

## ارزیابی عملکرد روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین پارامترهای کیفی آبخوان (مطالعه موردی: دشت قروه- دهگلان)

محمد عیسی‌زاده<sup>۱\*</sup>، رزگار عرب‌زاده<sup>۲</sup> و صابره دربندی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۳)

### چکیده

انتخاب تکنیک درونیابی بهینه جهت تخمین پارامترهای کیفی آبخوان در نقاط اندازه‌گیری نشده نقش مهمی در مدیریت کمی و کیفی منابع آب ایفا می‌کند. هدف اصلی این تحقیق ارزیابی دقت روش‌های درونیابی متداول با استفاده از GIS و مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. بدین منظور تخمین سه پارامتر کیفی EC، CL و pH آبخوان دشت قروه- دهگلان واقع در استان کردستان توسط هر یک از مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق از داده‌های کیفی ۵۶ چاهک مشاهداتی که دارای پراکندگی مناسبی در کل دشت هستند، استفاده گردید. در این تحقیق داده‌های ۴۶ چاهک مشاهداتی جهت واسنجی و داده‌های ۱۰ چاهک دیگر جهت صحت سنجی مدل‌ها استفاده شدند. نتایج نشان داد که روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، IDW و کریجینگ (spherical) به ترتیب جهت تخمین پارامترهای کیفی EC، PH و CL از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار بوده‌اند. البته مدل شبکه عصبی در تخمین هر سه پارامتر دارای دقت بسیار خوبی می‌باشد. در صورت کمبود وقت و همچنین نیاز به دقت قابل قبول و ریسک کمتر در تخمین پارامترهای کیفی، استفاده از این مدل نسبت به سایر مدل‌های آماری به کار رفته ارجحیت دارد.

کلمات کلیدی: تخمین پارامترهای کیفی، شبکه عصبی مصنوعی، کریجینگ، IDW

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mohammadisazade@gmail.com

## مقدمه

در دهه‌های اخیر با پیشرفت انقلاب صنعتی کشورهای درحال توسعه‌ای مانند ایران، شهرنشینی در اطراف قطب‌های صنعتی توسعه پیدا کرده است. تخلیه شدن فاضلاب در مناطق صنعتی و شهری و نفوذ آن به آبخوان امری اجتناب ناپذیر است (۲۴) و امکانات زیادی را برای آلوده شدن خاک‌ها فراهم می‌آورد (۷). همچنین افزایش جمعیت و پیامد آن افزایش تقاضا برای مواد غذایی از یک سو و وقوع خشکسالی‌های مکرر از سویی دیگر، باعث عدم تعادل در بازار عرضه و تقاضای آب شده و مشکلاتی را به وجود آورده است که بحران کم آبی از جمله آنها می‌باشد (۲). موارد ذکر شده در بالا به طور مستقیم یا غیرمستقیم باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و یا افزایش آلاینده‌های آن می‌گردند.

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی برای تهیه آب شرب و کشاورزی می‌باشد. به طوری که بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مستلزم شناخت کمیت و به‌ویژه کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌ها است. با تعیین کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی می‌توان برآوردی از وضعیت منابع آبی به دست آورد و با استفاده از نتایج حاصل، کیفیت آب مورد استفاده از لحاظ شرب و همچنین از لحاظ کشاورزی مشخص می‌گردد (۱۸). کیفیت آب در کشاورزی با مسائل گوناگونی از قبیل شوری، سرعت نفوذ آب و سمیت یون‌های موجود در آب مواجه می‌باشد. شوری باعث کاهش قابلیت استفاده گیاه از آب می‌شود و سرعت نفوذ آب تحت تأثیر کاتیون‌های سدیم و کلسیم می‌باشد. بعضی از یون‌ها مانند کلر و بر نیز در صورت وجود در آب کیفیت آن را کاهش می‌دهند (۱۲).

بنابراین برای نیل به توسعه پایدار به‌ویژه در بخش کشاورزی، جمع‌آوری اطلاعات پایه زیست‌محیطی برای منابع حیاتی از جمله خاک ضروری است. در این میان، تحقیقاتی که بتواند توزیع مکانی فلزات را در خاک به صورت نقشه‌های کاربردی نشان دهد، می‌تواند از جنبه مدیریتی بسیار مفید باشد (۵).

در زمین آمار علاوه بر تعیین مقدار یک کمیت در یک نمونه، ساختار فضایی آن نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بدین ترتیب در این علم می‌توان موقعیت فضائی نمونه‌ها را همراه با مقدار آن‌ها به صورت یک جا مورد بررسی قرار داد. با توجه به توضیحات ارائه شده، زمین آمار فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت را در نقطه‌ای با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست آورد (۳).

شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یکی از روش‌های جعبه سیاه این قابلیت را دارند که روابط منطقی بین پارامترهای ورودی و خروجی یک پدیده را بیان کنند. این شبکه‌ها بر مبنای مقایسه بین خروجی شبکه و هدف، تعدیل می‌شوند و تا زمانی که خروجی شبکه با خروجی هدف تطبیق پیدا کند، این کار ادامه می‌یابد (۲۰).

در زمینه تخمین پارامترهای کیفی آبخوان‌ها با استفاده از روش‌های زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی مطالعات زیادی انجام گرفته است که در زیر به بعضی از این مطالعات اشاره می‌گردد.

زارع ایبانه و همکاران (۶) مقادیر نیترات را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و اطلاعات ۵۳ حلقه چاه آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۷ برآورد کرده‌اند. در این تحقیق عملکرد شبکه عصبی به ازای سه ترکیب مختلف ورودی (هفت، هشت و سیزده ورودی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده عملکرد شبکه عصبی هر سه ترکیب مطلوب بوده و تفاوت معنی داری بین نتایج سه ترکیب ورودی وجود نداشته است. بنابراین استفاده از ترکیب کم هزینه‌تر (هفت ورودی) جهت تخمین مقادیر نیترات مناسب می‌باشد.

غلامی و همکاران (۸) عملکرد دو روش رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی را در مدل سازی و برآورد شوری آب زیرزمینی سواحل استان مازندران مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق از هشت ترکیب مختلف ورودی شامل هدایت الکتریکی متوسط آب سطحی، قابلیت انتقال متوسط تشکیلات آبخوان، فاصله از دریای خزر، متوسط بارش سالانه و

خطای پیش‌بینی گردیده است.

میرزایی و ساکی‌زاده (۲۱) قابلیت سه روش کریجینگ بیزین تجربی، کریجینگ معمولی و وزندهی عکس فاصله را جهت درونیابی شاخص کیفیت آب بررسی کرده‌اند. در این تحقیق از داده‌های کیفیت آب ۶۵ چاه واقع در دشت اندیمشک-کوشک استفاده شده است. نتایج حاکی از اختلاف اندک هر سه روش درونیابی است، ولی نتایج روش کریجینگ بیزین تجربی نسبت به دو روش دیگر قابل قبول‌تر می‌باشد.

