ارزیابی عدم قطعیت در تغییرپذیری زمانی و مکانی تراز آب زیرزمینی با آنالیز توأم آنتروپی و زمین‌آمار

فاطمه موسیری، ناصر گنجی خرم‌دل* و مه‌نوش مقدسی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۱۶)

چکیده

برای استمرار یا توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرسطحی، برای انواع مصارف و اهداف گوناگون و همچنین ایجاد هرگونه سازه آبی، مجموعه ویژگی‌های کمی آبخوان‌ها شناسایی می‌شود. نیل به این هدف فقط با اجرای عملیات پایش کمی تراز آب زیرزمینی امکان‌پذیر است. در این مطالعه از تأثیر و مقایسه توأم مفهوم تئوری آنتروپی مرزی و کریجینگ معمولی برای طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی دشت گتوند- عقیلی واقع در استان خوزستان استفاده شد. این نکته حائز اهمیت است که یک جنبه کلیدی در پایش تراز آب زیرزمینی از به کمیت درآوردن تغییرپذیری یا عدم قطعیت مربوط به آن اندازه‌گیری است. این کار باعث ایجاد یک اطمینان قابل توجه به‌منظور پایش و درنهایت دستیابی به شرایط مطلوب آینده را ایجاد می‌کند. در این تحقیق از میزان تغییرپذیری تراز آب زیرزمینی با استفاده از بررسی تأثیر توأمان آنتروپی مرزی و کریجینگ معمولی، به‌منظور تعیین مناطق مستعد پایش بیشتر و یا تنک شدن و همچنین سازگاری این دو روش با طراحی شبکه پایش استفاده شد. براساس نقشه طبقه‌بندی شده در روش آنتروپی مرزی، در بازه تغییرات آنتروپی بین ۰/۰۷ تا ۵/۲۶، مناطق با مقادیر بیشتر از ۲/۱۳ مبین نیاز بیشتر به تراکم چاه‌های مشاهده‌ای بودند. همچنین در بازه تغییرات زمین‌آماری به روش کریجینگ مقادیر بیشتر از ۱۳/۱۶ نیز نشان‌دهنده مناطقی بود که نیازمند پایش طبقه‌بندی شدند. مقایسه نتایج حاصل از دو روش حاکی از این بود که روش آنتروپی مرزی نسبت به روش کریجینگ، دارای عدم قطعیت کمتری بوده و با به‌کارگیری آن، مناطق کمتری نیازمند به پایش طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین مقایسه نقشه پهنه‌بندی شده دو روش، نشان داد که به‌کارگیری روش آنتروپی مرزی خطای کمتری را در برداشته و آن را می‌توان برای طراحی شبکه پایش تراز آب‌زیرزمینی توصیه نمود. همچنین شبکه براساس ارزیابی متقابل و توزیع خطای تخمین نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون‌ها نیز به‌عنوان آنالیزهای تکمیلی برای تعیین مناطق مستعد تراکم بیشتر چاه‌ها و همچنین نیاز به تنک کردن مناطق در این تحقیق به‌کار گرفته شد که نتایج، تأییدی بر عملکرد مناسب روش‌های به‌کار گرفته شده بود و در ضمن مبین برتری روش آنتروپی مرزی در طراحی یک شبکه پایش کمی آب زیرزمینی است.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه پایش، تغییرپذیری زمانی و مکانی، چاه‌های مشاهده‌ای، تئوری آنتروپی مرزی، کریجینگ معمولی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: naser.ganjikhorramdel@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز شدید به مواد غذایی از یک سو و محدودیت منابع آب و خاک قابل دسترسی از سوی دیگر، لزوم برنامه‌ریزی استفاده صحیح‌تر از منابع آب و خاک موجود را دو چندان می‌کند (۷). آب زیرزمینی فراوان‌ترین منبع قابل دسترس آب شیرین در دنیا است و ۹۷ درصد منابع آب شیرین دنیا را (به‌جز یخ‌های قطبی و یخچال‌ها) تشکیل می‌دهد و گاهی ثروت پنهان نامیده می‌شود. با این حال اقدامات لازم برای حفاظت و مدیریت آن با روش‌هایی از لحاظ محیط زیست پایدار، یا صورت نمی‌گیرد، یا بسیار دیر به انجام می‌رسد و اغلب به هنگام وقوع خشکسالی در برخی مناطق، اهمیت آن بیشتر مشخص می‌شود (۲). بنابراین لازم است برای استمرار یا توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرسطحی، برای انواع مصارف و اهداف گوناگون و همچنین ایجاد هرگونه سازه آبی، مجموعه ویژگی‌های کمی آبخوان‌ها شناسایی شود. نیل به این هدف فقط با اجرای عملیات پایش کمی تراز آب زیرزمینی امکان‌پذیر می‌شود. موضوعات اساسی در بررسی تغییرات کمی منابع آبی مربوط به اندازه‌گیری پارامترهایی مانند تراز آب زیرزمینی، تعیین میزان آب‌دهی منابع بهره برداری و تخلیه منابع آب زیرزمینی است که با تحلیل تغییرات زمانی و مکانی این عوامل و تلفیق نتایج به‌دست آمده، می‌توان منابع آب زیرزمینی را بهتر مدیریت نمود. در این صورت، زمانی که مطالعه جامعه به‌علت در دسترس نبودن و یا نامحدود بودن مقدور نباشد، ناگزیر نیاز به نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل آن و در نهایت تعمیم نتایج آن به‌کل جامعه است. یکی از مزیت‌های نمونه‌گیری، کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان است. یکی از پارامترهایی که در پایش کمی آب‌زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، تراز آب زیرزمینی می‌باشد. لذا باید این پارامتر را تا حد امکان با دقت بالایی اندازه‌گیری یا تخمین زد (۶). روش‌های معمول مورد استفاده با توجه به عدم کفایت آمار و اطلاعات موجود و کم بودن دقت روش‌ها، تخمین درستی را از تراز آب زیرزمینی ارائه نمی‌دهند. از جمله روش‌های آماری که می‌توان برای تخمین متغیرهای مکانی از قبیل تراز آب زیرزمینی در هر منطقه به‌کار برد، روش‌های زمین‌آماری است. به‌طورکلی تخمین زمین‌آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم، به‌دست آورد. تفاوت اصلی بین این روش با آمار کلاسیک، این است که در آمار کلاسیک نمونه‌های گرفته شده از هر جامعه‌ی آماری مستقل از یکدیگر بوده و وجود یک نمونه هیچ‌گونه اطلاعاتی درباره نمونه بعدی نمی‌دهد اما روش زمین‌آمار وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی می‌کند (۱). آنتروپی یکی از روش‌های کارآمد در تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب محسوب می‌شود، استفاده از تئوری آنتروپی به‌عنوان یک روش آماری به قبل از قرن بیستم برمی‌گردد. ولی به‌دلیل پیچیدگی‌های مفهومی و مشکلات محاسباتی این روش، محققان در نیمه اول قرن بیستم رغبت چندانی به استفاده از آن نداشتند. شانون (۱۷) در زمینه استفاده از این تئوری در زمینه‌های مختلف مهندسی از جمله ارزیابی سری‌های زمانی داده‌های اقتصادی و اکولوژیکی تحقیقات گسترده‌ای انجام داد. محقق دیگری نیز یک مطالعه جامع بر روی تاریخچه کاربرد تئوری آنتروپی در علوم مهندسی انجام داد (۱۸). مفهوم آنتروپی با مقاله شانون جایگاه خود را در بین علوم تثبیت کرد. از آن پس این مفهوم هم از لحاظ نظری و هم از لحاظ کاربردی مورد توجه قرار گرفت. از لحاظ تئوری و با توجه به ویژگی‌های حاصل از مفهوم آنتروپی سعی فراوان در دستیابی به دستوری جهت اندازه‌گیری آنتروپی از طریق تبین اصول موضوعه خاصی به‌عمل آمد. این دیدگاه هنوز هم مورد علاقه دانشمندانی است که به مسائل با دید مجرد و اصل موضوعی توجه می‌کنند و ماحصل این روند دستیابی به دستور حالت‌های خاصی از یکدیگر هستند. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد زمین‌آمار و آنتروپی در منابع آب صورت گرفته است. در تحقیقی به‌منظور طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی از آنالیز

