

بررسی امکان جایگزینی روش ANFIS به جای روش‌های متداول میان‌یابی و زمین آمار در تخمین تغییرات مکانی سطح ایستابی زیرزمینی

حسین شریفان^۱، علی طاهری امیری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۱

چکیده

تغییرات سطح آب زیرزمینی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در مطالعه و مدیریت منابع آب زیرزمینی جهت کاربرد در کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد. کمبود تعداد نقاط برداشت و تعداد قرائت، به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی، دسترسی به این اطلاعات را محدود می‌نماید. بنابراین کاربرد روش‌های میان‌یابی و تخمین سطح آب در نقاط مشخص بر اساس اطلاعات نقاط همجوار از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات منابع آب زیرزمینی برخوردار است. در این پژوهش روش‌های متداول میان‌یابی، روش زمین آمار کریجینگ و سیستم هوش مصنوعی استنتاج عصبی-فازی تطبیقی برای اراضی دشت ناز شهرستان ساری مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پژوهش نشان می‌دهد که سه روش انحنای کمینه، کریجینگ و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی به ترتیب با مقادیر RMSE، ۵۶/۳۲، ۵۵/۱۲ و ۵۳/۹۷ سانتی‌متر و میانگین خطای مطلق ۴۳، ۴۲، ۵۴ و ۴۲، ۹۴ درصد و همین‌طور مقادیر R^2 ۰/۵۶، ۰/۵۴ و ۰/۵۵، از دقت تقریباً یکسانی در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برخوردارند اگرچه که به دلیل نوسانات زیاد سطح آب در این اراضی که بین ۱۲ تا ۳۱۵ سانتی‌متر متغیر می‌باشد، هیچ کدام از این روش‌ها از دقت بالا و قابل قبولی برخوردار نیستند. علاوه بر این در سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی، روش منقطع سازی با تابع عضویت trapmf در لایه ورودی و ۵ عدد تابع به ازای هر ورودی و تابع عضویت constant برای لایه خروجی به همراه الگوریتم یادگیری پیوندی و در روش‌های متداول میان‌یابی و کریجینگ پارامترهای پیش‌فرض‌های نرم افزار surfur بهترین نتایج را به دست می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: سطح آب زیرزمینی، میان‌یابی، زمین آمار، سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی

مقدمه

آب در در نقاط مشخص بر اساس اطلاعات نقاط همجوار از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات منابع آب زیرزمینی برخوردار است. روش‌های میان‌یابی در دهه ۱۹۶۰ ابداع شدند و کاربرد آن‌ها در استخراج معادن و سپس در علوم دیگر گسترش یافت. در علوم و مهندسی آب نیز کاربردهای فراوانی از روش‌های میان‌یابی در برآورد چگونگی توزیع بارندگی و تخمین پارامترهای ژئوهیدرولوژی مانند مقدار رطوبت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، اسیدیته و تعیین سطح ایستابی به چشم می‌خورد (طباطبایی و غزالی، ۱۳۹۰) روش دیگری که اخیراً در تخمین چنین پارامترهایی مؤثر نشان داده، سیستم‌های فازی-عصبی^۳ (ANFIS) می‌باشد. ANFIS از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند. تحقیقات انجام شده کارایی ANFIS را در زمینه‌های مختلف علوم آب (تبخیر از تشت، پیش‌بینی جریان رودخانه، پیش‌بینی فواصل

افزایش جمعیت، کمبود منابع آب سطحی و استفاده بیش از حد از منابع آب، آب‌های زیرزمینی را به عنوان یکی از منابع مهم و عمده تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح نموده است. اطلاع از توزیع مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی و به تبع آن پیش‌بینی سطح ایستابی در بسیاری از مسائل مهندسی، مطالعات هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژی، زهکشی، کشاورزی و تصمیمات مدیریتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در عمل به دلیل کمبود تعداد نقاط برداشت، کمبود تعداد قرائت و دیده‌بانی در اثر مسائل مالی و محدودیت‌های زمانی، دسترسی به این اطلاعات محدود می‌باشد. بنابراین کاربرد روش‌های میان‌یابی و تخمین سطح

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

ساری

(Email: taheri53ali@yahoo.com)

(* نویسنده مسئول)

سطح آب زیرزمینی در اراضی مورد مطالعه، انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

اراضی شرکت زراعی دشت ناز ساری به مساحت حدود ۳۱۰۰ هکتار واقع در شمال شرقی شهرستان ساری، استان مازندران با طول جغرافیایی ۵۳ و ۱۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ و ۳۷ درجه قرار دارد. عمده محصولات این اراضی گندم، سویا، ذرت و برنج می‌باشد.

متوسط بارندگی سالیانه این اراضی بین ۶۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در نوسان است و از نظر اقلیمی دارای آب و هوای مرطوب است شیب کلی اراضی طرح حدود ۳ در هزار و از جنوب غربی به شمال شرقی بوده و کل اراضی به حدود ۶۰ بلوک با مساحت‌های مختلف تقسیم بندی شده است.