غفاری رزین و همکاران (۱۷) درونیابی مقدار کل الکترون لایه یونیسفر را با روش‌های شبکه عصبی پرسپترون، تکنیک برازش چندجمله‌ای و کریجینگ انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از دقت بیشتر مدل شبکه عصبی پرسپترون می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر چودهری و همکاران (۱۴) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ معمولی جهت درونیابی مقادیر آرسنیک را بررسی کرده‌اند. ارزیابی‌ها نشان داده است که مدل شبکه عصبی مصنوعی، ۱۵ درصد بهتر از روش کریجینگ مقادیر آرسنیک را تخمین زده است.

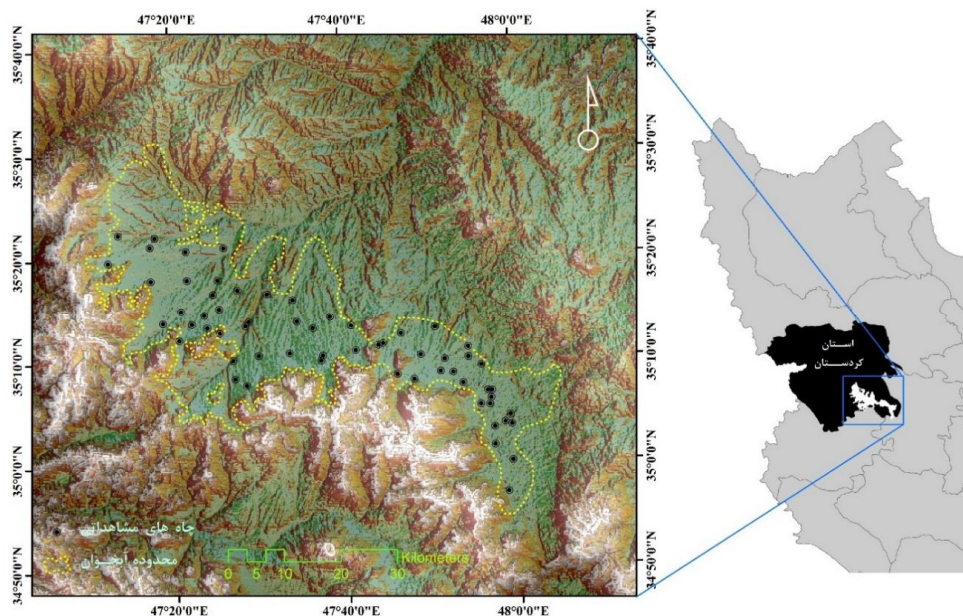
ژنگ و همکاران (۲۵) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش کریجینگ معمولی مقادیر رطوبت حجمی و هدایت الکتریکی خاک در بیابان تاکلاماکان (شمال غربی چین) را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی در تخمین مقادیر رطوبت حجمی خاک کمی بهتر و در تخمین مقادیر هدایت الکتریکی خاک بسیار بهتر از مدل کریجینگ معمولی می‌باشد.

با توجه به پیشنهاد پژوهش تحقیق حاضر سعی دارد تا کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی را در کنار روش‌های زمین‌آمار در تخمین پارامترهای کیفی آبخوان دشت قروه-دهگلان مورد ارزیابی قرار دهد و دقت این مدل‌ها را در تخمین هر یک از پارامترهای مورد نظر نسبت به یکدیگر بررسی کند. یکی از مسائل مهم در ارزیابی مدل‌های تخمین‌گر پارامترهای کیفی، دقت و سرعت هر یک از مدل‌ها در دستیابی به جواب بهتر می‌باشد که این موضوع از اهداف اصلی مورد بررسی این

عمق متوسط سفره آب زیرزمینی استفاده شده است. نتایج قابلیت بیشتر شبکه عصبی مصنوعی را نسبت به روش رگرسیون خطی چند متغیره نشان داده است. خزایی و همکاران (۴) عملکرد روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و وزندهی عکس فاصله را در پهنه‌بندی میزان آلودگی نترات آب زیرزمینی اراضی کشاورزی شهرستان اندیمشک ارزیابی کردند. نتایج حاکی از دقت بیشتر روش کریجینگ با واریوگرام کروی نسبت به سایر روش‌ها در تخمین مقادیر نترات آب زیرزمینی می‌باشد. فتحی هفشجانی و همکاران (۹) روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و وزندهی عکس فاصله را جهت پهنه‌بندی نترات و فسفات آب زیرزمینی شهرکرد مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق روش کریجینگ معمولی به دلیل دقت بیشتر، محاسبات کمتر و نیاز به داده کمتر برای پهنه‌بندی نترات و فسفات آب زیرزمینی شهرکرد توصیه شده است.

میرزاوند و همکاران (۱۱) با استفاده شبکه عصبی مصنوعی MLP و RBF مقادیر غلظت کلر آبخوان کاشان، که در معرض جبهه آب‌شور دریاچه نمک قرار دارد، را مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار داده‌اند. در این تحقیق شبیه‌سازی غلظت کلر در سال جاری با استفاده از ورودی‌های تراز سطح ایستابی، ارتفاع بارندگی سالیانه و غلظت کلر در سال قبل انجام گرفته است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که عملکرد مدل MLP بهتر از مدل RBF بوده است. خردپیشه و همکاران (۱۹) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را در تخمین پارامترهای کیفی  $SO_4$ ، EC، CL و  $NO_3$  دشت بهاباد مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها نشان داد شبکه عصبی مصنوعی مقادیر پارامترهای EC، CL و  $SO_4$  را به‌خوبی تخمین زده است ولی در تخمین  $NO_3$  دقت مناسبی نداشته است.

نورانی و همکاران (۲۲) مقادیر EC (Electrical Conductivity) و TDS (Total Dissolved Solids) را با استفاده از روش‌های شبکه عصبی پیشرو و رگرسیون خطی چندگانه پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش رگرسیونی باعث دقت و کاهش



شکل ۱. موقعیت چاهک‌های مشاهده‌ای دشت قروه و دهگلان

از مدل‌ها، استفاده گردیده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده‌ای در شکل (۱) نشان داده شده است. قابل ذکر است که جهت ارزیابی بهتر مدل‌ها سعی گردید موقعیت چاهک‌های صحت سنجی پراکندگی خوبی در سراسر منطقه داشته باشند.