www.SID.ir

Archive of SID

ساده‌سازی واریانسی استفاده شد. واریانس‌های خطاهای تخمین حاصل از میانیابی به‌وسیله کریجینگ به‌طور متوالی به‌وسیله اضافه نمودن نقاط پایش بیشتر به یک شبکه پایش تراز آب زیرزمینی در یک مقیاس منطقه‌ای، کاهش داده شد، تا اینکه واریانس به به حداقل برسد (۱۵). در تحقیقی دیگر محققین ، آنالیز ساده‌سازی واریانسی را بهبود بخشیده و آن را برای طراحی یک شبکه تراز آب زیرزمینی به‌منظور پایش مواد آلوده‌کننده به‌کار بردند. هدف محققین حداقل نمودن هزینه‌های پایش به‌وسیله حذف داده‌های اضافی حاصل از سنجش چاه‌های اضافی بود، بدون اینکه تأثیری بر روی دقت و کفایت داده‌های مورد سنجش، داشته باشد (۱۶). تخمین تراز آب زیرزمینی به روش زمین‌آمار به‌منظور بهینه کردن شبکه‌های پایش در کشور مراکش انجام شد. نتایج حاکی از برتری روش‌های زمین‌آماری نسبت به روش‌های آماری کلاسیک بود (۸). در سال ۲۰۰۶ طراحی بهینه یک شبکه پایش چند متغیره کیفی آب زیرزمینی و شناسایی تغییرات مکانی کیفیت آب زیرزمینی به روش کریجینگ فاکتوریل به‌همراه الگوریتم ژنتیک انجام شد. محققین ضمن تأیید این موضوع که کریجینگ امروزه به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از زمینه‌ها به‌منظور توزیع و آنالیز تغییرپذیری مکانی داده‌های مورد تحقیق، استفاده می‌شود، بیان نمودند که در روش‌های زمین‌آماری چند متغیره، برای تشخیص تأثیر منابع مختلف بر روی تغییرپذیری مکانی (بر روی تغییرنمای تجربی) می‌توان از کریجینگ فاکتوریل استفاده نمود. نتایج آنها در دوره مرطوب نشان از مکانی بالایی در دوره پایش بوده و حاکی از برتری روش‌های زمین‌آماری بود (۲۱). در تحقیقی با استفاده روش کریجینگ فاکتوریل و الگوریتم ژنتیک طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی انجام شد. نتایج نشان داد که روش زمین‌آمار می‌تواند برای طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی مفید باشد (۱۹). در زمینه بهینه‌سازی شبکه پایش در تحقیقی از روش پایش تراز آب زیرزمینی با استفاده از کریجینگ معمولی در ترکیب با آزمون ارزیابی برای یک آبخوان در جنوب شرق تونس استفاده شد. در تحقیقات متعددی به‌منظور بررسی دقت داده‌های به‌کار رفته در مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آماری استفاده گردید. در همین راستا تحقیقی نشان داد که می‌توان پنج حلقه چاه را که تغییر ناچیز و در سطح دقت قابل قبولی در برآورد واریانس داشتند را حذف نمود و تعداد ۳۸ حلقه چاه را در منطقه به‌منظور بهبود مؤثر پوشش مکانی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی اضافه نمود (۲۰). در سال ۲۰۱۴ برای طراحی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی درآمریکا تحقیقی صورت گرفت. نتایج نشان داد که برای شناسایی مناطق مستعد پایش با استفاده از دو رویکرد تئوری آنتروپی و زمین‌آمار (کریجینگ معمولی)، رویکرد تئوری آنتروپی برای سنجش نقاط دارای ریسک کمتری است و بر همین اساس نتایج نشان از برتری رویکرد آنتروپی بود که برمبنای آن مناطق مستعد پایش شناسایی شدند. (۱۳). در زمینه طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی در تحقیقی دیگر، روشی جهت بهینه‌سازی شبکه پایش به‌طوری‌که به‌توان بیلان آب زیرزمینی را با دقت مناسب تخمین زد، ارائه شد. روش به‌کار گرفته‌شده با استفاده از زمین‌آمار درجه اهمیت هر چاه، مشاهده‌ای را مورد بررسی قرار داده و تأثیر آن چاه را در تعیین بیلان آب زیرزمینی حاصل نمود. در این تحقیق تعداد ۵۷ چاه موجود بررسی زمین‌آماری شده و نیم تغییر نمای از نوع کروی بهترین نتیجه را دارا بود. در نهایت نتایج حاکی از این بود که شبکه بهینه حاصل با استفاده از نقاط اندازه‌گیری کمتر یعنی به تعداد ۳۳ چاه، مقدار بیلان آب زیرزمینی را بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای تخمین می‌زد (۵). در زمینه طراحی سامانه‌های پایش کیفی با استفاده از روش آنتروپی، مطالعات متعددی انجام شده است. به‌عنوان مثال در زمینه استفاده از آنتروپی در تعیین فواصل بهینه مکانی و زمانی جمع‌آوری اطلاعات در سامانه‌های پایش تحقیقی صورت گرفت (۱۴). در همین راستا ضمن به‌کارگیری روش آنتروپی پیوسته در ارزیابی سامانه‌های پایش رودخانه‌ها، با تلفیق روش آنتروپی و یک مدل شبیه‌سازی کیفی، موقعیت ایستگاه‌های جدید به‌منظور بهبود عملکرد شبکه پایش کمی و کیفی آب