در چند سال اخیر به دلایل متفاوت از جمله افزایش عملیات مکانیزاسیون (ضریب کشت بالاتر این اراضی) و نوع بافت خاک خاص (رسی بالا) بخش‌های عمده‌ای از این اراضی به‌طور موضعی با مشکل بالا بودن سطح ایستایی و به دنبال آن با کاهش محصول مواجه شده است.

به‌منظور مطالعه وضعیت سطح آب زیرزمینی این اراضی، یک شبکه چاهک مشاهداتی در فواصل ۵۰۰ * ۵۰۰ متر و در عمق ۳ متر (۸۱ چاهک مشاهداتی) حفر و استفاده گردید. آمار عمق آب زیرزمینی چاهک‌ها در ۷ نوبت از اوایل دی ماه ۱۳۸۸ تا اواسط اردیبهشت ۱۳۸۹ قرائت گردیده است. آمار چاهک‌های ناقص نیز به روش همبستگی خطی (آمار ۱۵ فروردین ماه ۸۹ به دلیل داشتن آمار کامل دوره آماری مبنا در نظر گرفته شد)، تکمیل و بازسازی گردید. روش‌های متداول میان‌یابی و زمین آمار

در هنگام خلق نقشه‌ها باید از روش‌هایی برای پرکردن فضای خالی بین نقاط اندازه‌گیری شده استفاده نمود. در عمل، داده‌ها را باید گسترش داد تا ارزش یک متغیر را در بین نقاط نمونه‌برداری شده از مزرعه برآورد نمود. این روش تخمین میان‌یابی نامیده می‌شود. میان‌یابی روشی برای تخمین مقادیر نامعلوم با استفاده از مقادیر معلوم در نقاط همجوار می‌باشد. استفاده از این روش در پهنه‌بندی پارامترها بر این منطق استوار است که کمیت یک متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده را می‌توان با ترکیب خواص نمونه‌های هم‌جوار آن برآورد نمود. روش تواندهی عکس فاصله (IDP) $Inverse\ Distance\ to\ a\ Power$

واسطه‌یابی به‌وسیله میانگین وزنی داده‌ها انجام می‌شود یعنی تأثیر نسبی یک نقطه با دور شدن از شبکه کاهش می‌یابد.

روش انحناى کمینه (MC) *Minimum Curvature*

روش کم‌ترین انحنا به‌طور گسترده در علم زمین شناسی استفاده می‌شود. سطحی که با این روش ساخته می‌شود شبیه صفحه نازک کثسان است که با انحناى کم از داده‌ها می‌گذرد.

زهکش‌ها). نشان می‌دهد (عباس پلنگی و همکاران، ۱۳۸۶).

ارزیابی روش ANFIS توسط کرتولوس و فلیپو برای میان‌یابی ارتفاع هیدرولیکی نشان داده که مدل‌های ANFIS نسبت به تعداد و نوع تابع عضویت حساسیت زیادی برخوردارند (Kurtulus and Nicolas, 2012).

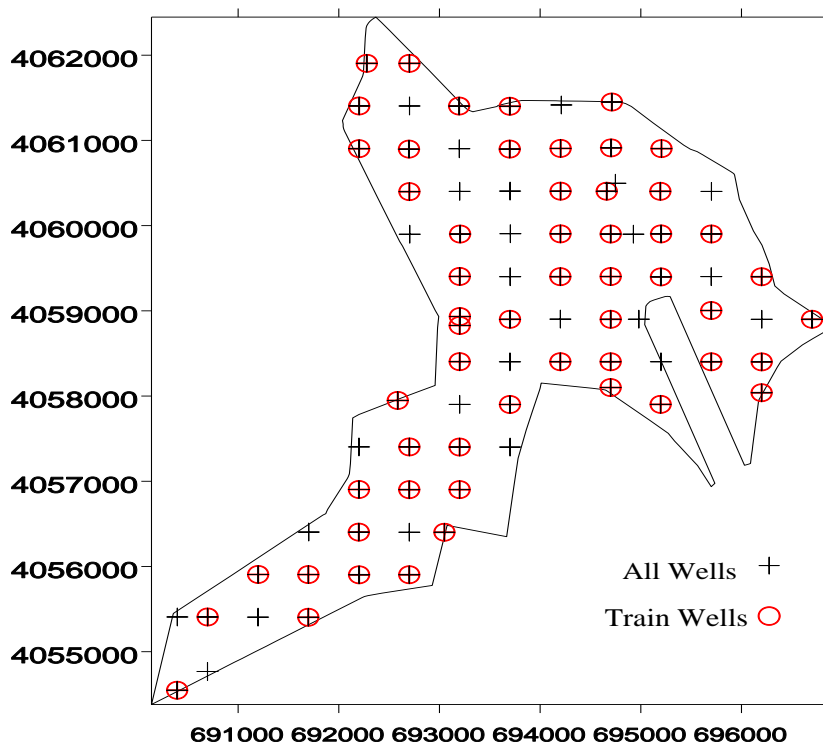
نیکرو و همکاران روش کریجینگ را برای میان‌یابی عمق و سطح آب زیرزمینی در حوزه موهر در استان فارس مورد ارزیابی قرار دادند. مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که مدل در مناطق میانی محدوده از دقت بالاتری برخوردار است و تقسیم اراضی به زیر حوضه‌های دارای خصوصیات مشترک هیدروژئولوژیکی بر دقت میان‌یابی می‌افزاید (Nikroo et al, 2010).

