علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره یک، بهار ۹۵

مقایسه روش های زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین سطح آب زیرزمینی(مطالعه موردی: دشت نورآباد، استان لرستان)

رضا دهقانی [۱]

reza.dehghani67@yahoo.com

عاطفه نورعلیئی [۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۴ **تاریخ پذیرش:۹۳/۷/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: در بررسی مسایل ژئوهیدرولوژی، تغییرات سطح ایستابی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بنابراین تحقیق و پژوهش در تخمین نقاط فاقد اطلاعات ضروری می باشد.

روش بررسی: یکی از روش های مهم در برآورد سطح ایستابی آب های زیرزمینی درون یابی است. طی چند دهه اخیر به دلیل وجود همبستگی مکانی بین مقادیریک متغیر در یک ناحیه مبانی علم زمین آمار به خوبی گسترش یافته و توانایی های این شاخه از آمار در بررسی و پیش بینی متغیرهای مکانی گسترش یافته است. در این پژوهش درون یابی سطح آب زیرزمینی دشت نورآباد واقع در استان لرستان، با استفاده از روش های زمین آمار مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن با روش های مرسوم هوشمند همچون شبکه عصبی مصنوعی مقایسه گردید. معیارهای متوسط قدرمطلق خطا، متوسط خطای اریب، ریشه میانگین مربعات خطا و انحراف استاندارد عمومی برای ارزیابی و عملکرد روش ها مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها : نتایج حاصل نشان داد با تحلیل مکانی تغییرات سطح ایستابی آب های زیرزمینی، روش کوکریجینگ ساده با مدل دایره ای توانسته با متوسط قدرمطلق خطای ۰/۰۰۰۱، متوسط خطای اریب ۰/۰۳۴۷، ریشه میانگین مربعات خطا(۰/۰۴۵۱m و انحراف استاندارد ۲۰/۳ نسبت به سایر روش ها در اولویت قرار گرفت.

بحث و نتیجه گیری: در مجموع نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ توانایی بالایی در درون یابی و تخمین مقادیر کمینه و بیشینه سطح آب های زیرزمینی دارد.

واژه های کلیدی: آب های زیرزمینی، زمین آمار، درون یابی، شبکه عصبی مصنوعی

۱- کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز*(مسوول مکاتبات).

۲- کارشناس ارشد منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.1, spring 2017 2016

Comparison of Geo-Statistical Methods and Artificial Neural Network in Estimating Groundwater Level

(Case Study: Nourabad Plain, Lorestan)

Reza Dehghani [1]*

reza.dehghani67@yahoo.com

Atefeh Noorali[2]

Abstract

Background and Objective: Geo-hydrology issues of changes in the water table are very important. Therefore research is necessary to estimate the missing data.

Method: One of the important methods to estimate the groundwater table is interpolated. Recent decades due to the spatial correlation between the values of a variable in a well developed area, geo-statistical science concepts and capabilities in the field of statistics to evaluate and predict the spatial variables expanded. In this study, the interpolation of groundwater level of Noorabad plains in the province of Lorestan, using geo-statistical methods, have been studied and the results were compared with conventional smart as artificial neural network. Measures average absolute error, mean bias error, root mean square error and standard deviation, and the methods used to assess the public.

Findings: The results showed that the spatial variation of groundwater table co-krigings simple circular model had a mean absolute error (0.0001), mean bias error (0.0347), root mean square error (0.0451m) and standard deviation (20.3) priority than other methods were.

Discussion and Conclusion: the results showed a high capacity co-krigings interpolation and prediction groundwater level is minimum and maximum values.

Key words: groundwater, land statistics, interpolation, neural netwo

1- MSc, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz**(Corresponding author)*