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی ارائه شد (۱۱). در سال ۱۳۸۹ با استفاده از مفهوم آنتروپی انتقال اطلاعات، موقعیت ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی حوزه باتلاق گاوخونی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌ها (۱۳۸۵-۱۳۵۶) تعیین شد. برای مکان‌یابی باران‌سنج‌ها از دو الگوریتم ترتیبی (Sequential Algorithm) و ژنتیک (Genetic Algorithm) استفاده و برای هر الگوریتم دو هدف شامل بیشینه کردن حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات و بیشینه کردن متوسط آنتروپی انتقال اطلاعات، تعریف و سپس عملکرد مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شد. به‌منظور همگن‌سازی منطقه، حوزه را به سه ناحیه تقسیم کرده و مکان‌یابی ایستگاه‌ها در هر ناحیه به‌صورت مستقل انجام شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر و برتری نسبی الگوریتم ژنتیک بر الگوریتم ترتیبی برای هر دو هدف بیشینه کردن حداقل آنتروپی (حداکثر ۱/۳۱+، ۱/۳۴+ و ۰/۱۲+ درصد به‌ترتیب در نواحی یک، دو و سه) و بیشینه کردن متوسط آنتروپی (حداکثر ۰/۳۵+، ۰/۲۱+ و ۰/۰۲+ درصد در نواحی یک، دو و سه) بود (۳). در تحقیقی دیگر، طراحی شبکه پایش باران با استفاده از مفهوم آنتروپی در حوضه آبریز کرخه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کدام‌یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی بیشترین انتقال اطلاعات و کدامیک کمترین انتقال اطلاعات را دارا می‌باشند. همچنین در حالات چند متغیره کدام یک از ایستگاه‌ها در حالت بهینه در موقعیت مناسب قرار گرفته‌اند. در این تحقیق سعی بر آن بود تا از دو رویکرد زمین‌آمار (کریجینگ معمولی) و آنتروپی مرزی برای بررسی مناطق نیازمند پایش استفاده شود. همچنین به‌منظور ارزیابی نتایج حاصله، از آنالیزهای آماری توزیع خطای تخمین، ارزیابی متقابل و تغییرپذیری سطح آب نسبت به زمان به‌منظور ساماندهی مجدد شبکه نیز استفاده شد (۴).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت گتوند – عقیلی با وسعت حدود ۳۴۰ کیلومتر مربع از جمله دشت‌های استان خوزستان است که به‌لحاظ جمعیتی و کشاورزی دارای اهمیت زیادی است. این منطقه در شمال استان خوزستان و شهرستان شوشتر بین عرض‌های جغرافیایی ۳۲/۰۷ درجه شمالی و طول‌های ۴۸/۳۹ و ۴۹ درجه شرقی شمال جلگه خوزستان و دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است (شکل ۱).

در آنتروپی مرزی و کریجینگ معمولی فرض بر این است که داده‌ها نرمال می‌باشند، داده‌ها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگراف- اسمیرنوف بررسی شد. همان‌طورکه در جدول نتایج دیده می‌شود داده‌ها نرمال بودند (جدول ۱).

زمین‌آمار

معروف‌ترین روش زمین آماری، روش کریجینگ است که در علوم آب نیز کاربردهای فراوانی دارد. از بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ معمولی به‌علت داشتن کمترین خطای نااریب استفاده گسترده‌ای دارد (۶). کاربرد روش کریجینگ معمولی به‌منظور برآورد خطای واریانس، که در آن مکان x_o، به‌صورت N توابع همسایگی چاه‌ها که بخشی از شبکه پایش می‌باشد با استفاده از معادله (۱) به‌دست می‌آید .

$$\sigma_R^2 = \sum_i^N w_i \gamma_{io} + \mu \qquad \sum_{i=1}^N w_i = 1 \qquad [1]$$