#### نرمال‌سازی داده‌ها

اولین گام در استفاده از روش‌های زمین‌آماري بررسی نرمال بودن داده‌ها می‌باشد (۱۰). می‌توان با استفاده از روش‌هایی مانند رسم نمودارهای فراوانی، پارامتر آماری ضریب چولگی، استفاده از آزمون‌های آماری کلموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک (۲۳) تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال را بررسی نمود (۳). جهت نرمال‌سازی پارامترهای کیفی EC، CL و PH آبخوان دشت قروه-دهگلان، از روش باکس-کاکس استفاده گردید.

در جدول (۱) مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و نتایج آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک برای داده‌های اصلی و نرمال شده در هر یک از دوره‌های واسنجی و صحت سنجی آورده شده است.

پژوهش بوده است. بدین منظور داده‌های کیفی EC، CL و pH مربوط به ۵۶ چاهک مشاهده‌ای این دشت که دارای پراکندگی مناسبی هستند جهت انجام شبیه‌سازی‌های مربوط به هر یک از مدل‌ها انتخاب گردیده‌اند. جهت ارزیابی بهتر کارایی مدل‌های زمین‌آمار، از روش‌های وزندهی معکوس فاصله و کریجینگ با چهار نوع واریوگرام کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی استفاده شده است. همچنین مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون تک لایه با ۱ تا ۲۰ نرون در لایه پنهان جهت تخمین سه پارامتر کیفی مورد نظر به کار گرفته شد.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های ۵۶ چاهک مشاهده‌ای واقع در دشت قروه-دهگلان که در جنوب شرقی استان کردستان واقع هستند استفاده گردید. پارامترهای کیفی EC، CL و pH آبخوان دشت قروه-دهگلان که مربوط به مهرماه سال ۱۳۹۰ می‌باشند به عنوان ورودی مدل‌ها در نظر گرفته شده‌اند. همچنین از داده‌های ۴۶ چاهک مشاهده‌ای به عنوان داده‌های بخش آموزش و ۱۰ چاهک مشاهده‌ای دیگر به عنوان داده‌های بخش صحت سنجی هر یک

جدول ۱. نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف و شاپیرو - ویلک برای داده‌های مشاهداتی اولیه و نرمال‌شده

پارامتر	کیفیت آب	نوع داده	شاپیرو-ویلک	کلموگروف-اسمیرنوف	آماره	نقطه آماره	کشیلیگی	شاپیرو-ویلک	کلموگروف-اسمیرنوف	آماره	نقطه آماره	کشیلیگی
CL (mg/l)		مشاهداتی اولیه	۰/۲۷	۰/۰۹	۱/۱۳	۰/۱۹	۲/۴۳	۷/۷۹	۵۶	۰/۱۹	۰/۷۵	۰/۰۰
		نرمال‌شده	-۲/۵۴	-۵/۲۵	۰/۱۲	۱/۲۲	۰/۰۸	-۰/۵۹	۵۶	۰/۰۷	۰/۹۹	۰/۷۳
		واسنجی	-۲/۶۴	-۵/۲۵	۰/۱۲	۱/۲۲	۰/۱۴	-۰/۴۲	۴۶	۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۹۱
		صحت سنجی	-۲/۱۲	-۳/۹۱	-۰/۴۳	۱/۲۰	-۰/۱۵	-۱/۲۴	۱۰	۰/۱۴	۰/۹۵	۰/۷۳
EC (μmhos/cm)		مشاهداتی اولیه	۴۴۷/۸۸	۳۱۰/۰۰	۸۲۳/۰	۱۱۸/۳۴	۱/۴۲	۱۲/۸۹	۵۶	۰/۲۰	۰/۸۶	۰/۰۰
		نرمال‌شده	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۱۰	۱/۰۴	۵۶	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۳۶
		واسنجی	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۰۶	۱/۱۳	۴۶	۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۶۶
		صحت سنجی	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۶۸	۱۰	۰/۱۶	۰/۹۴	۰/۵۳
pH		مشاهداتی اولیه	۷/۹۶	۶/۷۵	۸/۳۵	۰/۲۳	-۲/۷۶	۱۲/۸۹	۵۶	۰/۱۸	۰/۷۸	۰/۰۰
		نرمال‌شده	۱۳E+۵	۱۲E+۳	۱۴E+۱	۱۳E+۲	۰	۱	۵۶	۰/۰۹	۰/۹۷	۰/۲۸
		واسنجی	۱۳E+۵	۱۳E+۲	۱۴E+۱	۱۳E+۲	۰	۱	۴۶	۰/۱۱	۰/۹۶	۰/۱۴
		صحت سنجی	۱۳E+۴	۱۲E+۳	۱۳E+۷	۱۳E+۲	۰	۱	۱۰	۰/۲۳	۰/۸۷	۰/۰۹

مقایسه با ایستگاه‌های دورتر داده می‌شود. در زیر به توضیح این دو روش پرداخته شده است.

### روش کریجینگ

نام این تخمین‌گر زمین‌آمار به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین‌آمار به نام کریج، که یک مهندس معدن آفریقایی جنوبی بود، به نام کریجینگ نام‌گذاری شد. روش کریجینگ براساس میانگین متحرک وزن‌دار بوده و می‌توان آن را بهترین تخمین‌گر خطی ناریب خواند (۳). فرمول کلی روش کریجینگ مانند سایر تخمین‌گرها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad [1]$$

در فرمول فوق  $z^*(x_i)$  مقدار تخمین متغیر در نقطه مورد نظر،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت نمونه  $i$  ام،  $n$  تعداد مشاهدات و  $z(x_i)$  مقدار مشاهده‌شده متغیر می‌باشند. این نوع کریجینگ را

### روش‌های تخمین در زمین‌آمار

به‌طورکلی تخمین زمین‌آماري فرآیندی است که طی آن، می‌توان مقدار یک کمیت در نقطه‌ای با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد. در زمین‌آمار، روش‌های مختلفی برای تخمین وجود دارد که در این تحقیق روش‌های زمین‌آماري با دو رویکرد آماری و قطعیت گرا مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال روش کریجینگ و روش وزندهی معکوس فاصله به‌ترتیب به‌عنوان دو روش آماری و قطعیت گرا شناخته می‌شوند. در روش کریجینگ با توجه به نحوه توزیع مکانی متغیر مورد نظر به تخمین مقادیر مجهول در موقعیت‌های مکانی مطلوب و معلوم پرداخته می‌شود و در روش وزندهی عکس فاصله، برای تخمین متغیر مورد نظر در موقعیت‌های مکانی مطلوب و معلوم، بیشترین وزن به ایستگاه‌های نزدیک‌تر در

(شبکه مربعات) تقسیم گردید. سپس با استفاده از رابطه کریجینگ، مقادیر تخمین زده شده برای مراکز هر یک از این سلول‌ها محاسبه گردید.

