ می‌باشد. کایو و همکاران (۲۰۰۴)، با انتخاب سه شبکه مختلف جهت پیش‌بینی تغییرات کیفی آب زیرزمینی از نظر شوری و غلظت آرسنیک به این نتیجه رسیدند که انتخاب دو داده فصلی ورودی نسبت به یک داده فصلی ورودی در مورد هر پارامتر و یک داده فصلی و پارامترهای بیشتر ورودی مرتبط با شوری و غلظت آرسنیک (۸ ورودی) به نتایج بهتری منجر می‌گردد. ایشان جهت انجام این تحقیق از شبکه پیشرو و الگوریتم BP استفاده کردند. یانگ و همکاران (۲۰۰۹)، دو روش شبکه‌های عصبی و سری‌های زمانی را جهت پیش‌بینی نوسانات ماهانه سطح آب زیرزمینی در استان جیلین چین به کار بردند. بر اساس معیار ضریب تبیین دقت هر دو مدل یکسان ولی بر اساس معیارهایی همچون RMSE و MAE مدل شبکه عصبی بهتر از مدل سری زمانی نشان داده است. فاروک (۲۰۱۰)، مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی و آریمای را در برآورد سری زمانی کیفیت آب حوضه بیوک در کشور ترکیه به کار برد. این بررسی که بر اساس دوره زمانی ۱۰۸ ماهه صورت گرفته، داده‌های همچون DO، دمای آب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان داد که مدل هیبریدی دقت بیشتری نسبت به مدل آریمای و شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارا می‌باشد.