مطالعه تقی زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۸۷)، نشان می‌دهد که از بین روش‌های زمین آمار، روش کریجینگ بهترین روش برای میان‌یابی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت رفسنجان می‌باشد. دهقانی و همکاران (۱۳۸۸) سه روش را برای میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در دشت قزوین مورد ارزیابی قرار دادند. تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که روش سیستم استنتاجی فازی - عصبی با ضریب همبستگی ۰/۹۸ از بالاترین دقت برخوردار است و روش کریجینگ نتایج نزدیکی نسبت به روش پرسپترون چند لایه دارد ولی نتایج بهتری نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی توابع پایه شعاعی ارائه نموده است.

مطالعه فرهمند و همکاران برای بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی نشان داده که سیستم ANFIS در مقایسه با ANN و کریجینگ کارایی بالاتری در تخمین توضیح مکانی و زمانی میزان EC و CL در آبخوان فیروز آباد استان فارس دارد (Farahmand et al, 2010).

تحقیقات طباطبایی و غزالی (۱۳۹۰) برای ارزیابی ۱۲ روش میان‌یابی جهت تخمین سطح آب زیرزمینی در دشت‌های فارس - جونقان و سفید دشت نیز نشان می‌دهد که توان‌دهی عکس فاصله و اصلاح شده شپارد به ترتیب بهترین روش‌ها برای دشت سفید دشت و فارس - جونقان و روش‌های میانگین متحرک و انحناى کمینه و رگرسیون چند جمله‌ای درای بیش‌ترین میزان خطا می‌باشند. بررسی فوق نشان می‌دهد که روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد یک متغیر، به نوع آن و عوامل منطقه‌ای تأثیر گذار بر آن بستگی دارد و نم‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد.

لذا این تحقیق به منظور بررسی امکان استفاده از کارآمدی و توانائی سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی جهت میان‌یابی سطح آب و مقایسه نتایج آن با روش‌های متداول میان‌یابی و زمین آمار و مقایسه دقت سه روش به‌منظور انتخاب گزینه بهتر برای میان‌یابی



شکل ۱- تصویر محدوده اراضی مورد مطالعه با نقاط چاهک‌های مشاهداتی

جدول ۱- آماره های داده های سطح ایستابی در دوره اندازه گیری

ضریب تغییرات	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	میانه	متوسط	حداقل	حداکثر	
۰/۳۰۴	۲/۱۷	۰/۱۹۷	۵۳/۷۵	۱۶۸	۱۷۸	۶۰	۳۰۲	۱۶ اردیبهشت
۰/۴۰۷۵	۲/۱۲	۰/۲۹۶	۶۲/۵۴	۱۴۵	۱۵۳/۴۷	۴۰	۲۸۹	۱۵ فروردین
۰/۴۱۶۲	۲	-۰/۱۳۲	۷۰/۵۸	۱۸۰	۱۶۹/۶	۲۸	۳۰۲	۲۴ اسفند
۰/۴۲۳۸	۲/۴	-۰/۵۰۴۷	۷۴/۳۴	۱۹۱	۱۷۵/۴۱	۱۲	۳۱۵	۲۰ بهمن
۰/۳۰۰۱	۲/۲	۰/۳۷۰۴	۵۳/۰۴	۱۶۵	۱۷۶/۷	۷۹	۳۰۲	۴ بهمن
۰/۴۳۱	۲/۳	۰/۲۸۷۹	۶۳/۱۲	۱۳۵	۱۴۶/۵	۲۸	۲۸۹	۲۱ دی
۰/۴۱۹	۲/۳۱	۰/۱۴۵	۶۳/۶	۱۵۱	۱۵۱/۷	۲۸	۲۹۱	۶ دی

داده‌ها است.

روش توابع پایه شعاعی (RBF) Radial Basis Function

ترکیبی از روش‌های مختلف برای تولید سطح صاف است.

روش مثلث‌بندی با میان‌یابی خطی (TLI) *Triangulation with Linear Interpolation*

این روش مثلث‌های بهینه‌ای را با وصل خطوطی بین نقاط داده ایجاد می‌کند.