### مدل‌های تئوری واریوگرام

واریوگرام تجربی، علاوه بر آنکه به بررسی شناخت ویژگی‌های ساختاری متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌کند، نوعی نقش خلاصه کننده داده‌ها را نیز دارد. قبل از کاربرد تغییر نماهای تجربی در تخمین، لازم است برای آنها مناسب‌ترین مدل تئوری را برازش داد. در مورد تغییر نمای تئوری نیز، مانند مدل‌های توزیع در آمار کلاسیک، تعداد معدودی مدل شناخته شده است که اصولاً آنها را به دو گروه: فاقد آستانه و دارای آستانه تقسیم می‌کند.

در گروه فاقد آستانه با افزایش فاصله  $h$ ، مقدار تغییرنما نیز افزایش می‌یابد و به حد ثابتی نمی‌رسد، ولی در گروه دارای آستانه با افزایش فاصله  $h$ ، مقدار تغییرنما نیز تا فاصله معینی زیاد می‌شود و سپس به مقدار ثابتی که به آن آستانه گفته می‌شود. چهار مدل مهم این گروه به شرح ذیل می‌باشند.

اولین مدل، واریوگرام کروی بوده که از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. سپس به تدریج از شیب آن کم شده و در فاصله معینی که دامنه تأثیر نامیده می‌شود، به آستانه خود می‌رسد و از آن به بعد ثابت می‌ماند. معادله کلی تغییر نمای مدل کروی به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \gamma(h) = C \left( \frac{r}{a} \times \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \times \frac{h^2}{a^2} \right) + C_0 & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = C_0 + C & h > a \end{cases} \quad [2]$$

که در آن  $C$  آستانه،  $a$  دامنه تأثیر،  $C_0$  اثر قطعه‌ای می‌باشند.

در عمل دامنه تأثیر برای مدل کروی  $\frac{2}{3}a$  فرض می‌شود.

دومین مدل، واریوگرام دایره‌ای است که از مبدأ مختصات شروع و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد ولی آهنگ صعود آن کمی آرام‌تر از مدل کروی است.

$$\begin{cases} \gamma(h) = C \left( 1 - \frac{r}{\pi} \cos^{-1} \left[ \frac{h}{a} \right] + \sqrt{1 - \left[ \frac{h}{a} \right]^2} \right) + C_0 & 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = C_0 + C & h > a \end{cases} \quad [3]$$

کریجینگ خطی می‌نامند، زیرا ترکیب خطی از  $n$  داده (چاهک‌های مشاهداتی) می‌باشد. همچنین در رابطه ۱، فاصله مابین سلول‌ها برابر بوده، لیکن فواصل مابین چاهک‌های مشاهده‌ای نابرابر می‌باشند. شرط استفاده از این تخمین‌گر این است که متغیر  $Z$  دارای توزیع نرمال باشد. لازم به ذکر است که منظور نرمال بودن اطلاعات موجود در سرتاسر دشت در یک بازه زمانی خاص می‌باشد. در غیر این صورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا این‌که به نحوی توزیع متغیرها را به نرمال تبدیل کرد.

واریانس ارتفاع میان نقاط که به اندازه  $h$  از هم فاصله دارند، ارتباط متقابل آن دو را نسبت به هم بیان می‌کند و وابستگی ارتفاع نقاط نزدیک به هم دلیلی بر وجود ساختار فضایی می‌باشد، به طوری که اگر واریانس ارتفاع میان نقاطی به فاصله  $h$  کوچک باشد، وابستگی بین ارتفاع آن نقاط زیاد است. البته ارتفاع، یک واژه عام برای بیان مقدار متغیر مکانی در آن نقطه است و در این تحقیق ارتفاع همان مقادیر سه پارامتر کیفی  $CL$ ،  $EC$  و  $pH$  می‌باشد. واریانسی که وابسته به ارتفاع است، واریوگرام یا تغییرنما می‌نامند و آن را با نماد  $\gamma(h)$  نشان می‌دهند. معمولاً به جای واریوگرام هدف، از سمی واریوگرام با نماد  $\gamma(h)$  استفاده می‌شود که هدف از سمی واریوگرام، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. به عبارت دیگر واریوگرام تابعی برای بیان کمیت همبستگی فضایی است و این تابع درجه‌ای از شدت رابطه تعدادی متغیر تصادفی فضایی را که در یک میدان فضایی حضور دارند، بیان می‌کند. درباره رابطه بین  $\gamma(h)$  و  $\lambda_i$  نیز می‌توان این‌طور اشاره کرد که  $\gamma(h)$  میزان همبستگی فضایی آن نقطه و یا به عبارت دیگر میزان تأثیرپذیری شعاعی برای آن فاصله می‌باشد.  $\lambda_i$  نیز وزن هر یک نقاط معلوم برای تخمین مقدار در نقطه نامعلوم می‌باشد. برای تعیین این وزن‌ها معادلات ماتریسی می‌بایست حل گردند که در آنها میزان سمی واریوگرام ضروری است.

لازم به ذکر است، دشت مورد مطالعه به تعدادی سلول

ارزش آن نامعلوم است با استفاده از نقاط اطراف در یک شعاع مشخص براساس فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$Z(x_i) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad [6]$$

که در آن  $z(x_i)$  ارزش معلوم نقاط با مختصات معلوم،  $N$  تعداد نقاط معلوم مجاور نقطه مجهول،  $\lambda_i$  وزن اختصاص داده شده به هر یک از نقاط معلوم  $z(x_i)$  و  $Z(x_i)$  ارزش برآورد شده نقطه مجهول می‌باشد. چون مقدار  $\lambda_i$  تابعی از فاصله میان نقاط می‌باشد، بنابراین فواصل میان آنها به عنوان وزن مدل به کار می‌رود که معمولاً از توان دوم معکوس فواصل استفاده می‌شود و برای وزن فواصل مقدار توان افزایش می‌یابد.

### شبکه‌های عصبی پیشرو با آموزش لونیگ-مارکوارت

از اوایل دهه ۱۹۹۰ تاکنون، این شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه هیدرولوژی نیز به طور موفقیت آمیز به کار رفته گرفته شده که از آن جمله می‌توان به مدل کردن فرآیندهای بارش - رواناب، پیش‌بینی جریان رودخانه، مدل کردن آب زیرزمینی، کیفیت آب، پیش‌بینی بارندگی و ... اشاره کرد (۱۶). حدود ۹۰٪ شبکه‌هایی که در مسائل هیدرولوژی کاربرد دارد شبکه‌های پیشرو هستند (۱۵). معماری معمول این شبکه متشکل از سه لایه ورودی، پنهانی و خروجی است. تعداد نرون‌های موجود در لایه ورودی و خروجی بستگی به نوع مسئله دارد ولی تعداد گره‌های لایه پنهان با سعی و خطا به دست می‌آید (شکل ۲).