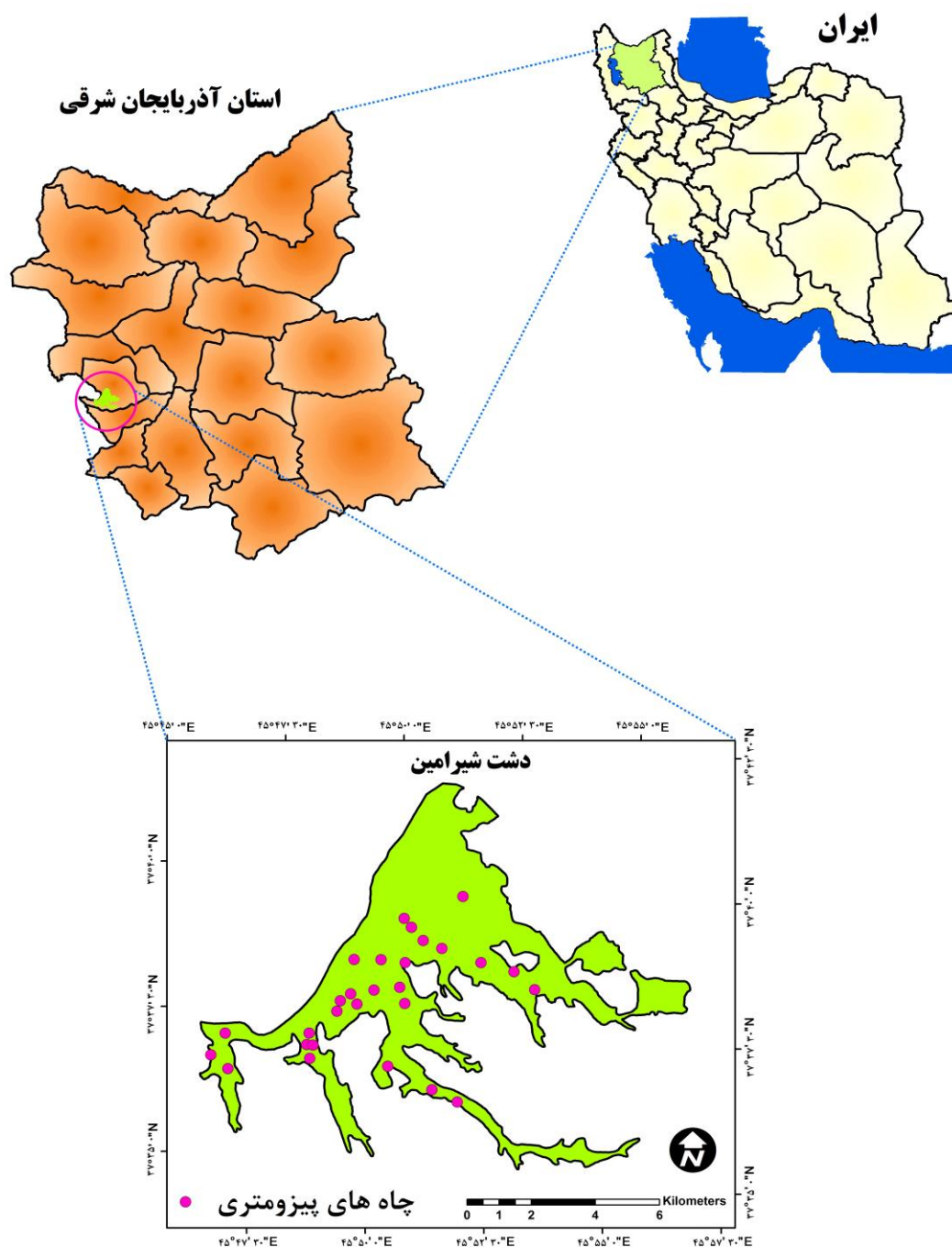
عدم آگاهی از وضعیت کیفی آب‌های زیرزمینی می‌تواند مشکلاتی را در راستای مدیریت منابع آب از لحاظ وضعیت بهداشتی و سلامت مردم و همچنین توسعه‌های موردنیاز در هر منطقه به وجود آورد. از این‌رو آگاهی از وضعیت کیفیت آب‌های زیرزمینی و پایش تغییرات پارامترهای کیفی و کنترل آن‌ها یکی از نیازهای مدیریتی بوده و بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق پیش‌بینی نوسانات سالانه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت شیرامین با وسعتی در حدود ۴۷ کیلومترمربع در قسمت جنوب غربی شهر آذرشهر و شمال غربی شهر عجب‌شیر و قسمت شرق دریاچه ارومیه واقع گشته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۵" ، ۴۰' و ۴۵° تا ۱۰" ، ۰۲' و ۴۶° طول شرقی و ۵۰" ، ۲۸' و ۳۷° تا ۴۰" ، ۴۱' و ۳۷° عرض شمالی واقع شده است. بر پایه گزارش‌های هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه از ۴۰۰ - ۳۰۰ میلی‌متر در سال در تغییر است و گهگاه به ۶۰۰ میلی‌متر در سال نیز می‌رسد و بیشترین بارش

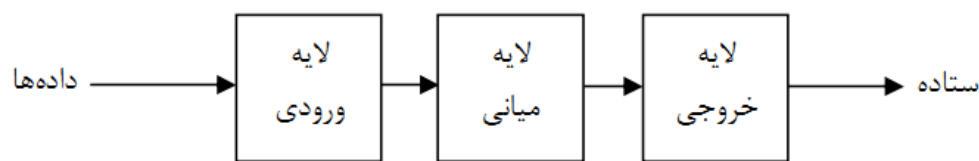
مربوط به ماه‌های اسفند و اردیبهشت می‌باشد. حداکثر ارتفاع دشت ۱۶۹۰ متر و حداقل ارتفاع در نزدیکی خطوط ساحلی برابر ۱۲۶۶ متر از سطح دریا می‌باشد. آب آشامیدنی و آبیاری منطقه به‌طور عمده از آب‌های زیرزمینی (چاه‌ها و قنات) تأمین می‌شود اما در سال‌های اخیر به علت خشک‌سالی‌های متوالی آب بسیاری از چاه‌ها خشک و یا شور شده است. در شکل شماره (۱) موقعیت جغرافیایی دشت شیرامین در کشور و استان آذربایجان شرقی نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و آذربایجان شرقی