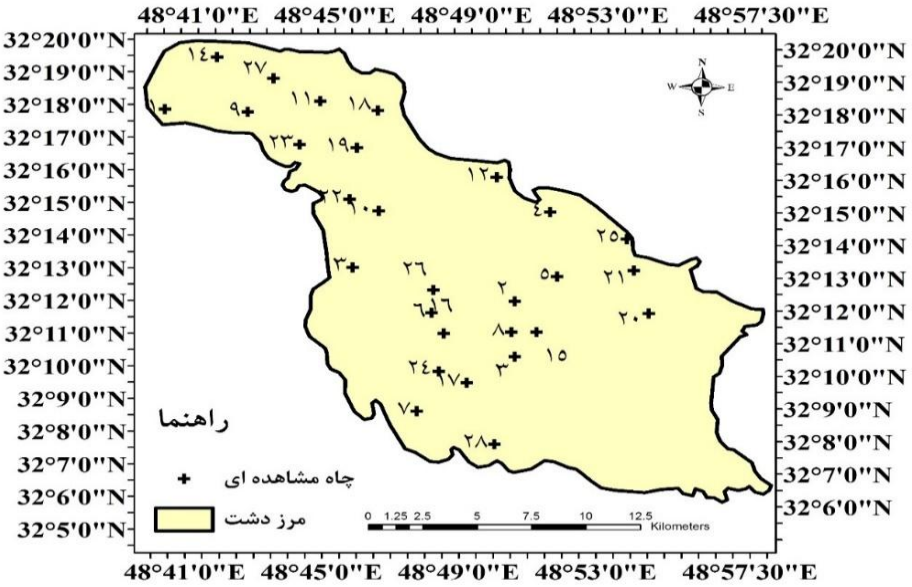
که در این معادله σ_R^2 واریانس خطای واریانس در مکان x_o و γ_{io}، مقدار سمی واریوگرام حاصل از تعداد i نقطه همسایگی و o تعداد چاه محاسبه می‌شود. μ میانگین محلی و مقدار μ و w_i به‌وسیله حداقل‌سازی واریانس خطا در شبکه و با استفاده از روش ضریب لاگرانژ به‌دست می‌آید (۱۰). نقشه واریانس خطا به‌وسیله درون‌یابی به‌دست آورده شد. به‌منظور تکمیل و تأیید نتایج از آنالیزهای آماری استفاده شد. به‌منظور آنالیز شبکه مشاهده‌ای به‌صورت زیر عمل شد.

خطای تخمین (Estimation error)

با اندازه‌گیری این پارامتر می‌توان مناطقی از آبخوان را که در آن شبکه پایش نیازمند تراکم بیشتری است، شناسایی نمود. از

www.SID.ir

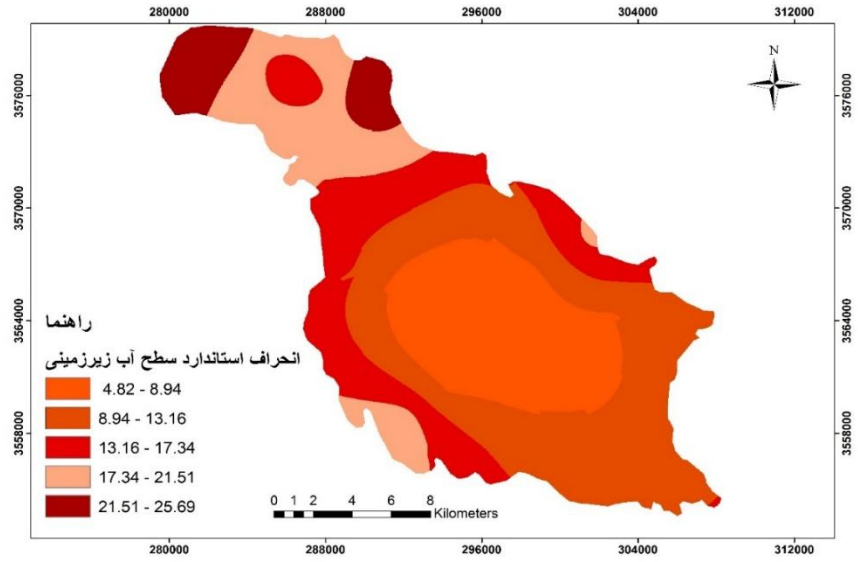
Archive of SID



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. نتایج آزمون نرمال بودن

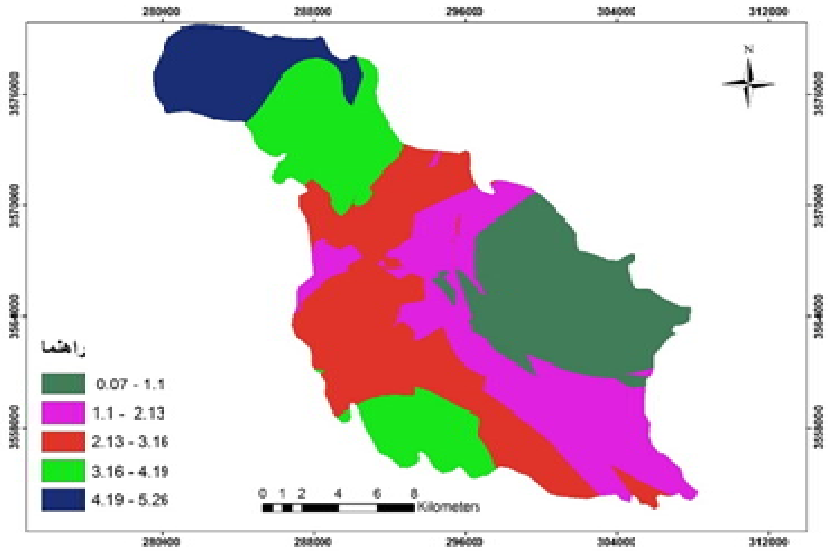
روش	میانگین	انحراف استاندارد	آماره کمولوگراف اسمیرنوف	معیار تصمیم
آنتروپی	۲/۶۰	۱/۶۶	۰/۷۲۰	۰/۶۷۳
کریجینگ	۱۳/۴۸	۹/۰۶	۰/۶۷۶	۰/۷۵۱



شکل ۲. نقشه انحراف استاندارد کریجینگ

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نقشه آنتروپی تک‌متغیره

بررسی خطای تخمین، مناطق با تراکم کمتر مشخص شد و خطای بالاتر از ۲۲ متر نشان‌دهنده مناطق با تراکم کم است. بخش‌هایی از مناطق شمال، شمال شرقی، شمال غربی، غرب، جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، مبین خطای تخمین معنی‌داری هستند. در این مناطق جذر میانگین مربع خطا بیش از ۲۲ متر به‌دست آمده است. این مناطق نشانگر بخش‌های دارای عدم قطعیت تخمین هستند و عمدتاً به‌دلیل فقدان نقاط مشاهده‌ای به‌وجود آمده‌اند و لزوماً به‌دلیل ناسازگاری سنجش‌های موجود در همسایگی آن مناطق نمی‌باشند. این مناطق نشانگر این هستند که شبکه مشاهده‌ای نیازمند توسعه بوده و لازم است که شبکه مشاهده‌ای در آن مناطق متراکم‌تر شود.