در شکل (۲)،  $X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  بردار ورودی‌ها،  $w_{ij}$  وزن اتصالی از  $i$  امین گره به  $j$  امین گره در لایه بعد،  $b_j$  بایاس مربوط به گره  $j$  ام،  $y_j$  ها خروجی‌های هر لایه،  $Y$  خروجی نهایی ANN است. شبکه‌های پیشرو، اتصالات میان گره‌هایی وجود دارد که در لایه‌های متفاوت قرار دارند. همچنین ورودی‌ها در لایه ورودی شبکه نمایش داده شده و عمل تحریک از ورودی به سمت خروجی شبکه شروع می‌شود (۱۳). لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر از تعداد نرون‌های یک

مدل نمایی نیز مانند مدل کروی از مبدأ مختصات شروع و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است.

$$\gamma(h) = C \left( 1 - \exp \left[ -\frac{h}{a} \right] \right) + C_0 \quad h > 0 \quad [4]$$

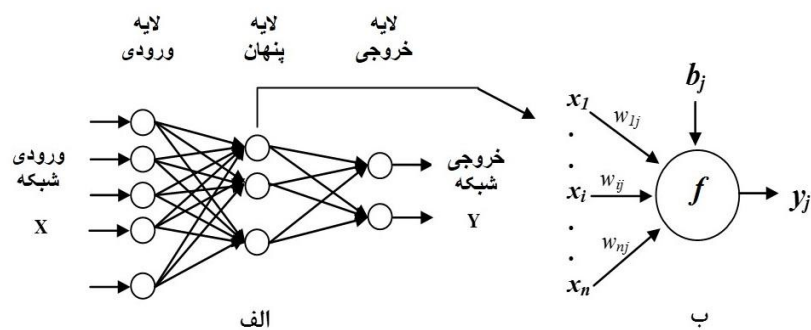
چهارمین مدل واریوگرام گوسی است، منحنی مربوط به این مدل در حوالی مبدأ مختصات به شکل سهمی و مماس بر آن و در این قسمت افقی است. معادله مدل گوسی به شکل زیر است:

$$\gamma(h) = C \left( 1 - \exp \left[ -\frac{h^2}{a^2} \right] \right) + C_0 \quad [5]$$

در این تحقیق مراحل کلی اجرای درونیابی با روش کریجینگ را می‌توان به شش مرحله اصلی تقسیم کرد. مرحله اول: بررسی تبعیت توزیع داده‌های مورد استفاده از توزیع نرمال (در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، بایستی عملیات نرمال‌سازی داده‌ها صورت پذیرد)، مرحله دوم: تعیین نوع واریوگرام تجربی مورد نظر، مرحله سوم: پیدا کردن مقادیر بهینه پارامترهای حد آستانه، دامنه تأثیر و اثر قطعه‌ای واریوگرام مورد نظر با استفاده از سعی و خطا، مرحله چهارم: حل معادلات ماتریسی، جهت دستیابی به مقادیر بهینه  $\lambda_i$ ، مرحله پنجم: برآورد مقادیر پارامتر مورد نظر در کل دشت مورد بررسی و در نهایت مرحله ششم: تعیین مقدار خطای هر یک از مدل‌های مورد بررسی براساس نقاط معلوم (نقاط دوره واسنجی و صحت سنجی).

### روش وزندهی عکس فاصله

در این شیوه مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به دست می‌آید. به عبارت دیگر در این روش ارزش یک متغیر براساس میانگین همسایه‌ها در محدوده‌های معین محاسبه می‌شود. به این ترتیب که معکوس فواصل از نقاط مجهول وزندهی می‌شود هرچه فاصله نقاط مجهول از نقاط معلوم کاهش یابد وزن ارزش آن نقاط افزایش می‌یابد و نقاطی که



شکل ۲. الف) شمای کلی شبکه‌های پیشرو سه لایه، ب) شمای زام گره از آن (۱۳)

در روابط بالا  $x_i$  و  $\bar{x}$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و میانگین مقادیر مشاهداتی جریان،  $y_i$  و  $\bar{y}$  مقادیر محاسباتی و میانگین مقادیر محاسباتی و  $N$  تعداد داده‌های جریان می‌باشد.

#### روش انجام تحقیق

هدف تحقیق بسط و تهیه مدل‌هایی می‌باشد که به وسیله آنها مقادیر پارامترهای کیفی در پهنه دشت تخمین زده شود. برای توسعه و اطمینان حاصل کردن از این مدل‌ها، استفاده از داده‌های مشاهده‌ای اجتناب ناپذیر است. بر این اساس این مدل‌ها به ازای تعدادی داده مشاهداتی آموزش داده شده و سپس برای داده‌های صحت سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورت مناسب بودن مدل‌ها، می‌توانند جهت تخمین مقادیر پارامترهای کیفی مورد نظر در سراسر دشت مورد استفاده قرار گیرند.

بنابراین پارامترهای کیفی  $EC$ ،  $CL$  و  $PH$  مهرماه سال ۱۳۹۰ آبخوان دشت قروه-دهگلان به عنوان ورودی مدل‌ها تعیین گردید و داده‌های ۴۶ چاهک مشاهده‌ای مهرماه ۱۳۹۰ به عنوان بخش آموزش و داده‌های ۱۰ چاهک مشاهده‌ای دیگر در مهرماه ۱۳۹۰ به عنوان بخش صحت سنجی هر یک از مدل‌ها در نظر گرفته شده است. آنگاه توزیع هر سه پارامتر  $EC$ ،  $CL$  و  $PH$  با استفاده از روش باکس-کاکس به نرمال تبدیل گردیدند. مدل‌های زمین‌آمار به ازای داده‌های نرمال و مدل شبکه عصبی مصنوعی به ازای داده‌های واقعی واسنجی شده‌اند. سپس با استفاده از مدل‌های واسنجی شده مقادیر پارامترهای کیفی در

تا ۲۰ برای لایه پنهان شبکه استفاده گردید تا از این طریق اولاً تأثیر ساختار مختلف شبکه بر عملکرد آن در شبیه‌سازی مقادیر کیفی آبخوان را مورد ارزیابی قرار داده و ثانیاً بتوان از تأثیر این عامل (ساختار شبکه) در مقایسه کارایی آن با مدل‌های زمین‌آمار تا حدودی کاست. از آنجاکه متداول‌ترین نوع توابع محرک تابع تانژانت سیگموئید می‌باشد بنابراین در این مطالعه از آن برای نگاشت اطلاعات از لایه ورودی به لایه پنهان و همچنین برای نگاشت اطلاعات از لایه پنهان به لایه خروجی استفاده شد.