2- MSc, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali

مقدمه

باتوجه به رشد روزافزون جمعیت و ضرورت استفاده بهینه از منابع آب، تأمین بیش‌ترین مقدار ممکن آب های زیرزمینی برای رفع نیازهای همه انسان ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در بیش‌تر مناطق کشور برای بررسی اطلاعات سطح ایستابی یک دشت از طریق پیزومترهای مشاهده ای موجود در منطقه که توسط وزارت نیرو با حفظ استانداردهای جهانی جهت آماربرداری ماهانه حفرشده است، با اندازه گیری سطح آب پیزومتر نسبت به سطح زمین، جمع آوری می شوند. هدف از بررسی تغییرات مکانی، انتخاب روش مناسب درون یابی برای تخمین عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی است. منظور از بررسی تغییرات مکانی سطح ایستابی آب زیرزمینی این است که با کم‌ترین هزینه بیش‌ترین مقدار آب موجود در زیر زمین را برای رفع نیازهای بشر برداشت نماییم. بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در شناخت پتانسیل آبی منطقه جهت برنامه ریزی در آینده است. در دشت مازندران چاه های مشاهده ای پراکندگی خاصی دارند و دشت هایی بین آن ها وجود دارد که دارای آمار نیستند و به همین علت انجام مطالعات منسجم در این زمینه ضروری به نظر می رسد. امروزه به منظور تخمین سطح آب های زیرزمینی می توان از روش های زمین آمار مثل کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کرد. تفاوت اصلی این روش ها با آمار کلاسیک این است که در آمار کلاسیک نمونه های جامعه مستقل از هم هستند و وجود یک نمونه هیچ اطلاعاتی در مورد نمونه بعدی به ما نمی دهد، اما در روش های زمین آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه مورد بررسی قرار می گیرد. نخستین بار در حدود هفتاد سال پیش روش زمین امار توسط هوپر Hoper و واتر مایر water mayer برای شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در آفریقای جنوبی بکار رفت. اولین مقاله در این زمینه توسط واتر مایر water mayer در سال ۱۹۱۹ منتشر شد که در آن از میانگین وزنی به جای میانگین حسابی استفاده شده بود و هم‌چنین شباهت بین مقادیر نمونه ها به عنوان تابعی از فاصله نمونه ها ارزیابی شده و این رابطه، پایه اصلی زمین آمار را تشکیل می دهد. این رابطه را اولین بار krige کارشناس معدن در سال ۱۹۶۶ جهت ارزیابی معادن در آفریقای جنوبی به کار برد. به دنبال پیشرفت روش های زمین آماری در تخمین ذخایر معادن، ماترون mathron اولین مقاله را در سال ۱۹۶۲ در این زمینه انشار داد. در سال ۱۹۹۰ بن جما و مارینو از روش زمین آمار برای تخمین سطح ایستابی استفاده کردند که نتایج حاصل نشان دهنده برتری روش زمین آمار به روش های آمار کلاسیک بود Ben-jama، (۱).

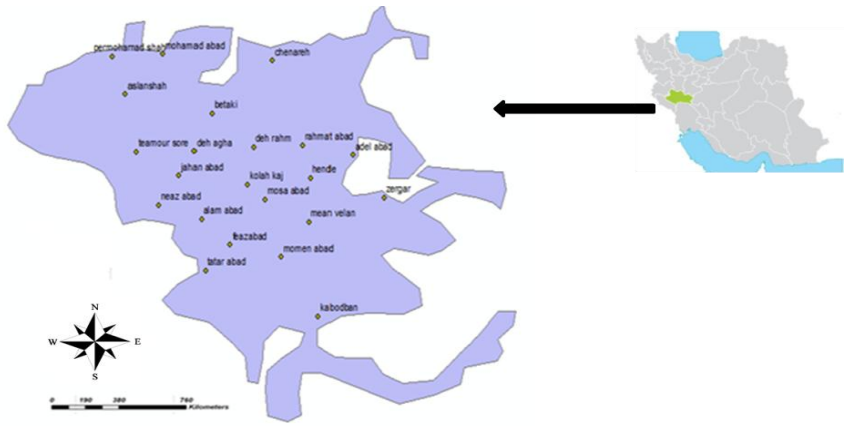
بندر آبادی، روش های زمین آمار را در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران به کار برد و روشهای کریجینگ معمولی و کوکریجینگ و TPSS (Thin plate smoothing splines) بدون متغیر کمکی را در برآورد بارش سالانه و ماهانه در این مناطق مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که برای بارندگی سالانه روش های TPSS با متغیر کمکی ارتفاع و کریجینگ به ترتیب از دقت بالایی برخوردارند و همچنین در مورد بارندگی ماهانه نیز روش TPSS با توان ۲ به عنوان بهترین روش اتخاب گردید (۲). صفدری از تخمین گرهای زمین آمار برای ایجاد شبکه بهینه پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال استفاده کرد(۳). از سوی دیگر میثاقی در پژوهشی الگوریتم تحقیقی زمین آمار و شبکه مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی را برای منطقه مارون در استان خوزستان بررسی نمود. در تمامی الگوریتم ها و روش های میانی بررسی شده نتایج حاصله نشان دهنده برتری روش زمین آمار با خطای کمتر نسبت به روش شبکه عصبی می باشد(۴). گلمحمدی تغییرات مکانی رواناب در استان همدان را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که روش کوکریجینگ ساده با مدل دایره ای به عنوان بهترین روش زمین امار انتخاب گردید(۵). Nguyen، در پژوهشی دیگر آنالیز درون یابی بارندگی در منطقه سانتاباربارا مورد مطالعه قرار دادند در این پژوهش مرحله اول سعی نمودند از دو روش کریجینگ و فاصله معکوس برای درون