ارزیابی متقابل (Cross Validation)

با برآورد این پارامتر می‌توان میزان همبستگی و قابلیت پیش‌بینی‌پذیری اندازه‌گیری‌ها از طریق دیگر مشاهده‌های میدانی را برآورد کرده و مناطق مستعد حذف چاه مشاهده‌ای را مشخص نمود. نتایج آزمون ارزیابی متقابل حاکی از کمترین اختلاف‌ها بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی است.

تغییر پذیری با زمان

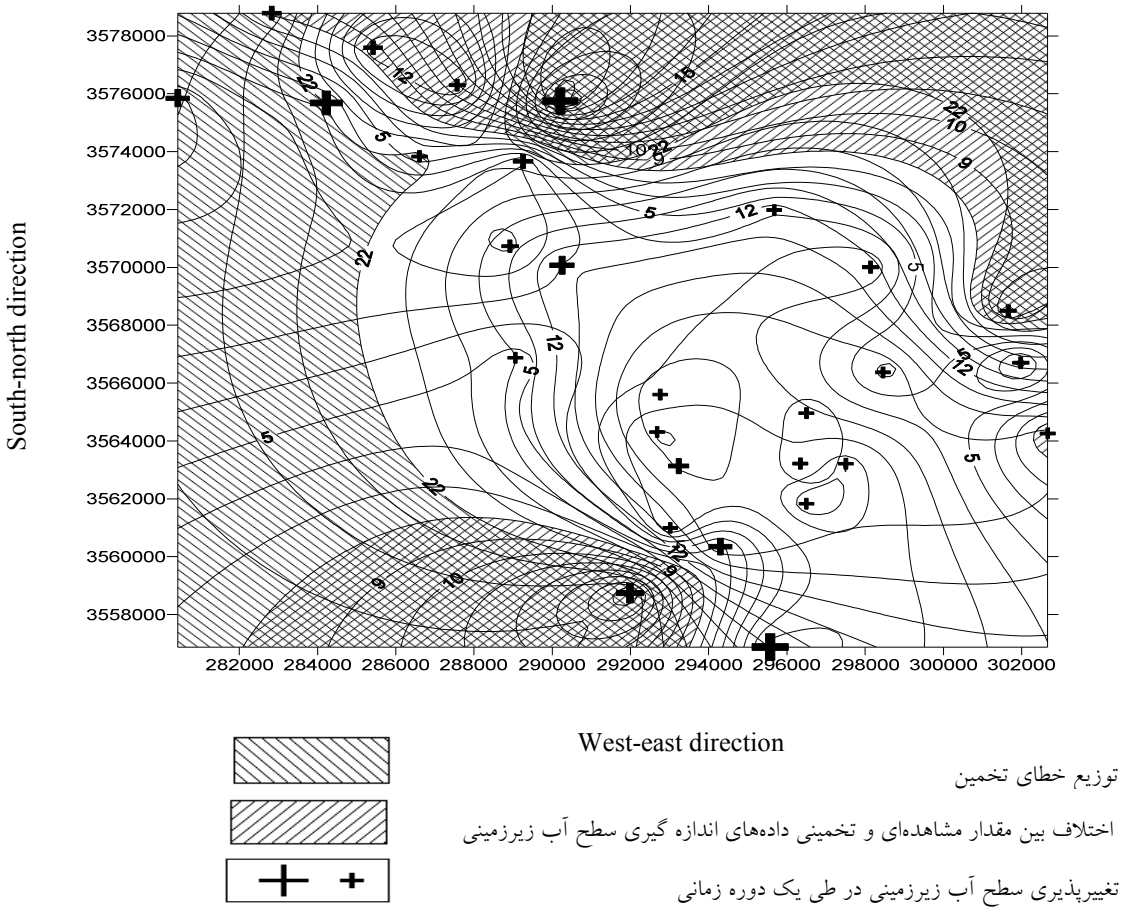
تغییر پذیری سطح آب با زمان مبین نقاط مشاهده‌ای است که لزوماً نیازی نیست که آن نقاط در تمام دوره‌ها، اندازه‌گیری شوند. بدین‌منظور انحراف استاندارد، برای تراز آب زیرزمینی محاسبه شد و مقدار آن برای مجموعه چاه‌ها بین بازه ۰/۱۸ تا ۹/۸۴ است. می‌توان تواتر اندازه‌گیری در نقاط مشاهده‌ای با تغییرپذیری کم یعنی چاه‌های مشاهده‌ای ۳، ۵، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۶ را به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه کمتر نمود.