روش میانگین متحرک (AM) *Average Moving*

این روش مقادیری را که با میانگین‌گیری از داده‌های داخل بیضوی نقاط شبکه به دست می‌آید به گره‌های شبکه اختصاص می‌دهد.

روش چند جمله‌ای مکانی (LP) *Local Polynomial*

روش اصلاح شده شپارد (Msh) *Modified Shepard's Method*

این روش شبیه به روش *IDP* است با این تفاوت که معادلات کم‌ترین مربعات حل شده، به صورت محلی است.

روش نزدیک‌ترین همسایگی طبیعی (NEN) *Natural Neighbor*

این روش از طریق ایجاد مثلث‌های متشابه و تصحیح آن‌ها بعد از اضافه شدن داده جدید، کار می‌کند.

روش نزدیک‌ترین همسایه (NAN) *Nearest Neighbor*

این روش مقادیر نزدیک‌ترین نقطه را به هر گره شبکه اختصاص می‌دهد.

روش رگرسیون چند جمله‌ای (PR) *Polynomial Regression*

این روش برای تعریف روندها و خصوصیات بزرگ مقیاس در

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad i = 1,2 \quad (2)$$

$$O_{1,i} = \mu_{A_{i-2}}(y) \quad i = 3,4 \quad (3)$$

این کار با استفاده از تابع عضویت انجام می‌شود. توابع عضویت انواع متفاوتی دارد که از جمله آن می‌توان به توابع دوزنقه‌ای، مثلثی، سیگموئید، تابع pi، تابع dsig، و تابع زنگوله‌ای شکل، که حالت کلی تری از آن‌ها را شامل می‌شود.

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \quad (4)$$

مجموعه $\{a_i, b_i, c_i\}$ پارامترهای تطبیقی یا S_1 نامیده می‌شوند.

لایه دوم (گره‌های قاعده) 2 که در آن مقادیر ورودی به هر گره در هم ضرب شده و حاصل که وزن قانون‌ها می‌باشد به دست می‌آید.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad i = 1,2 \quad (5)$$

لایه سوم (گره‌های متوسط) 3 که گره‌های این لایه بر اساس رابطه (۵) وزن قانون‌ها را نرمال سازی می‌کند.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1} w_i} \quad i = 1,2 \quad (6)$$

لایه چهارم 4 که لایه قوانین نامیده می‌شود و در این لایه قانون‌ها بر اساس پارامترهای متعاقب به دست می‌آیند

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = w_i (p_i + q_i + r_i) \quad i = 1,2 \quad (7)$$

به مجموعه $S_2 = \{p_i, q_i, r_i\}$ که ضرایب این ترکیب خطی هستند پارامترهای متعاقب گویند.

لایه پنجم (گره‌های خروجی) 5 که آخرین لایه شبکه می‌باشد تنها شامل یک تک گره بوده که با جمع کردن همه مقادیر ورودی به آن خروجی کل را تعیین محاسبه می‌کند.

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (8)$$

سیستم عصبی-فازی روش متداول آموزش سیستم استنتاج فازی نوع ساجینو می‌باشد که از الگوریتم یادگیری پیوندی برای تعیین پارامترهای سیستم فازی به منظور آموزش مدل استفاده می‌کند. این شبکه بر اساس یادگیری با نظارت، آموزش داده می‌شود. بنابراین هدف ما آموزش شبکه‌های تطبیقی است که قادر به تخمین توابع نامشخص حاصل از اطلاعات آموزش بوده و مقدار دقیقی برای

در این روش مقادیر محاسبات به روش کمترین مربعات بر روی بیضوی به گره‌های شبکه اختصاص داده می‌شود (۵).

روش کریجینگ (KR) Kriging

این روش قابل اطمینان‌ترین روش بین روش‌های واسطه‌یابی است و در بسیاری از زمینه‌ها کاربرد دارد.

در بررسی آمار کلاسیک، نمونه‌های به دست آمده از جامعه، عمدتاً به صورت تصادفی در نظر گرفته می‌شود و مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت در یک نمونه خاص هیچگونه اطلاعاتی در باره مقدار همان کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت. در صورتی که در زمین آمار می‌توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه‌ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. هم‌چنین در آمار کلاسیک فرض می‌شود که تغییر پذیری یک متغیر تصادفی است، در صورتی که در زمین آمار بخشی از آن تصادفی و بخش دیگر آن دارای ساختار و تابع فاصله و جهت می‌باشد.

$$Z(x) = m(x) + l(x) \quad (1)$$

که در آن $Z(x)$: مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقطه‌ای با مختصات (x) ، $m(x)$: مؤلفه قطعی متغیر ناحیه‌ای و $l(x)$: مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای می‌باشد.

بنابراین در زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد.

در صورتی که متغیر ناحیه‌ای دارای ساختار مکانی مناسبی باشد، تحلیل‌های بسیاری از جمله برآورد متغیر مورد نظر در نقاط فاقد آمار، طراحی نمونه‌برداری و توزیع واریانس خطا، را می‌توان به عمل آورد (Richard et al, 1988).