یابی اطلاعات استفاده نمایند. اما با رسم نیم- تغییرنماها و تفسیر آن ها چون همبستگی خاصی بین اطلاعات دیده نشد، روش کریجینگ مناسب تشخیص داده نشده و به جای آن روش رگرسیون چندگانه استفاده گردید(۶). در مطالعه Mckenna، اطلاعات بارندگی برای ۶۰ نقطه به دست آمده و در نهایت با محاسبه میزان خطای باقی‌مانده نسبی به این نتیجه رسیدند روش رگرسیون چندگانه نتایج بهتری نسبت به روش فاصله معکوس دارد. برای بالا بردن دقت در تخمین و شبیه سازی داده های مؤثر بر جریان آب های زیر زمینی در ایالت کلرودای آمریکا از روش های زمین آماری که مبتنی بر استخراج تغییر نما (variogram) بود استفاده کرد. نتایج این آزمایش حاکی از این است که استفاده از روش های زمین آمار معمولاً علاوه بر بالا بردن دقت تخمین داده ها می تواند باعث کم‌تر شدن تعداد نمونه برداری ها شود(۷). در مجموع با توجه به پژوهش های انجام گرفته و همچنین اهمیت دشت نورآباد از لحاظ شرب و کشاورزی، درون یابی سطح آب زیرزمینی به منظور پیش بینی و اقدامات مدیریتی جهت بهبود آب آن با استفاده از روش های زمین آمار و مقایسه نتایج آن با شبکه عصبی مصنوعی از جمله اهداف پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است.

مواد و روش ها

۱-.منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان نور آباد در استان لرستان می باشد. این منطقه بین طول های ۴۸ ۴ ۳۴ شرقی و عرض های ۱۲ ۵۸ ۴۸ شمالی واقع شده است. محدوده مطالعاتی نورآباد دارای ۸۱۱ کیلومتر مربع مساحت است که از این مقدار ۱۵۹ کیلومتر مربع دشت با ارتفاع متوسط ۱۶۲۰ متر و ۶۵۲ کیلومتر مربع با ارتفاع متوسط ۲۲۴۰ متر می باشد. این دشت دارای یک سفره زیرزمینی آبرفتی می باشد و دارای وضعیت آب سطحی و زیرزمینی نسبتا خوبی می باشد. جهت انجام پروژه از ۲۱ چاه پیزومتری در منطقه استفاده گردیده که موقعیت هر یک از این چاه ها در شکل ۱ نشان داده شده است. آمار این ایستگاه ها از سال ۸۱ تاکنون موجود است. در تمام سال ها آزمون همگن بودن داده ها انجام شـد و نتایج به دست آمده نشان دهنده صحت فرض های تصادفی بودن و همگنی داده هـا می باشد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در استان لرستان

Fig.1- The position of the study area in Lorestan province

۲- روش های میان یابی

در این تحقیق از روش های کریجینگ (kriging) و با حالت های ساده (sk: simple kriging)، عمومی (uk: universal kriging) و معمولی(ok: ordinary kriging) و روش کوریجینگ (co-kriging) شامل روش کوکریجینگ ساده (sco: simple co kriging)، کوکریجینگ عمومی (uco: universal co kriging)، کوکریجینگ معمولی (oco: ordinary co kriging) با مدل های دایره ای (circular)، نمایی(exponential)، کروی(sphrical) و گوسین (gaussian)استفاده گردید. در این روش ها، مقادیر براوردی از مجموع حاصلضرب یک فاکتور وزنی در مقادیر نقاط مشاهده ای به دست می اید . معادله کلی روش های مختلف درون یابی به صورت زیر است:

$$z^*(x_i)=\sum_{i=1}^{n}\gamma_i z(x_i) \qquad (۱)$$

که در ان z*(xi) مقادی متغییر مکانی برآورد شده z(xi) مقادیر متغیر مکانی براورد شده در xi است و γi وزن آماری که به نمونه xi نسبت داده می شود و بیانگر اهمیت نقطه iام در برآورد است.تفاوت عمده روش های مختلف میان یابی در برآورد فاکتور وزنی یاد شده است.

۲-۱- روش کریجینگ[1]

کریجینگ یکی از روش های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس نیم متغیر نما استوار می باشد. نیم متغیر نما یکی از روش های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن شناسایی ساختار تغییر پذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می باشد، در صورتی که آمار کلاسیک دارای چنین قابلیتی نیست. از نظر تعریف، اگر واریانس بین نقاطی با فاصله h کوچک باشد، نشانه وابستگی بیش‌تر متغیر بین آن نقاط است. این واریانس وابسته به فاصله، نیم متغیر نما نامیده می شود که آن را با γ(h) نشان می دهند. تابع نیم متغیر نما، تغییرات یک پارامتر را با در نظر گرفتن فاصله به صورت معادله زیر نشان می دهد:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(X_i)-Z(X_i+h)]^2 \qquad (۲)$$

که در آن z (xi) و z(xi+h) مقادیر متغیر به ترتیب در نقاط xi و i x+h و N(h) تعداد جفت نمونه های به کار رفته است. به عبارت دیگر، کریجینگ تخمین‌گری نااریب است که تنها یک متغیر را پیش بینی می نماید. شرط نا اریب بودن در سایر روش های تخمین، نظیر روش فاصله معکوس هم اعمال می شود، ولی ویژگی روش کریجینگ این است که در عین نااریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می باشد. به عبارت دیگر در این روش از اطلاعات موجود به بهترین نحو استفاده شده است. بنابراین کریجینگ به همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز ارایه می دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد می توان قسمت هایی را که در آن‌جا خطا زیاد است و در آن به اطلاعات بیش‌تری نیاز است، مشخص نمود(۵).