تئوری آنتروپی

اخیراً مفهوم آنتروپی به‌صورت کاربردهای متنوع و امیدوار کننده‌ای در هیدرولوژی و منابع آب به‌کارگرفته شده است. به‌کارگیری این روش نشان داده است که وقایع با احتمال وقوع زیاد، اطلاعات کمتری را در اختیار می‌گذارند و برعکس هر چقدر احتمال وقوع یک رخداد کمتر باشد، اطلاعات حاصل از آن بیشتر است (۱۷). با به‌دست آوردن اطلاعات جدید، در واقع عدم قطعیت‌ها را کاهش داده و ارزش اطلاعات جدید برابر با مقداری است که از عدم قطعیت کاسته شده است. درنتیجه عدم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. ترکیب سه آنالیز آماری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی

قطعیت و میزان اطلاعات به‌دست آمده، پارامترهایی وابسته به‌هم هستند. به عبارت دیگر از تئوری آنتروپی می‌توان به‌عنوان شاخصی برای کمی کردن میزان عدم آگاهی و دانش نسبت به مشخصات یک سامانه، استفاده کرد. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات، انواع شاخص‌های اندازه‌گیری میزان آنتروپی، شامل آنتروپی مرزی (marginal)، آنتروپی شرطی (conditional)، آنتروپی مشترک (joint) و آنتروپی انتقال اطلاعات (transinformation) می‌باشند. در یک تقسیم‌بندی دیگر هرکدام از آنتروپی‌های اشاره شده را می‌توان به دو دسته آنتروپی گسسته و پیوسته تقسیم‌بندی نمود که مربوط به داشتن یا نداشتن توزیع نرمال هستند. در یک تقسیم‌بندی دیگر با توجه به ارتباط بین متغیرهای x و y تئوری آنتروپی به حالت‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی می‌شوند (۹). در این تحقیق با توجه به ماهیت مسأله از آنتروپی پیوسته مرزی تک‌متغیره استفاده شد که در ادامه به شرح مبانی آن پرداخته می‌شود.

آنتروپی پیوسته

چنانچه x و y متغیرهای تصادفی پیوسته باشد، آنگاه بایستی از روابط آنتروپی پیوسته برای محاسبه احتمال وقوع آنها استفاده نمود.

رابطه کلی آنتروپی مرزی

$$E = \int_{\circ}^{\infty} p(x_i) \ln p(x_i) \qquad [۲]$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در فرمول فوق $p(x_i)$ احتمال روی دادن و E مقدار آنتروپی می‌باشد.

آنتروپی تک‌متغیره مرزی

که با استفاده از فرمول زیر تعیین می‌شود (۹).

$$E = \frac{1}{2}\ln 2\pi e\sigma^2 \qquad [3]$$

که در این رابطه E آنتروپی پیوسته و σ واریانس است. برای محاسبه آنتروپی مرزی هر نقطه مورد سنجش با استفاده از نرم‌افزار اکسل ابتدا واریانس آن را حساب کرده و سپس با استفاده از معادله (۲) آنتروپی مرزی آن تعیین شد. به‌منظور بررسی تغییرات مکانی آنتروپی مرزی از روش کریجینگ معمولی در محیط ArcGIS10.2.2 استفاده شد که نقشه پهنه‌بندی تغییرپذیری تراز آب زیرزمینی به‌دست آمد (شکل ۲). به‌دلیل اینکه مناطق نیازمند پایش بیشتر در مکان‌یابی مناطق مستعد پایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند، لذا از نقشه پهنه‌بندی به‌منظور تعیین دقیق‌تر مناطق مستعد تراکم و یا تنک نمودن و نتیجه‌گیری بهتر استفاده شد. نتایج حاکی از این پهنه‌بندی نشان از این داشت که مناطق دارای مقدار بالای آنتروپی مرزی، از لحاظ نیاز به پایش از اولویت بالاتری برخوردار هستند و در ضمن حاکی از همخوانی این مناطق، با شبکه پایش موجود بود. در آنتروپی به تعداد چاه مشاهده‌ای و بازه آماری بیشتری نیاز است (۱۳). درحالی‌که در روش کریجینگ معمولی با حداقل چاه مشاهده‌ای (۱۰ چاه) می‌توان تخمینی قابل قبول را به‌دست آورد. به‌دلیل مطالعات انجام شده در رابطه با میزان براورد آنتروپی تک‌متغیره مرزی و کریجنگ مرزی که نتایج آن حاکی از کارآمد بودن روش آنتروپی مرزی بوده است، مقایسه و ارزیابی دو روش کریجینگ معمولی و آنتروپی مرزی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت که شامل اندازه‌گیری خطای تخمین، براورد ارزیابی متقابل و در نهایت تعیین میزان تغییرپذیری تراز آب زبرزمینی با زمان بود که در بخش زمین‌آمار مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی و مقایسه توام دو روش آنتروپی تک متغیره مرزی با کریجینگ معمولی به‌منظور پایش

در این مطالعه از سری زمانی (۱۳۹۴-۱۳۹۲) داده‌های سطح آب زیرزمینی به‌منظور مکان‌یابی مناطق مستعد پایش استفاده شد. نتایج پیش‌بینی انحراف استاندارد کریجینگ مربوط به شبکه موجود از نظر تغییرپذیری سطح آب زیرزمینی، در یک دامنه تقریباً بالا، بین ۴/۸۹ متر تا ۲۵/۶۹ متر قرار گرفتند (شکل ۲). به‌منظور شناسایی بهتر مناطق نیازمند پایش، نقشه انحراف استاندارد کریجینگ طبقه‌بندی شد و بر این اساس قسمت‌هایی از مناطق شمالی و قسمت جنوب شرقی و جنوب غربی به‌دلیل عدم اندازه‌گیری نیازمند پایش قرار گرفتند. اهمیت پیش‌بینی انحراف استاندارد به‌وسیله داده‌هایی که در طولانی‌مدت از مجموعه چاه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند، تشخیص داده می‌شود. لذا این امر مهم است که تشخیص داده شود، پیش‌بینی میزان انحراف استاندارد در حول و حوش متوسط تراز آب زیرزمینی چاه‌های مورد سنجش است. با توجه به اینکه تغییرپذیری هم در تعداد و هم در اندازه‌گیری مجموعه محدودی از چاه‌ها وجود دارد، پیش‌بینی خطای انحراف استاندارد را نمی‌بایست به‌طور مطلق و قطعی تفسیر نمود. بلکه می‌توان از این پیش‌بینی به‌طور نسبی برای انتخاب مناطق نیازمند پایش و اضافه نمودن چاه‌ها استفاده نمود. با توجه به اجرای روش کریجینگ که در بالا ذکر شد، مقدار ۱۳/۱۶ به بالا نیازمند پایش است که در قسمت شمال، غرب و بخش‌هایی از جنوب و شرق منطقه به‌دلیل عدم اندازه‌گیری مشاهده می شود. نتایج رویکرد کریجنگ با نتایج تحقیقی که در سال ۱۳۹۴ به‌منظور طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی منتشر شد، همخوانی داشت (۶). برخلاف آنچه تصور می‌شد به‌منظور برآورد خطای پیش‌بینی در رویکرد کریجینگ در مقایسه با آنتروپی، به تعداد اندازه‌گیری نسبتاً کمتری در هر چاه برای اندازه‌گیری تراز آب زیرزمینی (حداقل ۱۰ چاه) به‌منظور تعیین توزیع احتمالاتی و محاسبات آماری نیاز است، درصورتی‌که در