۲-۲- روش تحقیق

پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی و به لحاظ روش تجزیه و تحلیل از نوع تحقیقات تحلیلی می‌باشد. در این تحقیق جهت پیش‌بینی تغییرات زمانی متغیرهای کیفی آب‌های زیرزمینی، از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک تابع تخمینگر خودآموز و خود سازگار توانایی زیادی در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی هیدرولوژیکی دارند. این شبکه‌ها روش مؤثری در کار با مقادیر زیاد داده‌های خطا دار، غیرخطی و دینامیکی بالاخص زمانی که روابط فیزیکی حاکم به‌طور کامل معلوم نباشند فراهم می‌نماید. شبکه عصبی دارای یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و حداقل یک لایه پنهانی است، تعداد پرسپترون در هر لایه متفاوت و بستگی به ساختار شبکه و مسئله دارد.



شکل ۲- ساختار کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی

چهار خصوصیت روش شبکه‌های عصبی آن را روش مناسبی برای پیش‌بینی سری‌های زمانی تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌کند. اول آنکه شبکه‌های عصبی خود تطبیق هستند و حداقل فروض پیش‌بینی درباره مسأله مورد مطالعه را دارند. دوم آنکه می‌توانند تعمیم‌یافته و برای پیش‌بینی برون نمونه‌ای عملکرد مناسبی از خود نشان دهند. سوم آنکه تخمین زنده هر تابعی با هر تقریب دلخواه هستند و چهارم آنکه غیرخطی اند. طبیعت ناشناخته و غیرخطی حاکم بر رفتار پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی استفاده از شبکه‌های عصبی را به منظور امر پیش‌بینی برجسته می‌کند. با فرض یک نرون در لایه پنهان در تابع فعال‌سازی شبکه، یک مدل ساده شبکه عصبی به شکل زیر معرفی می‌گردد:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(y_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

در این رابطه $f_i(y_{t-1})$ تابع فعال‌سازی شبکه نامیده می‌شود و اغلب تابع سیگموند و یا تانژانت سیگموند انتخاب می‌گردد. برای نرون‌های بیشتر در مدل تابع فوق تعریف ارائه شده در رابطه فوق قابل تعمیم است. در این تحقیق جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی سری زمانی تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی از شبکه‌های عصبی سه لایه استفاده شده است. شبکه مورد استفاده در این تحقیق شبکه پرسپترون چندلایه است که از شبکه‌های پیش‌خور محسوب می‌شود. در این نوع از شبکه‌ها اطلاعات تنها در یک جهت به سمت جلو حرکت می‌نماید و از طریق نرون‌های ورودی به نرون‌های لایه‌های مخفی و پس‌از آن به نرون‌های لایه خروجی انتقال می‌یابند. الگوریتم یادگیری مورد استفاده در این شبکه از نوع پس انتشار خطا می‌باشد.

در مرحله اول داده‌های مربوطه از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تهیه و سپس اقدام به داده‌پردازی، محاسبه و ماتریس‌بندی داده‌ها گردید. در این مطالعه از داده‌های سالانه پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی ۷ سال (۸۷-۱۳۸۱) برای آموزش شبکه و از داده‌های ۳ سال دیگر (۹۰-۱۳۸۸) برای آزمون شبکه استفاده شده و ادامه روند تغییرات هر یک از پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی برای سه سال آینده (۹۳-۱۳۹۱) به عنوان لایه خروجی شبیه‌سازی شده است.