۲-۲- روش کو کریجینگ[2]

در برخی موارد ممکن است از یک متغییر به اندازه کافی نمونه برداری نشده باشد و بر اساس نمونه های موجود نتوان تخمین را به دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می توان با در نظر گرفتن رابطه مکانی بین این دو متغییر و متغییر دیگری که از آن به خوبی نمونه گیری شده است، تخمین را اصلاح کرد. البته به دلیل مشکلاتی مدل سازی تغییر نمای متقابل متغییر ها وجود دارد، کوکریجینگ به لحاظ کاربردی اعتبار کافی را پیدا نکرده است. به عبارت دیگر همان طور که در آمار کلاسیک نیز روش های چند متغییره وجود دارد ،در زمین آمـــار نیـــز می توان به روش کوکریجینگ و بر اساس همبستگی موجود بین متغییر های مختلف رابطه چند متغیره مناسبی را تخمین زد. معادله کوکریجینگ به شرح زیر می باشد :

1- kriging

2- co-kriging

$$z^*(x_i)=\sum_{i=1}^{n}\gamma e_i.x_i\sum_{k=1}^{n}\gamma_k.y(x_k) \qquad (۳)$$

که در آن Z*(xi) مقدار تخمین زده شده برای (xi)، (γi) وزن مربوط به متغییر (z)، (γi) وزن مربوط به متغییر کمکی y، z(xi) مقدار مشاهده شده متغییر اصلی و(xk) γ مقدار مشاهده شده متغییر کمکی می باشد. برای تخمین با این روش و برای محاسبه اوزان مربوط، نیاز به محاسبه تغییر نمای متقابل به صورت زیر می باشد:

$$\gamma(zy)h=\frac{1}{2}n[z(x_i+h)-z(x_i)]\times[y(x_k+h)-y(x_k)] \qquad (۴)$$

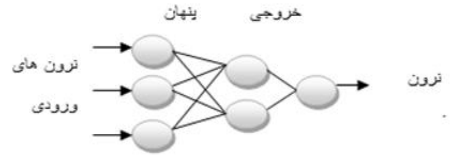
که در آن γ(zy)h تغییر نمای متقابل بین متغیر های z، y، z(xi) متغیر مشاهده شده و y(xk) متغیر کمکی می باشد. توسعه این روش برای شرایط مناسب پیشنهاد شده است که از یک متغییر تعداد محدودی نمونه در دسترس باشد. محل هایی که درآن کمبود نمونه وجود دارد، به کمک متغیر ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغییر های اصلی و ثانوی تخمین زده می شود . وقتی تعدادی متغیر وابسته به هم تخمین زده می شود، به لحاظ نظری کوکریجینگ نسبت به سایر روش های کریجینگ ارجحیت دارد.حتی وقتی که از همه متغیر ها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد، باز هم کوکریجینگ ترکیبی از روش کریجینگ یک متغیره است. در این تحقیق از روش های کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شده است (۵).

۲-۳- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی با الهام از سیستم پردازش اطلاعات مغز طراحی و به عرصه ظهور رسیده اند که به کمک فرآیند یادگیری ۱و با استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون تلاش می-کند با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارایه دهد. لایه یا لایه‌های مخفی، اطلاعات دریافت شده از لایه ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می‌دهند. با توجه به ساختار شبکه عصبی مصنوعی، ویژگی های عمده آن سرعت بالای پردازش، توانایی یادگیری الگو، توانایی تعمیم الگو پس از یادگیری، انعطاف پذیری در برابر خطاهای ناخواسته و عدم ایجاد اخلال قابل توجه در صورت بروز اشکال در بخشی از اتصال ها به دلیل توزیع وزن های شبکه است . نخستین کاربرد عملی شبکه های عصبی مصنوعی با معرفی شبکه های پرسپترون چند لایه ۱انجام گرفت. برای آموزش این شبکه معمولاً از الگوریتم پس انتشار ۲(BP) استفاده می شود که اساس این الگوریتم بر پایه قانون یادگیری سعی و خطا می باشد که از دو مسیر اصلی رفت و برگشت تشکیل می شود. تنظیم پارامترها در شبکه پرسپترون چند لایه توسط سیگنال خطا و سیگنال ورودی صورت می گیرد. تعیین تعداد لایه ها و نرون های موجود در آن ها از مهم ترین مسائل در شبیه سازی با شبکه عصبی مصنوعی است. رایج ترین توابع محرک استفاده شده در شبکه های انتشار برگشتی را توابع محرک سیگموئید و تانژانت هیپربولیک ذکر کردند Tokar ، (۸). در طی آموزش شبکه MLP به کمک الگوریتم یادگیری BP، ابتدا محاسبات از ورودی به سوی خروجی شبکه انجام می گردد، سپس مقادیر خطای محاسبه شده به لایه‌های قبل انتشار می یابد. در ابتدا محاسبه خروجی به صورت لایه به لایه انجام می گردد و خروجی هر لایه، ورودی لایه بعدی خواهد بود که مراحل آموزش به کمک این الگوریتم عبارتند از: الف- اختصاص ماتریس وزن به هریک از اتصالات؛ ب- انتخاب بردار ورودی و خروجی متناسب با آن؛ (پ) محاسبه خروجی نرون در هر لایه و در نتیجه محاسبه خروجی نرون ها در لایه خروجی؛ ت- به هنگام سازی وزن ها به روش انتشار خطای شبکه به لایه های قبل که خطای یاد شده ناشی از اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی محاسبه شده است؛ ث- ارزیابی عملکرد شبکه آموزش دیده به کمک برخی شاخص های تعریف شده مانند جذر میانگین مربعات خطا (MSE)؛ سرانجام برگشت به مرحله پ- یا پایان آموزش. نمونه ای از ساختار شبکه سه لایه ای متشکل از یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی در شکل ۲ نشان داده شده است Khanna، Dayhoff (۹و۱۰).