www.SID.ir

Archive of SID

روش آنتروپی برای برآورد مقادیر ذکر شده، حداقل به تعداد ۳۰ چاه در منطقه مورد مطالعه نیاز است (۱۳). بدین ترتیب دشت گتوند عقیلی را از این نظر که دارای پتانسیل لازم از نظر تعداد چاه‌های مورد سنجش بود (تعداد ۲۸ چاه مشاهده‌ای) انتخاب شد. بنابراین هم روش زمین‌آماری و هم تعیین مقدار آنتروپی مرزی با ۲۸ چاه مشاهده‌ای در این منطقه مورد مطالعاتی پیاده گردید. مقدار آنتروپی مرزی که به‌وسیله فرمول (۲) در نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید و جهت بررسی تغییرات مکانی تراز آب زیرزمینی از روش کریجینگ معمولی استفاده شد و نقشه پهنه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 رسم شد. در نقشه پهنه‌بندی با استفاده از کریجینگ، تمام مناطق زیر پوشش و سنجش قرار نگرفتند و علت آن را می‌توان مناطقی را برشمرد که درون‌یابی نشده بودند. اما در رویکرد آنتروپی این نقیصه مورد پوشش قرار گرفته و نقشه پهنه‌بندی در آن مناطق نشان از داشت که از نظر پایش بسیار مستعد بوده و مناطق پیشنهادی برای سنجش با اولویت بالاتر معرفی شدند. تغییرات آنتروپی بین ۰/۰۷ تا ۵/۲۶ بود که با توجه تغییرات بالاتر از ۲/۱۳ که در مناطق شمال، جنوب، جنوب غربی و غرب به‌علت فقدان اندازه‌گیری مشاهده گردید، نیازمند پایش بودند (شکل ۳). نتایج فوق با تحقیقی که در سال ۱۹۹۷ به‌منظور تخمین مکانی شبکه پایش صورت گرفته شده بود، تطابق دارد (۲۲). طراحی شبکه تراز آب زیرزمینی، تعیین تعداد و موقعیت ایستگاه‌هایی است که تأمین‌کننده معیارهای طراحی شبکه است. در مطالعات قبلی عمدتاً برای بهینه کردن شبکه تراز آب زیرزمینی از معیار خطای تخمین کریجینگ یا آنتروپی به‌طور جداگانه استفاده شده بود. این مسئله به این امر منجر می‌شد که برخی از مناطق منطقه مورد مطالعه توسط معیارهای زمین‌آمار یا آنتروپی پوشش داده نشود و باعث عدم کسب نتیجه مطلوب شود. با ترکیب دو روش زمین‌آمار و نظریهٔ آنتروپی می‌توان مناسب‌ترین مناطق مستعد پایش را مشخص نمود، به‌نحوی‌که هر دو معیار همدیگر را پوشش داده و هرکدام با تکیه بر نقاط قوت خود، باعث ارتقای اطمینان‌پذیری شبکه نسبت به حالتی می‌شود که تنها یک معیار در نظر گرفته شود، بدین‌منظور هر دو معیار به‌صورت توأم در نظر گرفته شد و عملکردها مقایسه شد. با ارزیابی شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده شد که در نقشه طبقه‌بندی شده با روش کریجینگ، مناطقی که از نظر عدم قطعیت دارای مقدار بالاتری بودند گسترده‌تر بوده و مناطق با نیاز بالای پایش معرفی شدند. درصورتی‌که همان مناطق با استفاده از روش آنتروپی مرزی نیازی به پایش نداشته و تراکم چاه‌ها در آن مناطق مناسب بود. همچنین مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی شده با استفاده از دو روش نشان داد که با به‌کارگیری روش آنتروپی، نسبت به روش کریجینگ خطای کمتری در محاسبات وارد گشته و منطقه مورد پایش را بهتر مورد سنجش قرار داده و در نتیجه آن را می‌توان برای طراحی شبکه پایش تراز آب زیرزمینی توصیه نمود. زیرا همان‌طورکه قبلاً بیان شد، تغییرات پهنه‌بندی نقشه انحراف استاندارد کریجینگ بیشتر است و بازه‌ای بین ۴/۸۹ تا ۲۵/۶۹ را دارد اما مناطقی که با روش آنتروپی طبقه‌بندی شده‌اند (با تغییرات بین ۰/۰۷ تا ۵/۲۶)، نشان از ارزیابی مناسب‌تر و گسترده‌تر منطقه مورد مطالعه داشته و از نظر میزان عدم قطعیت از مقدار بسیار پایین‌تری برخوردار بوده‌اند و ارزیابی دو نقشه حاکی از مناسب‌تر بودن به‌کارگیری روش آنتروپی داشته و با واقعیت عینی منطقه همخوانی بیشتری دارد. در آخر به‌منظور بررسی و تأیید و تکمیل نتایج، از سه آنالیز آماری و زمین‌آماری استفاده شد که نتایج آن مناطق مستعد تراکم بیشتر و یا نیازمند تنک شدن را نشان می‌داد. مشاهده شد که نتایج با ارزیابی نقشه پهنه‌بندی دو روش کریجینگ و آنتروپی هماهنگی داشته و تأییدی بر نتایج حاصل از مقایسه دو روش آنتروپی و کریجینگ بوده است و مناطقی را مشخص می‌کند که با روش‌های به‌کار گرفته شده همخوانی دارد. نقشه حاصل از ترکیب سه آنالیز انجام شده مناطق نیازمند تنک‌تر شدن و یا تراکم بیشتر را مشخص می‌نماید. در این نقشه چاه‌هایی که از نظر اهمیت دارای تأثیر کمتری بودند، با نماد به‌علاوه بزرگتری نشان داده شد. با استفاده از شکل (۴) می‌توان مناطقی را که شبکه مشاهده‌ای نیازمند توسعه بیشتر و یا کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