در پایان جهت بررسی و آزمون اعتبار شبکه، به ارزیابی عملکرد آن پرداخته شد. به منظور ارزیابی و بررسی نتایج حاصل از مدل و روش به کار برده شده در این پژوهش، از شاخص‌های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا^۱، توان دوم ضریب همبستگی^۲ و متوسط قدر مطلق خطا^۳ استفاده شده است. این معیارها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^h \frac{(\hat{y}_t - y_t)^2}{h}} \quad (2)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^h \frac{|\hat{y}_t - y_t|}{h} \quad (3)$$

توان دوم ضریب همبستگی خطی را، یعنی R^2 که میزان همبستگی بین دو متغیر (داده‌های محاسباتی و داده‌های مشاهداتی) را تعیین می‌کند، ضریب تعیین همبستگی خطی می‌نامند.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_t - \bar{y}_t)(\hat{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)^2}} \quad (4)$$

در رابطه‌های بالا h طول دوره پیش‌بینی و همچنین y_t مقدار واقعی و $\hat{y}_t$ مقدار پیش‌بینی شده و $\bar{\hat{y}}_t$ میانگین مقادیر پیش‌بینی متغیر را نشان می‌دهد.

هرچقدر مقدار RMSE و MAE به صفر و مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده به یکدیگر و دقیق‌تر بودن جواب‌ها در هر مرحله است. ضریب همبستگی، مربعات خطا و قدر مطلق خطا در نرم‌افزار MATLAB در شاخه Network Neural بررسی گردیده است.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق جهت پیش‌بینی تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی از تعداد ۲۹ حلقه چاه در طول دوره آماری ۹۰-۱۳۸۱ استفاده شد. به منظور بررسی عملکرد ANN در شبیه‌سازی تغییرات شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی مدل شبکه عصبی را با استفاده از تکنیک یادگیری LM و تعداد ۲ تا ۱۰ نرون بررسی نمودیم. میزان خطای MAE، RMSE و R^2 محاسبه شد و الگوی لونیبرگ - مارکوارت به عنوان بهترین الگو جهت انجام تحقیق انتخاب گردید. سپس با توجه به نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات و محاسبه مقادیر خطا، شبیه‌سازی تغییرات در ۳ سال آینده (۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) برای شاخص‌های مورد بررسی انجام گرفت. جهت نشان دادن نتایج حاصل از انجام کار، از آنجا که تعداد چاه‌های مورد مطالعه زیاد بوده و امکان آوردن نتایج همه چاه‌ها مقدور نبوده، به همین دلیل چاه‌هایی که کمترین مقدار خطا و بیشترین دقت را داشتند انتخاب شدند. چاه‌های انتخاب شده چاه‌های شماره (۱، ۹ و ۲۹) می‌باشند. نتایج هر یک از چاه‌های منتخب برای شاخص‌های کیفی مورد بررسی در جداول (۱ و ۲) آورده شده است.

1 - Root Mean Square Error (RMSE)

2 - Random Error (R^2)

3 - Mean Absolute Error (MAE)

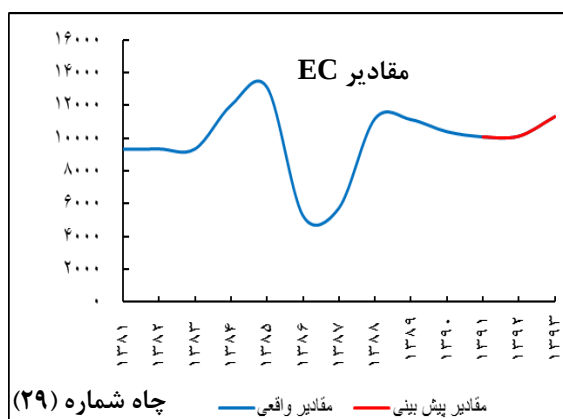
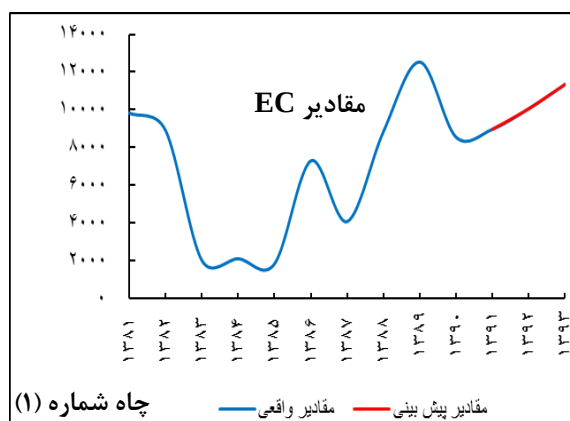
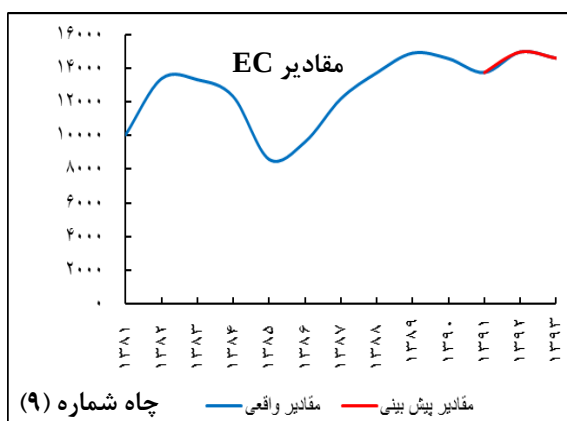
جدول ۱- آماره‌های مربوط به مدل شبکه عصبی برای متغیر EC