1- Multi layer perceptron

2-Back propagation



شکل ۲- نمای کلی یک شبکه عصبی مصنوعی سه لایه

Fig.2- An artificial neural network layer overview

۲-۴- معیار ارزیابی

در این تحقیق به منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل ها، از نمایه های میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE : Mean basin Error) ،میانگین خطای مطلق (MAE : Mean absolute Error)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE : Root mean squard Error) ، و انحراف استاندارد عمومی (GSD : General standard Deviation) طبق روابط زیر استفاده گردید.

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}[z^*(x_i)-z(x_i)]}{n} \quad (۵)$$

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}|z^*(x_i)-z(x_i)|}{n} \quad (۶)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[z^*(x_i)-z(x_i)]^2}{n}} \quad (۷)$$

$$GSD=\frac{RMSE}{\bar{z}(x)} \quad (۸)$$

n: تعداد نقاط مشاهده ای، $\bar{z}(x)$: میانگین مقادیر مشاهده ای، z*(xi) : مقادیر برآوردی برای نقطه i ام و z(xi) : مقادیر مشاهده ای برای نقطه i ام است .

بحث و نتایج

به منظور درون یابی سطح آب زیر زمینی از روش های زمین آمار شامل کریجینگ و کوکریجینگ استفاده گردید. در مرحله اول ۱۰ چاه مشاهده ای را به عنوان چاه شاهد در نظر گرفته و به وسیله بقیه چاه های مشاهده ای مقدار عمق چاه های شاهد با روش های یاد شده برآورد گردید. در مرحله بعد این کار با ۱۶ چاه انجام یافته و ۵ چاه باقی‌مانده به عنوان چاه شاهد انتخاب شده است در نهایت یک چاه حذف و با بقیه چاه های مشاهده ای مقدار عمق آن چاه باقی مانده شاهد برآورد گردید این مراحل برای تمامی چاه های مورد مطالعه انجام یافت، در نهایت به تعداد چاه های مشاهده ای مقادیر برآوردی حاصل گردد. در نهایت نتایج حاصل از روش های زمین آمار با مدل هوشمند شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شد. مقادیر طول و عرض جغرافیایی به عنوان پارامترهای ورودی و نوسانات سطح آب به عنوان خروجی مدل انتخاب گردید. تعداد ۸۰٪ از داده ها (۱۷۶رکورد)، به منظور آموزش و ۲۰٪ بقیه (۴۴رکورد)، برای صحت سنجی انتخاب شد یک نکته مهم در آموزش شبکه های عصبی نرمال سازی داده ها قبل از استفاده در مدل می باشد این عمل خصوصا وقتی دامنه تغییرات ورودی ها زیاد باشد، کمک شایانی به آموزش بهتر و سریع تر مدل می کند. اصولا وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود (۱۱). برای نرمال سازی داده های تحقیق از رابطه ۹ استفاده شده است:

$$X_n=0.1+0.8\frac{X_i-X_{min}}{X_{max}-X_{min}} \quad (۹)$$

که در آن X_n مقدار نرمال شده ورودی X_i، X_{max} و X_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل داده ها می باشد.

۱- نتایج زمین آمار

کوکریجینگ یک روش زمین آمار برای درون یابی داده ها و بر اساس واریانس فضایی است. کریجینگ همراه هر تخمین مقدار خطای آن را نیز ارایه می دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد می توان قسمت هایی را که در انجام خطا زیاد می باشد، را شناسایی نمود(گلمحمدی، ۵). این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی می باشد و برای بیان تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می شود و خطای پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده های پیش بینی شده کمینه می کند (۱۲).