#### روش‌های ارزیابی

با استفاده از روش‌های مختلفی می‌توان عملکرد مدل‌ها را مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد، یکی از این روش‌ها استفاده از معیارهای ارزیابی می‌باشد، از جمله معیارهای ارزیابی پرکاربرد در علوم مهندسی آب، ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشند که به ترتیب در روابط (۷ و ۸) آورده شده‌اند. دقیق‌ترین مدل با توجه به این معیارها، مدلی خواهد بود که مقدار این دو معیار برای آن به ترتیب نزدیک به یک و صفر باشد.

$$CC = \frac{(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad [7]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad [8]$$

جدول ۲. نتایج تخمین پارامترهای CL، EC و PH با استفاده مدل‌های شبکه عصبی، IDW و Kriging

مدل	PH		EC		CL		
	CC	RMSE	CC	RMSE ( $\mu\text{mohs/cm}$ )	CC	RMSE (mg/l)	
Kriging(circular)	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۸۳	۱۱۱/۱۲	۰/۱۷۳	۰/۱۹۰	train
	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۵۷	۸۷/۹۵	۰/۳۹۱	۰/۱۸۷	test
Kriging(spherical)	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۸۳	۱۱۰/۲۲	۰/۱۷۳	۰/۱۸۴	train
	۰/۶۰	۰/۳۹	۰/۶۰	۸۶/۴۱	۰/۴۹۸	۰/۱۷۷	test
Kriging(exponential)	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۷۸	۱۰۹/۹۰	۰/۳۱۳	۰/۱۸۱	train
	۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۴۲	۹۰/۵۵	۰/۵۶۶	۰/۱۶۱	test
Kriging(gussian)	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۷۸	۱۰۸/۶۴	۰/۳۳۰	۰/۱۸۰	train
	۰/۵۶	۰/۴۰	۰/۵۱	۱۱۲/۷۵	۰/۶۱۲	۰/۱۶۹	test
IDW	۱/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۲	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	train
	۰/۶۸	۰/۳۵	۰/۶۱	۱۰۰/۱۰	۰/۴۷۰	۰/۱۶۰	test
ANN	۰/۴۵	۰/۱۶	۰/۵۵	۹۸/۰۶	۰/۵۷۲	۰/۱۵۳	train
	۰/۵۸	۰/۳۴	۰/۷۰	۹۵/۶۵	۰/۷۶۲	۰/۱۴۱	test

آبخوان دشت قروه- دهگلان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مربوط به شبیه‌سازی هر یک از مدل‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است و در ادامه نتایج هر یک از مدل‌ها بررسی می‌گردد.

### روش کریجینگ

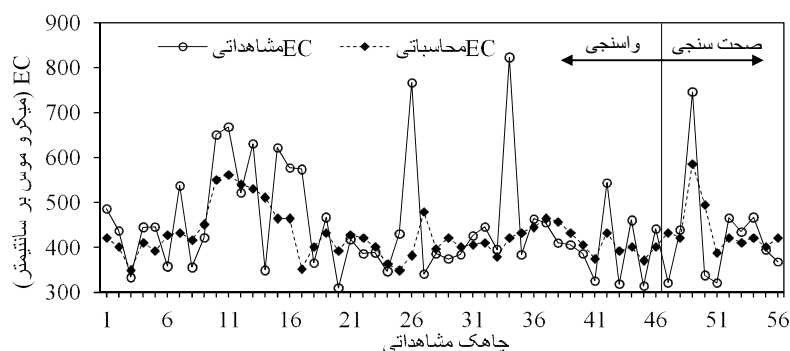
نتایج تخمین پارامترهای CL، EC و PH در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی به وسیله مدل‌های کریجینگ دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی در جدول (۲) نشان داده شده است. مدل کریجینگ با سمی واریوگرام کروی دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های کریجینگ، شبکه عصبی و IDW در تخمین پارامتر EC داشته است. مقادیر RMSE و CC این مدل در تخمین پارامتر EC برای دوره واسنجی به ترتیب برابر با ۱۱۰/۲۲ و ۰/۸۳ و در دوره صحت سنجی برابر با ۸۶/۴۱ و ۰/۶۰ بوده است. مقادیر EC مشاهداتی و محاسبه شده در هر یک از چاهک‌ها با مدل کریجینگ کروی در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۲) دیده می‌شود که مدل کریجینگ گوسی دقت

محل نقاط واسنجی و صحت سنجی به دست آمده است. پس از بازگردانی مقادیر محاسباتی هر یک از مدل‌ها به حالت غیر نرمال (عکس روش باکس-کاکس)، مقادیر ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا برای هر دو دوره واسنجی و صحت سنجی محاسبه گردید. سپس با توجه به این ضرایب عملکرد هر یک از مدل‌ها مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

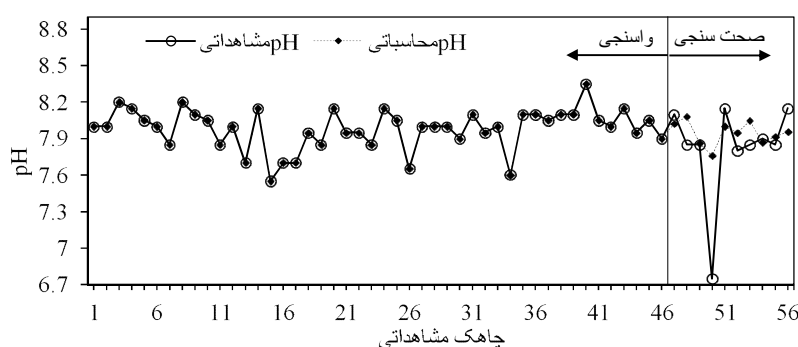
لازم به ذکر است که در روش کریجینگ بهترین پارامترهای مربوط به مدل‌های کریجینگ دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی در نرم‌افزار GIS با سعی و خطا در سمی واریوگرام تعیین گردیده و از روش وزندهی عکس فاصله با توان دو استفاده شده است. همچنین از شبکه عصبی مصنوعی به ازای تعداد نرون‌های ۱ تا ۲۰ و تابع محرک تانژانت سیگموئید در لایه پنهان جهت شبیه‌سازی‌ها استفاده گردیده است.