شماره چاه	نوع الگوریتم	ساختار لایه‌ها	RMSE		R ²		MAE	
			آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
W1	LM	۳-۱۰-۱	۴/۲	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۹۱
W9	LM	۳-۱۰-۱	۴/۵	۱/۱	۰/۷۸	۰/۸۸	۱/۴۲	۰/۸۷
W29	LM	۳-۱۰-۱	۲/۳	۲/۱	۰/۳۸	۰/۶۸	۲/۰۶	۲/۸۸

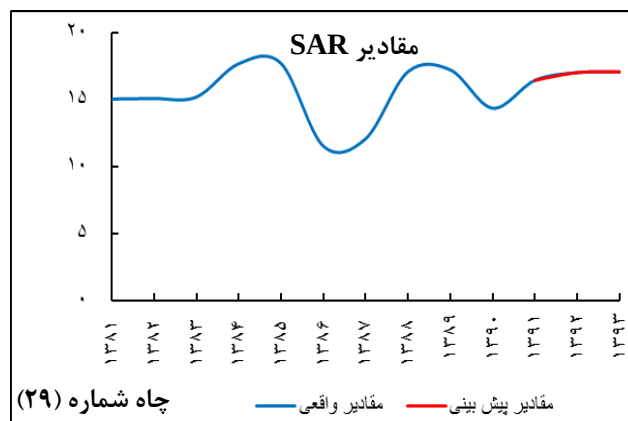
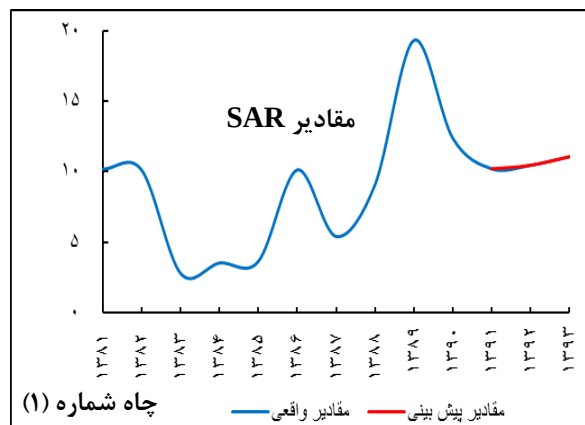
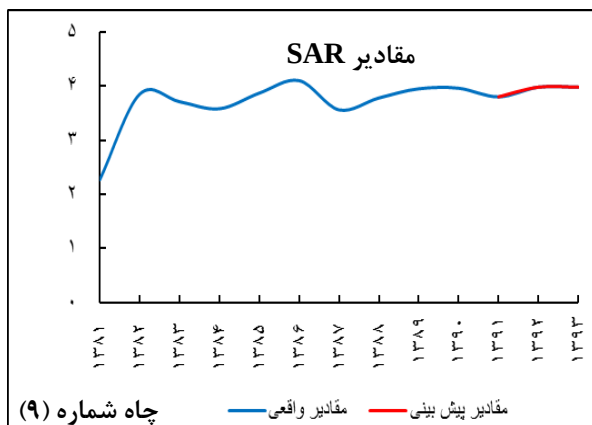
جدول ۲- آماره‌های مربوط به مدل شبکه عصبی برای متغیر SAR