از جمله توابع واریوگرام می توان به تابع کروی، دایره، گوسی، چند جمله ای و ... اشاره کرد. بهترین تابع واریوگرام آن است که کم‌ترین خطا را به خود اختصاص بدهد و درون یابی بر

مبنای آن انجام می گردد. معیار دقت، ریشه دوم میانگین مربع خطا RMSE[1] انتخاب شده است (۱۳).

به منظور درون یابی سطح آب زیر زمینی از روش های زمین آمار استفاده شده است. همچنین پس از برآورد کردن نقاط فاقد آمار به وسیله دو روش کریجینگ و کوکریجینگ مقادیر تخمین زده مورد بررسی قرار گرفته که در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که در جدول یاد شده نشان داده شده است، روش کوکریجینگ در مرحله دایره ای نسبت به سایر روش ها، عملکرد قابل قبول تری داشته است که در این روش میانگین خطای اریب یا انحراف ۰/۰۰۰۱، میانگین خطای مطلق ۰/۰۳۴۷، جذر میانگین مربع خطا۰/۰۴۵۱mو انحراف استاندارد عمومی۲۰/۳۰۰ در اولویت قرارگرفت.

1- Root Means Square Error

جدول ۱-نتایج به دست آمده از روش های زمین آمار

Table1- The results of geostatistical methods

روش	مدل	GSD	MAE	MBE	RMSD
UK	دایره	۷۰/۳۴	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۷
	کروی	۸۵/۶۵	۰/۰۹	۰/۰۵۱	۰/۲
	نمایی	۸۶/۸۷	۰/۱	۰/۰۱	۰/۲۵
	گوسین	۷۹/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۶
OK	دایره	۸۳/۴۲	۰/۰۹۴	۰/۰۱	۰/۲۶۱
	کروی	۸۳/۶۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۳۶۱
	نمایی	۸۷/۴۵	۰/۰۷۱	۰/۰۹	۰/۲۸
	گوسین	۷۵/۴۵	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۷۸
SK	دایره	۷۰/۳۷	۰/۷۹	۰/۰۱۵	۰/۱۵
	کروی	۷۹/۶۳	۰/۰۰۸	۰/۰۱۶	۰/۱۷
	نمایی	۸۳/۶۹	۰/۱۵	۰/۰۲۱	۰/۱۴
	گوسین	۹۰/۶۲	۰/۱۲۱	۰/۰۲۵	۰/۱۵
UK-CO	دایره	۲۰/۵۸	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۶۲۱
	کروی	۲۱/۵۷	۰/۰۴۹۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۶۱۲
	نمایی	۲۸/۴۱	۰/۶۳۳۱	۰/۰۰۸۱	۰/۰۶۱۳
	گوسین	۳۵/۳۱	۰/۶۱۲	۰/۰۰۸	۰/۹۱۵۵
OK-CO	دایره	۲۵	۰/۰۳۶	۰/۰۳	۰/۰۴
	کروی	۲۷	۰/۰۵	۰/۰۱۷	۰/۰۵۸
	نمایی	۲۴	۰/۰۵	-۰/۰۰۵	۰/۰۷
	گوسین	۳۵/۸۱	۰/۰۵۲۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۹۴۳
SK-CO	دایره	۲۰/۳	۰/۰۳۴۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۴۵۱
	کروی	۲۶/۷۳	۰/۰۵۲۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۲۱
	نمایی	۲۷/۴۲	۰/۰۵۱۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۶۵۲
	گوسین	۲۰/۳۷	۰/۵۲۱	۰/۰۰۶	۰/۰۵۷۲

۲- نتایج شبکه عصبی مصنوعی

به منظور درون یابی سطح آب زیرزمینی دشت نورآباد از مدل شبکه عصبی مصنوعی از نوع شبکه پرسپترون چند لایه با لایه پنهان با تعداد نرون های متفاوت استفاده شده است. تابع تانژانت هیپربولیک متداول ترین شکل از توابع محرک است، که در این تحقیق از آن برای ساخت لایه خروجی شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شد. آموزش شبکه های پرسپترون چند لایه با استفاده از الگوریتم آموزش پس انتشار خطا بنام الگوریتم لونبرگ ـ مارکوارت به دلیل همگرایی سریع تر در آموزش شبکه، استفاده شد. همچنین از ترکیبات مختلف توابع