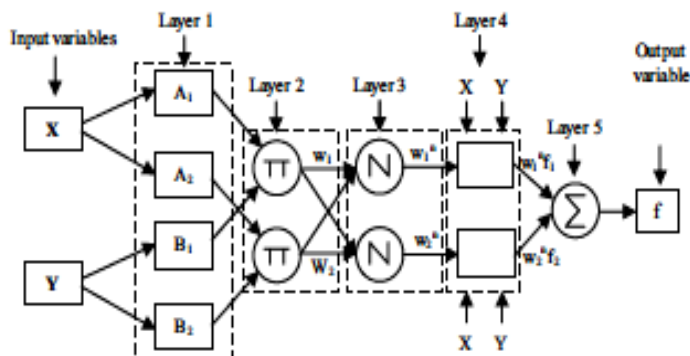
سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی

از زمان ارائه نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی عسکرزاده دانشمند ایرانی تبار و استاد دانشگاه برکلی، تاکنون گسترش زیادی یافته و کاربردهای گوناگونی در زمینه‌های مختلف پیدا کرده است. در سال ۱۹۹۲ جانگ با مد نظر قرار دادن توانایی‌های تئوری فازی و شبکه عصبی مدل استنتاج تطبیقی عصبی- فازی را ارائه کرد.

یک ساختار مدل ANFIS از ۵ لایه تشکیل می‌گردد (شکل ۱):
لایه اول (لایه ورودی‌ها) 1 در این لایه هر ورودی به چند مجموعه فازی تقسیم شده و مقرر می‌گردد که هر مجموعه فازی به چه بازه‌ای تعلق می‌گیرد.

- ۲ -Rule Nodes
- ۳ -Average Nodes
- ۴ -Consequent Nodes
- ۵ -Output Nodes

- ۱ -Input Nodes



شکل ۱- یک نمونه ساختار مدل ANFIS

گرفت.

نتایج و بحث

به دلیل اینکه آمار برداشت شده در تاریخ ۲۰ بهمن ۱۳۸۸ دارای بیشترین انحراف معیار، چولگی، ضریب تغییرات و کشیدگی می باشد (جدول ۱) و در این تاریخ حداکثر و حداقل برداشت سطح آب در کل دوره واقع شده این تاریخ به عنوان مینا انتخاب گردیده و مقایسه روش های میان یابی برای این تاریخ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با اعمال هر کدام از روش های میان یابی در مورد داده های عمق سطح ایستابی اراضی مورد نظر در ۲۰ بهمن سال ۱۳۸۸، میان یابی صورت گرفت. برای ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از میان یابی های تولید شده محاسبه شد. در این مرحله برای بررسی خطای روش های متداول میان یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین تراز سطح ایستابی از فن اعتبارسنجی متقابل (Cross-validation) استفاده شد.

پس از تعیین بهترین روش میان یابی بر اساس جدول ۲ با توجه به کمترین میانگین خطای مطلق و $RMSE$ به ترتیب به میزان ۲۹/۵۶ سانتی متر و ۴۳/۹ و بالاترین ضریب R^2 برابر ۰/۶۶ روش انحنای کمینه به عنوان مناسب ترین روش تعیین گردید.

از آنجا که در روش ANFIS امکان ارزیابی به روش اعتبارسنجی متقابل ممکن نمی باشد برای ارزیابی سه روش انحنای کمینه، کریجینگ و سیستم استنتاجی عصبی-فازی تطبیقی از مجموع اطلاعات ۸۱ چاهک مشاهداتی ۵۷ سری (۷۰ درصد) برای آموزش روش ها و ۲۴ سری (۳۰ درصد) نیز برای ارزیابی نتایج

ویژگی متمایزکننده ANFIS، فراهم کردن الگوریتم یادگیری پیوندی، روش شیب گرادیان و روش حداقل مربعات، به منظور اصلاح پارامترها می باشد (Jange et al,1997)

با اعمال هر کدام از روش های میان یابی در مورد داده های عمق سطح ایستابی اراضی مورد نظر در ۲۰ بهمن سال ۱۳۸۸، میان یابی صورت گرفت. برای ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از میان یابی های تولید شده محاسبه شد. برای بررسی خطای هر روش میان یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین تراز سطح ایستابی از فن اعتبارسنجی متقابل (Cross-validation) استفاده شد.

برای ارزیابی کارایی مدل ها از متغیرهای آماری ضریب همبستگی (R^2)، جذر میانگین مربعات ($RMSE$) و میانگین خطای مطلق (MAE) مطابق روابط زیر استفاده گردید:

$$RMSE = \left[\frac{\sum (X - Y)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (9)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (X - Y)}{\sum X^2 - \frac{\sum Y^2}{n}} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X - Y| \quad (11)$$

که در آن: X : مقادیر مشاهده شده و Y : مقادیر پیش بینی شده و N تعداد داده ها می باشد.