شماره چاه	نوع الگوریتم	ساختار لایه‌ها	RMSE		R ²		MAE	
			آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
W1	LM	۳-۱۰-۱	۲/۲۲	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۸۲	۰/۹۰
W9	LM	۳-۱۰-۱	۶	۱/۵۲	۰/۲۸	۰/۸۷	۱/۱	۲/۰۸
W29	LM	۳-۱۰-۱	۳/۸۵	۱/۲۵	۰/۴۳	۰/۶۴	۱/۰۶	۱/۸۷

شکل‌های (۳ و ۴)، نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی را در شبیه‌سازی مقادیر پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی برای سال‌های (۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) و مقایسه آن با مقادیر مشاهده‌شده (واقعی) برای چاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه در ۱۰ سال اخیر را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده و مشاهده شده EC در چاه‌های منتخب



شکل ۴- مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهده شده SAR در چاه‌های منتخب

۴- نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. آب زیرزمینی، بعد از یخچال‌ها و یخ‌په‌ها، بزرگ‌ترین ذخیره آب شیرین زمین را تشکیل می‌دهد. کیفیت آب زیرزمینی به اندازه کمیت آن برای قابل استفاده بودن آن در مصارف مختلف، مهم و ضروری است. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب در حال حاضر خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به خصوص در اراضی خشک می‌باشد. در این تحقیق جهت پیش‌بینی تغییرات سالانه کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین از داده‌های مربوط به ۲۹ حلقه چاه استفاده شد. روش تحقیق به کار رفته در این تحقیق جهت پیش‌بینی نوسانات هر یک از پارامترهای مورد بررسی، شبکه‌های عصبی مصنوعی بوده است. نتایج بررسی هر یک از دو پارامتر EC و SAR نشان داد که این دو پارامتر در طول دوره آماری مورد مطالعه دارای نوسانات زیادی بوده و پیش‌بینی این دو متغیر برای سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نیز بیانگر روند افزایشی این پارامترها بوده است. بنابراین با توجه به نتیجه تحقیق ضرورت دارد که اقدامات لازم جهت حفاظت آب‌های منطقه از آلودگی بیشتر و استفاده اصولی از این منبع بارزش در منطقه و حفظ آن جهت استفاده آیندگان صورت گیرد.

مراجع

۱. درخشان، ش. غلامی، و. درواری، ز. ۱۳۹۲. شبیه سازی شوری آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در سواحل استان مازندران. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۶، شماره ۲.
۲. رحیم‌پور، ت. ۱۳۹۳. مدل سازی توزیع زمانی و مکانی تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه شیرامین)، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
۳. روستایی، ش؛ رحیم‌پور، ت؛ نخستین‌روحي، م. ۱۳۹۳. ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شیرامین از نظر مصارف کشاورزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، تهران.
۴. نخستین‌روحي، م. ۱۳۹۴. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و شاخص حساسیت (مطالعه‌ی موردی : دشت عجب‌شیر)، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
5. Li, S, Zhang, Q. 2008. Geochemistry of the upper Han River basin, China. Applied Geochemistry 23.
6. Kuo, Y. M., Liu C. W., Lin K, H. 2004. Evaluation of the ability of artificial Blackfoot disease in Taiwan. Water Researches, 38, 148.
7. Yang Z, P. Lu W. X., Long Y. Q., Li P. 2009. Application and comparison of two predication models for groundwater levels: A case study in western Jilin province, China. Journal of Arid Environments. 73, 487.
8. Faruk, D.Ö. 2010. A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction. Engineering Applications of Artificial Intelligence. Volume 23, Issue 4, June 2010, Pages 586–594.