محرک در لایه (های) مخفی استفاده گردید. تعداد تکرارهای لازم در فرآیند یادگیری شبکه ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده و عملکرد شبکه به کمک معیار میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفته است. تعداد نرون های موجود در لایه های ورودی و خروجی با توجه به ماهیت مساله مورد بررسی مشخص شده، حال آن که تعداد نرون های موجود در لایه پنهان با سعی و خطا در جهت کاهش مقدار خطا مشخص گردید. روند کار با تعداد نرون های کم آغاز و افزودن نرون های اضافی تا زمانی ادامه می یابد که افزایش نرون های بیش‌تر تاثیری در بهبود خطا نداشته باشد که شبکه ای با ۶ نرون در لایه پنهان اول با میانگین خطای اریب یا انحراف ۰/۲۰۹-، میانگین خطای مطلق ۰/۱۶۶، جذر میانگین مربع خطا ۰/۴۵۷m و انحراف استاندارد عمومی۰/۹۴۰ به عنوان بهترین شبکه در فرآیند تخمین حاصل شد. در جدول ۲ نتایج حاصل از مقایسه عملکرد ساختار های مختلف به کار رفته به همراه پارامترهای آماری داده های بخش آموزش و صحت سنجی ارایه شده است.

جدول۲- ساختار و توابع محرک بهینه در مدل سازی شبکه های عصبی مصنوعی و شاخص های آماری در مراحل آموزش و صحت سنجی

Table2- Structure and functions for optimum driving in artificial neural network modeling and statistical indexs (in the training and validation

		آموزش				صحت سنجی			
مدل	ساختار	MBE	MAE	RMSE (m)	GSD	MBE	MAE	RMSE (m)	GSD
۱	۲-۲-۱	-۰/۵۳۴	۰/۰۸۲	۰/۷۳۱	۱/۴۳۳	-۰/۵۱۱	۰/۱۲۸	۰/۷۱۵	۱/۴۷۰
۲	۲-۳-۱	-۰/۴۷۶	۰/۰۹۸	۰/۶۹۰	۱/۳۵۳	-۰/۴۴۱	۰/۱۲۷	۰/۶۶۴	۱/۳۶۶
۳	۲-۴-۱	-۰/۴۵۹	۰/۰۹۸	۰/۶۷۷	۱/۳۲۸	-۰/۴۶۵	۰/۱۲۴	۰/۶۸۱	۱/۴۰۱
۴	۲-۵-۱	-۰/۴۷۶	۰/۰۸۹	۰/۶۹۰	۱/۳۵۳	-۰/۴۴۱	۰/۱۲۲	۰/۶۶۴	۱/۳۶۶
۵	۲-۶-۱	-۰/۲۵۰	۰/۱۴۳	۰/۵۰۰	۰/۹۸۰	-۰/۲۰۹	۰/۱۶۶	۰/۴۵۷	۰/۹۴۰
۶	۲-۷-۱	-۰/۴۳۰	۰/۱۰۳	۰/۶۵۵	۱/۲۸۵	-۰/۵۱۱	۰/۱۴۶	۰/۷۱۵	۱/۴۷۰
۷	۲-۸-۱	-۰/۴۶۵	۰/۱۰۳	۰/۶۸۱	۱/۳۳۷	-۰/۴۸۸	۰/۱۳۵	۰/۶۹۸	۱/۴۳۶
۸	۲-۱۰-۱	-۰/۵۸۷	۰/۰۸۸	۰/۷۶۶	۱/۵۰۲	-۰/۵۱۱	۰/۱۱۷	۰/۷۱۵	۱/۴۷۰
۹	۲-۱۲-۱	-۰/۵۶۹	۰/۰۸۱	۰/۷۵۴	۱/۴۷۹	-۰/۳۹۵	۰/۱۲۹	۰/۶۲۸	۱/۲۹۲
۱۰	۲-۱۴-۱	-۰/۴۹۴	۰/۰۸۰	۰/۷۰۲	۱/۳۷۸	-۰/۴۱۶	۰/۱۱۱	۰/۶۴۶	۱/۳۲۹
۱۱	۲-۱۵-۱	-۰/۵۲۹	۰/۰۸۴	۰/۷۲۷	۱/۴۲۶	-۰/۴۸۸	۰/۱۲۶	۰/۶۹۸	۱/۴۳۶

۳- مقایسه عملکرد مدل ها

در ادامه با انتخاب جواب بهینه هر کدام از روش های مورد بررسی و مقایسه آن ها با یکدیگر مشخص شد، هر دو روش با دقت خوبی می توانند سطح آب زیرزمینی را برآورد کنند. همان طور که در جدول۳ مشاهده می شود، از بین روش های به کار رفته، روش کوکریجینگ در مدل دایره ای با میانگین خطای

اریب یا انحراف ۰/۰۰۰۱، میانگین خطای مطلق ۰/۰۳۴۷، جذر میانگین مربع خطا ۰/۰۴۵۱m و انحراف استاندارد عمومی ۲۰/۳۰۰ انتخاب گردید. مقایسه نتایج روش کریجینگ و کوکریجینگ حاکی از نزدیک بودن نتایج این دو روش می باشد. همان طور که در شکل ۳ قابل مشاهده است روش زمین آمار از نوع کوکریجینگ اکثر مقادیر را نزدیک به مقدار واقعی تخمین زده است، در حالی که روش شبکه عصبی مصنوعی در تخمین مقادیر ضعیف عمل کرده است. لازم به ذکر است روش کوکریجینگ در تخمین مقادیر کمینه و بیشینه عملکرد قابل قبولی دارد.