از مجموع اطلاعات ۸۱ چاهک مشاهداتی ۵۷ سری (۷۰ درصد) برای آموزش روش ها و ۲۴ سری (۳۰ درصد) نیز برای ارزیابی نتایج استفاده گردید. برای ارزیابی روش های میان یابی از نرم افزار surfer و برای انجام روش anfis، نرم افزار matlab مورد استفاده قرار

۱- correlation coefficient

۲- root mean square error

۳ -Mean Absolute Error

جدول ۲- ارزیابی روشهای متداول میان‌یابی

<i>Lp</i>	<i>Rbf</i>	<i>Ma</i>	<i>Tli</i>	<i>Pr</i>	<i>NAn</i>	<i>NEn</i>	<i>Msh</i>	<i>MC</i>	<i>IDP</i>	روش میان‌یابی
۶۴/۶۹	۵۶/۲۸	۷۵/۳۰	۵۷/۳۱	۷۲/۲۹	۵۴/۵۹	۶۳/۷۰	۷۹/۲۸	۴۳/۹	۶۰/۵۹	RMSE
۰/۲۴۴	۰/۴۶۲	۰/۰۰۸	۰/۴۳۳	۰/۰۵۴	۰/۴۷۹	۰/۳۸۸	۰/۳۹۶	۰/۶۶۰	۰/۳۸۵	R ²
۴۸/۲۱	۴۴/۳۰	۵۹/۸۱	۴۲/۴۵	۵۶/۹۲	۴۲/۱۲	۴۱/۸	۴۲/۸۴	۲۹/۵۶	۴۹/۹۶	میانگین خطای مطلق

آب در ۲۴ چاهک مجهول به‌دست آورده و با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نهایی به‌کارگیری سه روش میان‌یابی، کریجینگ و ANFIS در تخمین سطح آب زیر زمینی در جدول ۳ نمایش داده شد. به‌منظور مقایسه بهتر نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی در شکل ۳ نشان داده شده است.

مقایسه نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد میزان جذر میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و میانگین خطای مطلق در هر سه روش تقریباً یکسان بوده و تفاوت معنی‌داری در میزان خطاها وجود ندارد. از عمده دلایل عدم کارایی این روش‌ها به دلیل نوسانات زیاد سطح آب در این اراضی که بین ۱۲ تا ۳۱۵ سانتی‌متر (جدول ۱) متغیر است، می‌باشد.

لذا با توجه به اینکه ANFIS قادر به نظر گرفتن فیزیک مسئله نبوده و دقت بالایی در پیش‌بینی سطح نداشته است، نتایج این تحقیق با مطالعه دهقانی و همکاران (۱۳۸۸) و (Farahmand et al, 2010) که روش ANFIS نسبت به سایر روش‌ها به‌ویژه روش کریجینگ، از دقت بیش‌تری برخوردار بودند، مغایرت دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه حاضر سه روش انحنای کمینه، کریجینگ و سیستم استنتاجی عصبی-فازی تطبیقی از دقت تقریباً یکسانی در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برخوردارند. بنابراین، بسته به دقت مورد نیاز در هر مرحله از مطالعات می‌توان از هر کدام از روش‌های فوق استفاده کرد. ولی به دلیل نوسانات زیاد سطح آب در این اراضی هیچ‌کدام از این روش‌ها از دقت بالایی برخوردار نیستند.

بنابراین کاربرد سایر روش‌های زمین‌آمار مانند کوکریجینگ و تابع معکوس وزن‌دار (مطالعه تقی زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷) و بویژه روش‌های نوین نظیر ترکیب سیستم‌های هوش مصنوعی و زمین‌آمار مانند روش فازی کریجینگ (Bartels, 2000; Alipour et al, 2012) در اراضی مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

علی‌رغم اینکه روش انحنای کمینه، برای اجرای برنامه به زمان بیش‌تری نیاز دارد نسبت به سایر روش‌های متداول میان‌یابی از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. ضمناً، ضرایب و پیش‌فرض‌های روش‌های میان‌یابی متداول و کریجینگ دقیق‌ترین نتایج بدست می‌دهند.

روش Anfis: در روش ANFIS مختصات X و Y از Utm سیستم مختصات utm در مبنای $WGS1984$ واقع در پهنه $ZONE 39S$ (است) نقاط به‌عنوان ورودی و سطح آب زیرزمینی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد. برای افراز بخش مقدم قواعد فازی دو روش خوشه‌بندی تفاضلی^۱ و منقطع سازی شبکه‌ای^۲ وجود دارد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸). تفاوت عمده این دو روش در چگونگی تعیین تابع عضویت فازی است. در روش خوشه‌بندی جزئی، نوع تابع عضویت با توجه به اطلاعات ورودی و دسته‌بندی‌های موجود، توسط خود مدل تعیین می‌شود. در روش خوش بند، که محدوده نفوذ از مشخصات اجرای روش فوق می‌باشد، توسط کاربر تعیین می‌شود و معمولاً بین صفر تا یک متغیر است هر دو روش منقطع سازی و خوشه‌بندی تفاضلی مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج بهترین مدل‌های ANFIS به‌دست آمده، در جدول ۳ درج شده است.