### نتایج و بحث

چنانچه ذکر گردید، در این تحقیق عملکرد روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین مقادیر سه پارامتر کیفی



شکل ۳. مقادیر EC مشاهداتی و محاسباتی با روش کریجینگ کروی در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی



شکل ۴. مقادیر pH مشاهداتی و محاسباتی با روش IDW در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی

روش IDW در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به مقادیر پارامترهای این جدول مشاهده می‌شود که این روش پارامتر PH را با مقادیر RMSE و CC به ترتیب برابر با صفر و یک در دوره واسنجی و ۰/۳۵ و ۰/۶۸ در دوره صحت سنجی بهتر از سایر مدل‌های کریجینگ و شبکه عصبی تخمین زده است. مقادیر pH مشاهداتی و محاسبه شده با مدل IDW در شکل (۴) نشان داده شده است. به دلیل این که مدل IDW در دوره واسنجی صفحه مورد نظر را از مقادیر نقاط مورد استفاده در این دوره عبور می‌دهد، مقادیر RMSE و CC دوره واسنجی به ترتیب برابر صفر و یک می‌باشد.

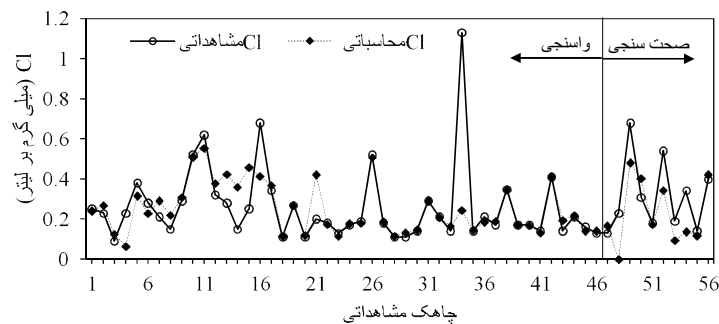
#### روش شبکه عصبی مصنوعی

نتایج تخمین پارامترهای مورد بررسی در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی این مدل در جدول (۲) آورده شده است. مدل

بیشتری نسبت به سایر مدل‌های کریجینگ در تخمین مقدار پارامتر CL دارد. مقادیر RMSE و CC دوره واسنجی به ترتیب برابر با ۰/۱۸ و ۰/۳۳ و این مقادیر در دوره صحت سنجی به ترتیب برابر با ۰/۱۷ و ۰/۶۱ می‌باشند. مقادیر پارامتر pH را مدل کریجینگ نمایی با مقادیر RMSE و CC به ترتیب برابر با ۰/۱۷ و ۰/۱۷ در دوره واسنجی و ۰/۳۹ و ۰/۶۱ در دوره صحت سنجی بهتر از سایر مدل‌های کریجینگ تخمین زده است. البته اختلاف دقت کلیه مدل‌های کریجینگ در تخمین پارامتر pH بسیار اندک بوده است. لازم به ذکر است که به دست آوردن این نتایج با استفاده از مدل‌های کریجینگ مستلزم صرف وقت زیاد جهت بهینه کردن پارامترهای سمی واریوگرام می‌باشد.

#### روش وزندهی عکس فاصله

نتایج مربوط به تخمین پارامترهای CL، EC و PH با استفاده از



شکل ۵. مقادیر CL مشاهداتی و محاسباتی با مدل شبکه عصبی مصنوعی در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی

دارای دقت بیشتر از سایر مدل‌های کریجینگ می‌باشد و اختلاف بسیار کمی نسبت به روش IDW دارد و این مدل در تخمین EC نیز نتیجه قابل قبولی ارائه می‌دهد که حاکی از دقت شبکه عصبی در تخمین پارامترهای کیفی آبخوان دشت قروه و دهگلان می‌باشد که با نتایج آذری و همکاران (۱) هم‌خوانی کامل دارد. عملکرد بهتر شبکه عصبی پرسپترون نسبت به مدل کریجینگ در درون‌یابی تعداد کل الکترون‌های هوا در تحقیق غفاری رزین و همکاران (۱۷) تأیید شده است. در مطالعه‌ای دیگر چودهری و همکاران (۱۴) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در درون‌یابی مقادیر آرسنیک را بهتر از روش کریجینگ معمولی ارزیابی کرده‌اند. ژنگ و همکاران (۲۵) نیز عملکرد بهتر شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل کریجینگ معمولی در تخمین مقادیر هدایت الکتریکی خاک را تأیید کرده‌اند. همان‌طور که ذکر شد، نتایج این تحقیقات نیز با نتایج مطالعه حاضر کاملاً مطابقت دارد.

همچنین جهت دستیابی به بهترین نتیجه از روش کریجینگ لازم است سمی واریوگرام‌های دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی ارزیابی گردند، زیرا با توجه به نتایج جدول (۲) نمی‌توان یکی از این مدل‌ها را بهتر از سایر مدل‌ها معرفی نمود. با توجه به کلیه موارد فوق می‌توان مدل شبکه عصبی مصنوعی را به‌عنوان یک مدل دقیق، با خطای کم و سریع در تخمین مقادیر پارامترهای کیفی آبخوان دشت قروه-دهگلان معرفی نمود.

شبکه عصبی توانسته است عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برای تخمین پارامتر CL داشته باشد. مقادیر RMSE و CC این مدل در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی به ترتیب برابر با ۰/۱۵ و ۰/۵۷ و ۰/۱۴ و ۰/۷۶ می‌باشد. مقادیر CL مشاهداتی و محاسبه‌شده با شبکه عصبی مصنوعی در شکل (۵) نشان داده شده است. البته لازم به ذکر است که مدل شبکه عصبی در برآورد دیگر پارامترها نیز دقت قابل قبولی داشته است. به‌عنوان مثال در تخمین پارامتر PH، دقت تقریباً برابری با مدل برتر IDW و دقت بیشتری نسبت به چهار مدل کریجینگ داشته است. همچنین این مدل در تخمین پارامتر EC نیز دقت قابل قبولی داشته است.

## نتیجه‌گیری

روش‌های مختلفی جهت برآورد پارامترهای کیفی آبخوان وجود دارد که در این پژوهش ۶ مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های زمین‌آمار IDW، کریجینگ دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین CL، روش IDW در تخمین EC و کریجینگ کروی در تخمین pH نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته‌اند. لازم به ذکر است استفاده از روش کریجینگ نسبت به سایر مدل‌ها مستلزم صرف وقت زیادتری می‌باشد که استفاده از این روش را در مواقع کمبود وقت دچار مشکل می‌کند. با توجه به نتایج جدول (۲) مدل شبکه عصبی در تخمین پارامتر CL و PH