جدول۳-نتایج نهایی حاصل از آموزش وصحت سنجی مدل‌های زمین آمار(کوکریجینگ) و شبکه عصبی مصنوعی

Table3- The final results of the training and validation Geostatistical models (Cokriging) and artificial neural network

	MBE	MAE	RMSE	GSD
کوکریجینگ	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۴۷	۰/۰۴۵۱	۲۰/۳۰۰۰
شبکه عصبی مصنوعی	-۰/۰۲۰۹	۰/۱۶۶۰	۰/۴۵۷۰	۰/۹۴۰۰

شکل۳- نموار پراکنش و مشاهداتی - محاسباتی مقادیر بهینه مدل شبکه عصبی مصنوعی و روش زمین آمار(کوکریجینگ) برای داده های ثبت شده

Fig.3-The scatter plot and observations - calculated optimum amount of artificial neural network model and geostatistical methods (Cokriging) for the recorded data

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر از روش های زمین آمار جهت درون یابی سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده های دشت نورآباد استفاده گردید. نتایج به دست آمده از روش های زمین آمار با مدل هوشمند شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شد. در نهایت نتایج پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

روش کریجینگ ساده با مدل دایره ای در دشت نورآباد نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی خطای کم‌تری را دارد که

با نتایج میثاقیو گلمحمدی همخوانی داشته است که در تبیین این نتایج میتوان بیان نمود در روش کوکریجینگ قسمت های دارای خطا را شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با استفاده از واریوگرام خطای پیش بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده های پیش بینی شده کمینه می کند. در حالیکه در مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل کم بودن تعداد داده ها، آموزش شبکه به کندی صورت گرفته و خطای بیش‌تری ایجاد می نماید که با نتایج Tokar مطابقت دارد.

در مجموع نتایج تحقیق نشان داد که روش کوکریجینگ ساده با مدل دایره ای عملکرد بهتری را در درون یابی و همچنین تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت نورآباد داشته است. همان طور که در نتایج تحقیقات گلمحمدی و Mckenna این امر به اثبات رسیده است. همچنین این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش کوکریجینگ می‌تواند در زمینه درون یابی و تخمین سطح آب زیرزمینی استفاده شود.

منابع

1. Ben-jama, F., M. A. Mario and H. A. loaiciga. Multivariate geostatistical design of ground water monitoring network. J. water Res. Pi, 1994. 120(4): 505-522.

۲. رحیمی بندر آبادی، س.. بررسی کاربرد روش های ژئواستاتیستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد بیابان زدایی، دانشکده منبع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۳۷۹

۳. صفری،م. تعیین شبکه بهینه اندازه گیری سطح آب زیرزمینی به کمک روش های زمین آماری مطالعه موردی دشت چمچال. ۱۳۸۱

۴. میثاقی، ف. توسعه الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۱۳۸۳

۵. گلمحمدی، گ.، معروفی، ص.، محمدی، ک.. منطقه ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش های زمین اماری و GIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی،۱۳۸۶. شماره ۴۶، صص ۱۴.

6. Nguyen, R. T., Prentiss and j. E. shively..Rainfall interpolation for santa Barbara county. UCSB, Department Geography, USA. 1988
7. Mckenna, S. A.. Simulating geological uncertainty with imprecise data for ground water flow and advective transport modeling. pp 1-15. Department of geology and geological Engineerig. Colorado school of mines Golden. Colorado, U.S.A. 2002
8. Tokar, A.s. Johnson, P.A..”Rainfall-Runoff modeling using artificial neural networks”. Journal of Hydrology Engineering.1999. Vol. 3. 232-239.
9. Khanna T. Foundation of neural networks: Addison-Wesley Series in New Horizons in Technology. 1st ed. New York: Addison-Wesley; 1990.
10. Dayhoff JE. Neural Network Principles. 1st ed. New York: Prentice-Hall International; 1990.
11. Zhu, Y.M., X.X. Lu and Y. Zhou. 2007. Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang River in the Upper Yangtze Catchment. Geomorphology, 84: 111-125.

۱۲. معروفی، ص.، ترنجیان، ا.، زارع ابیانه،ح.، ارزیابی روش های زمین امار جهت تخمین هدایت الکتریکی و PH زه آب آبراهه ای دشت همئان- بهار، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ج ۱۶، ش دوم، ۱۶۹- ۱۷۶..۱۳۸۸

۱۳. رضایی،م.، دواتگر، ن.، تاجداری،خ.، ابولپور،ب.، " بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص های کیفی آبهای زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار"، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴ ، شماره۵،۹۳۲- ۹۴۱. ۱۳۸۹