روش منقطع‌سازی با تابع عضویت $trapmf$ در لایه ورودی و ۵ عدد تابع به ازای هر ورودی و تابع عضویت $constant$ برای لایه خروجی به همراه الگوریتم یادگیری پیوندی نسبت به روش خوشه‌بندی تفاضلی بهترین نتایج را به‌دست می‌دهد. در بین حالت‌ها و ضرایب مختلف نیز، روش خوشه‌بندی تفاضلی با دامنه تأثیر به میزان ۰/۵ بهترین نتایج را فراهم نموده است.

علی‌رغم اینکه روش خوشه‌بندی در مرحله آموزش از دقت بیش‌تری برخوردار بود ولی در مرحله آزمون داده‌ها کارایی روش منقطع‌سازی بیش‌تر بوده است.

هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که به ازاء یک تابع عضویت ثابت در لایه ورودی، با افزایش تعداد تابع عضویت دقت در مرحله آموزش به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد و این درحالی بود که دقت مرحله آزمون نیز به‌طور قابل ملاحظه کاهش می‌یابد.

روش انحنای کمینه و کریجینگ

به‌منظور مقایسه کارآمدی روش‌های میان‌یابی انحنای کمینه و روش زمین‌آمار کریجینگ، برای ۵۶ چاهک، مطابق شکل ۱، با استفاده از روش‌های مربوطه میان‌یابی اجرا شده و سپس مقادیر سطح

۱- subtractive clustering

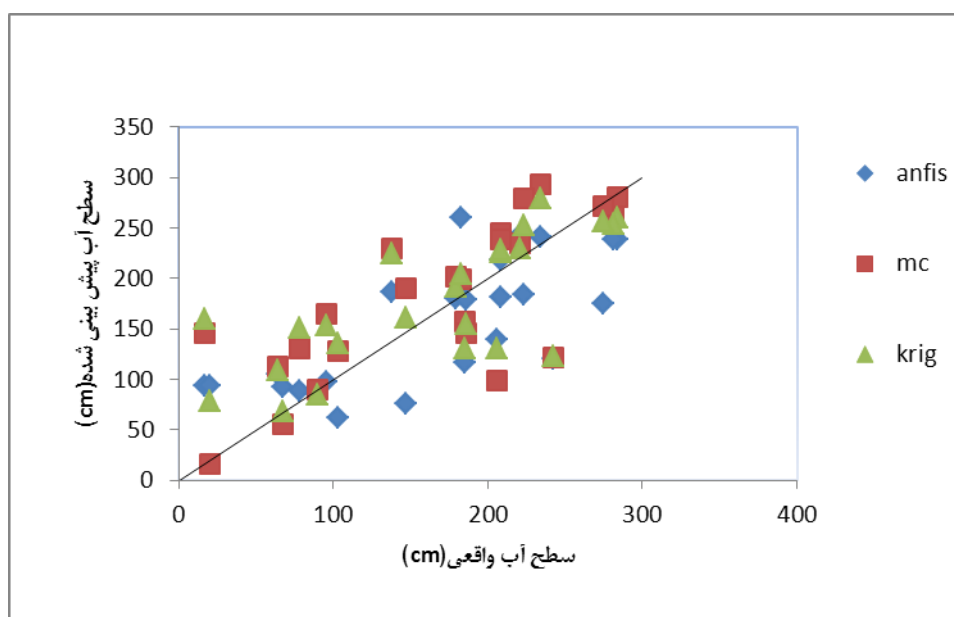
۲- Grid partition

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های anfis

الگو	روش	train			Test		
		MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²
۱	منقطع سازی	۴۵/۸۳	۵۳/۹۷	۰/۵۹۹	۳۳/۴۷	۵۳/۹۷	۰/۵۵۰
۲	خوشه بندی تفاضلی	۴۲/۰۰	۶۸/۴۸	۰/۶۶۳	۲۸/۹۶	۶۸/۴۸	۰/۳۲۹

جدول ۴- ارزیابی روش‌های انحنای کمینه، کریجینگ و ANFIS

روش میانابی	RMSE	R ²	میانگین خطای مطلق
ANFIS	۵۳/۹۷	۰/۵۵	۴۲/۹۴
Kriging	۵۷/۱۲	۰/۵۴	۴۲/۵۴
MC	۵۶/۳۲	۰/۵۶	۴۳/۰۰



شکل ۳- پراکنش مقادیر محاسبه شده و مقادیر واقعی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده روش‌های انحنای کمینه، کریجینگ و anfis

طباطبائی، ح و غزالی، م، ۱۳۹۰. ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان‌های فارسان جونقان و سفید دشت). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره پنجاه و هفتم، ص: ۱۱-۲۲.