## منابع مورد استفاده

۱. آذری، ا.، م. شریعتی نیاسر، م. البرزی و ا. بختیاری. ۱۳۸۷. برآورد میزان بار گاز مصرفی شهر تهران با استفاده از فناوری شبکه‌های عصبی. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران ۴۲(۸): ۹۶۸-۹۶۱.
۲. بانژاد، ح.، ح. محب‌زاده و ا. علیانی. ۱۳۸۹. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و GIS در تخمین پارامترهای مؤثر در تعیین الگوی کشت (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). علوم و تکنولوژی محیط زیست ۱۵(۱): ۲۳-۳۵.
۳. حسینی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتیک). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۴. خزایی، س. ح.، م. دالوند، ب. اسکندری و ر. تقی‌زاده مهرجردی. ۱۳۹۳. بررسی توزیع مکانی یون نیترات در آب‌های زیرزمینی شهرستان اندیمشک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. مجله محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران ۶۷(۲): ۱۷۴-۱۶۵.
۵. رحیمی، ق.، و ا. چرخ‌آبی. ۱۳۹۳. توزیع مکانی کادمیوم در شالیزارهای جنوب غربی اصفهان با استفاده از زمین‌آمار و GIS. نشریه آب و خاک، علوم و صنایع کشاورزی ۲۸(۴): ۷۵۴-۷۶۵.
۶. زارع ابیانه، ح.، م. بیات ورکشی، س. اخوان و م. محمدی. ۱۳۹۰. تخمین نیترات آب زیرزمینی دشت همدان- بهار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و اثر تفکیک داده‌ها بر دقت پیش‌بینی. مجله محیط شناسی ۵۸(۳۷): ۱۴۰-۱۲۹.
۷. صدر، س.، م. افیونی و ن. فتحیانپور. ۱۳۸۸. تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربردهای مختلف در استان اصفهان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۰(۱۳): ۷۵-۶۵.
۸. غلامی، و.، ش. درخشان و ز. درواری. ۱۳۹۱. بررسی روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی در سواحل استان مازندران. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶(۳): ۳۶۵-۳۵۵.
۹. فتحی هفشجانی، ا.، ح. ا. بیگی هرچگانی، ع. داودیان دهکردی و س. ح. طباطبایی. ۱۳۹۳. مقایسه چند روش درون‌یابی مکانی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی نیترات و فسفات در آب زیرزمینی شهرکرد. فصلنامه مهندسی آبیاری و آب ۱۵(۴): ۵۱-۶۳.
۱۰. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی). جلد دوم، انتشارات پلک، تهران.
۱۱. میزاونند، م.، ه. قاسمیه، س. ج. ساداتی‌نژاد و م. اکبری. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی تغییرات کیفی آب زیرزمینی با مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: آبخوان کاشان). مجله منابع طبیعی ایران ۶۸(۱): ۱۷۱-۱۵۹.
12. Almasri, M. N. and J. J. Kaluarachchi. 2005. Modular neural networks to predict the nitrate distribution in ground water using the on-ground nitrogen loading and recharge data. Environ. Model. Software 20(7): 851-871.
13. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. 2000. Artificial neural networks in hydrology, I: preliminary concepts. J. Hydrologic Eng. 5(2): 115-123.
14. Chowdhury, M., A. Alouani and F. Hossain. 2010. Comparison of ordinary kriging and artificial neural network for spatial mapping of arsenic contamination of groundwater. Stochastic Environ. Res. and Risk Assess. 24(1): 1-7.
15. Coulibaly, P., F. Anctil and B. Bobée. 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. J. Hydrology 230: 244-257.
16. Dawson, C. W., R. J. Abrahart, A. Y. Shamseldin and R. L. Wibly. 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. J. Hydrology 319: 391-409.
17. Ghaffari Razin, M. R., B. Voosoghi and A. Mohammadzadeh. 2015. Efficiency of artificial neural networks in map of total electron content over Iran. Acta Geodaetica et Geophysica. 1-15.
18. Huiqun, M. and L. Ling. 2008. Water quality assessment using artificial neural network. In 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering 5-13 December, USA.
19. Kheradpisheh, Z., A. Talebi, L. Rafati, M. T. Ghaneian and M. H. Ehrampoush. 2015. Groundwater quality assessment using artificial neural network: A case study of Bahabad plain, Yazd, Iran. Desert 20(1): 65-71.
20. Kouchakzadeh, M. and A. Bahmani. 2006. Assessment of artificial neural networks revenue in reducing required parameters for estimation of reference evapotranspiration. J. Agr. Sci. 11(4): 87-97.

21. Mirzaei, R. and M. Sakizadeh. 2016. Comparison of interpolation methods for the estimation of groundwater contamination in Andimeshk-Shush plain, southwest of Iran. *Environ. Sci. Pollut Res.* 23(3): 2758-2769.
22. Nourani, V., M. T. Alami and F. D. Vousoughi. 2016. Self-organizing map clustering technique for ANN-based spatiotemporal modeling of groundwater quality parameters. *J. Hydroinformatics* 18(2): 288-309.
23. Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591-611.
24. Zhao, Y. F., X. Zh. Shi, B. Huang, D. Sh. Yu, H. J. Wang, W. X. Sun, I. Oboern and K. Blomback. 2007. Spatial distribution of heavy metals in agricultural soils of an industry-based pre-urban area in Wuxi, China. *Pedosphere* 17(1): 44-51.
25. Zheng, Z., F. Zhang, X. Chai, Z. Zhu and F. Ma. 2008. Spatial estimation of soil moisture and salinity with neural kriging. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture* 1227-1237 October, USA.

## Performance Evaluation of Geostatistical Methods and Artificial Neural Network in Estimation of Aquifer Quality Parameters (Case Study: Qorveh Dehghan Plain)

M. Isazadeh<sup>\*1</sup>, R. Arabzadeh<sup>2</sup> and S. Darbandi<sup>1</sup>

(Received: Feb. 10-2016 ; Accepted: May. 23-2016)

### Abstract

Selection of optimum interpolation technique to estimate water quality parameters in unmeasured points plays an important role in managing the quality and quantity of water resources. The aim of this study is to evaluate the accuracy of interpolation methods using GIS and artificial neural network (ANNs) model. To this end, a series of qualitative parameters of samples from water taken from Dehgolan aquifer located in Kurdistan, Iran including CL, EC and PH were evaluated by any of the models. In this study, qualitative data from 56 observation wells with good dispersion in the whole plain was used. The data of 46 observation wells were used for calibration and the data of other 10 wells were used for verification of models. The results showed ANNs, IDW, and Kriging excellence and accuracy over other models in estimation of quality parameters CL, PH and EC. However the ANNs model is more accurate than other models. In case of lack of time and the need for acceptable accuracy and less risk in the estimation of qualitative parameters, the use of ANNs model is superior to other statistical models used.

**Keywords:** Estimation of qualitative parameters, IDW, Kriging, Neural networks.

---

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agr. Tabriz Univ., Tabriz, Iran.

2. Dept. of Water Eng., Faculty of Agr. Tehran Univ., Tehran, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: mohammadisazade@gmail.com