عباس پلنگی، ج، هاشمی نجفی، س. ف و مومنی، ب. ۱۳۸۶. کاربرد سیستم‌های هوش مصنوعی به منظور تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) در شرایط تعداد داده محدود. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

تقی زاده مهرجویی، ر، زارعیان چهرمی، م، محمودی، ش،، حیدری، ا و سرمیدیان، ف. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت

در صورت استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی، با توجه به اینکه روش منقطع سازی نسبت به خوشه‌بندی در مرحله تست نتایج دقیق‌تری می‌دهد (اگرچه در مرحله آموزش از دقت پایین‌تری برخوردار است)، لذا این روش پیشنهاد می‌گردد.

منابع

دهقانی، ا. عسگری، م و مساعدی، ا. ۱۳۸۸. مقایسه سه روش شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی و زمین آمار در میان‌یابی سطح آب زیر زمینی (مطالعه موردی دشت قزوین). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ایران. ۱۶(۱): ۵۱۷-۵۲۹.

- Kurtulus, B and Nicolas, F. 2012. Hydraulic head interpolation using ANFIS—model selection and sensitivity analysis. *Computers & Geosciences*. 38(1): 43–51
- Jang, J.S.R., Sun, C.T and Mizutani, E. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice-Hall International. New Jersey.
- Nikroo, L., Z, Mazda Kompani., Sepaskhah, A and Fallah Shamsi, S.R. 2010. Groundwater depth and elevation interpolation by kriging methods in Mohr Basin of Fars province in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 166, Issue 1-4, pp 387-407.
- Richard, M. and Jonathan D. Istok. ۱۹۸۸. Geostatistics Applied to Groundwater Contamination. I: Methodology. *Journal of Environmental Engineering*, 114(2):270-286.
- تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب زیرزمینی دشت رفسنجان. *مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*. ۲۰(۵):۶۳-۷۰.
- Alipour, Z.T., Mahdian, M.H., Pazira, E. Hakimkhani, S. Saeedi, M. 2012. The Determination of the Best Rainfall Erosivity Index for Namak Lake Basin and Evaluation of Spatial Variations. *J. Basic. Appl. Sci. Res.*, 2(1):484-494
- Bartels, F. 2000. FUZZEK. The Fuzzy Evaluation and Kriging System. <http://www.fuzzeks.de> Diamond, P. 1989. Fuzzy Kriging. *Fuzzy Sets and System*. 33, 315-332.
- Farahmand, A.R., Manshouri, M. Liaghat, A and Hossein Sedghi. 2010. Comparison of kriging, ANN and ANFIS models for spatial and temporal distribution modeling of groundwater contaminants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.8 (3&4): 1146-1155.
- Golden software. Surfer. User manual. www.goldensoftware.com

Examine the Possibility of Replacing the ANFIS Method Instead of Conventional Interpolation Methods and Statistics Land to Estimate in Spatial of the Underground Water

H. Sharifan^۱, A. Taheri Amiri^{۲*}

Received: Aug.26, 2013

Accepted: Jun.11, 2014

Abstract

Changes in groundwater levels are important factors and effectiveness in study and management of groundwater resources use in agricultural, domestic and industrial. Lack of harvesting and reading points will limit access to this information due to financial and time constraints. Thus, application of interpolation and approximation water level methods are based on information from neighboring regions and have a special place in the study of groundwater resources. In this study, conventional interpolation method, the kriging and artificial intelligence systems evolve neural - fuzzy adaptive were evaluated land Dashtenaz Sari city. The research shows that three minimum curvature method, kriging and neural-fuzzy inference system adaptive values RMSE, 56.32, 55.12 and 53.97 cm, and the mean absolute error of 43, 42.54 and 42.94 percent and as well as the values of R2 0.56, 0.54 and 0.55, are the same accuracy in the interpolation of groundwater levels in the study area. However, due to large fluctuations in water levels in this area varies between 12 and 315 cm, None of these methods are of high accuracy and acceptable. In addition, a Neural-fuzzy inference system adaptive, Withdrawal of membership function trapmf the input layer and 5 for the membership function for each input and output layers with constant learning algorithm for hybrid and conventional interpolation and kriging parameters, the default get the best results by software surfur.

Keywords: groundwater level, interpolation, land statistics, neural-Fuzzy inference system Adaptive

۱- Associate professor of Water Engineering Department, Water and Soil Engineering College, Gorgan Agriculture Science and Natural Resource University

۲- Ph.d. Student of Water Engineering Department, Sari Agriculture Science and Natural Resource University

(* - Corresponding Author Email: taheri53ali@yahoo.com)