و تنک شدن است را شناسایی نمود. در شکل (۴) مناطقی که با خطوط ۴۵- درجه هاشور خورده‌اند، مبین مناطقی هستند که خطای تخمین ناشی از روش کریجینگ، از یک حد از پیش تعریف شده (۲۲ متر)، فراتر رفته است. از طرف دیگر مناطقی که با خطوط ۴۵+ درجه هاشور خورده‌اند، مبین مناطقی هستند که در آنها نتیجه ارزیابی متقابل انجام شده بر روی داده‌ها از یک حد از پیش تعریف شده (۸ متر)، بیشتر شده است. در نظر گرفتن توأم دو آنالیز فوق، نشان‌دهنده مناطقی است که از میزان عدم‌قطعیت بیشتر و یا کمتری برخوردار هستند. واضح است که با در نظر گرفتن مقادیر از پیش تعریف شده کوچکتر، مناطق بیشتری از عدم قطعیت برخوردار می‌شوند. در مناطقی که از عدم قطعیت بیشتری برخوردار هستند، شبکه مشاهده‌ای تراز آب زیرزمینی نیازمند این است که با در نظر گرفتن چاه‌های مشاهده‌ای بیشتر، متراکم‌تر شود. در مناطقی که از عدم قطعیت کمتری (مناطق خالی در شکل ۴) برخوردار هستند، می‌توان برای چاه‌های آن منطقه از گزینه اندازه‌گیری دوره‌ای استفاده نمود. برای تصور بهتر، این موضوع به‌وسیله سایز نمادهای به‌علاوه‌ای که موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای را نشان می‌دهند، نمایش داده شده است. سایز بزرگتر نماد، مبین تغییرپذیری بیشتر اندازه‌گیری‌های تراز آب زیرزمینی نسبت به زمان است. چاه‌هایی که با علامت‌های کوچک نماد به‌علاوه (مناطق دارای عدم قطعیت پایین‌تر) مشخص شده‌اند را می‌توان با تواتر کمتری اندازه‌گیری نمود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مقایسه توأم استفاده از دو روش زمین‌آماری و تئوری آنتروپی به‌منظور شناسایی نقاط مستعد پایش بهینه پرداخته شد، در ضمن تلاش بر این بود که میزان اعتبار هر یک از روش‌های مورد استفاده و میزان دقت عمل هریک نیز بررسی شده و در نهایت برای مدیران و تصمیم‌گیران، عملکرد مناسب را برای پایش مستمر و بهینه منطقه مورد مطالعه توصیه نمود. در هریک از روش‌های مورد استفاده به‌منظور یکسان‌سازی و کاهش مشکلات پایش شبکه، از همان سری زمانی آماری داده‌های مورد دسترس استفاده شد. در مطالعات قبلی عمدتاً برای بهینه کردن طراحی شبکه تراز آب زیرزمینی از معیار خطای کریجینگ یا آنتروپی به‌طور جداگانه استفاده می‌شد. این امر همان‌طورکه ذکر شد، باعث افزایش عدم قطعیت شده و معیار طبقه‌بندی مناسبی را توصیه نمی‌نمود. این تحقیق نشان داد که با ترکیب دو روش زمین‌آمار و نظریه آنتروپی می‌توان بهترین مناطق نیازمند پایش را شناسایی و برای حذف و یا اضافه نمودن چاه‌های مشاهده‌ای آگاهانه‌تر و علمی‌تر اقدام نمود. در این حالت هر دو معیار یکدیگر را پوشش می‌دهند که این مسئله باعث ارتقای اطمینان پذیری شبکه نسبت به حالتی می‌شود که تنها یک معیار در نظر گرفته شود. بدین‌منظور هر دو معیار به‌صورت توأم در نظر گرفته شد و عملکردها مقایسه شدند. در این تحقیق در جهت رسیدن به ساماندهی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی دشت گتوند عقیلی از رویکرد مقایسه‌ای مفهوم آنتروپی تک‌متغیره مرزی با کریجینگ و همچنین آنالیز آماری و زمین‌آماری به‌منظور ارزیابی شبکه، استفاده شد. نقشه انحراف استاندارد کریجینگ به‌دست آمد و مشخص شد که مناطق با خطای بالای ۱۳/۱۶ مناطق مستعد پایش هستند. همچنین تغییرپذیری تراز آب زیرزمینی به‌وسیله تئوری آنتروپی تک‌متغیره نیز بررسی شد و براساس نقشه پهنه‌بندی، خطای بالای ۲/۱۳ دارای عدم قطعیت کمتری شد. نتایج حاصل شده از مقایسه پهنه‌بندی شبکه به‌وسیله آنتروپی و کریجینگ، نشان داد که بخش‌های غربی و جنوبی دارای اولویت‌های بالای پایش بودند و همچنین از ترکیب نتایج حاصل از خطای تخمین میان‌یابی، پیش‌بینی‌پذیری هر اندازه‌گیری و تغییرپذیری تراز آب زیرزمینی با زمان، می‌توان نسبت به بهینه‌سازی شبکه و شناسایی مناطق مستعد اقدام نمود که بر این اساس با اندازه‌گیری خطای تخمین، مناطقی از آبخوان را که در آن شبکه پایش نیازمند تراکم بیشتری بود، شناسایی شد. از بررسی خطای تخمین، مناطق با تراکم کمتر مشخص شد. بخش‌هایی از مناطق شمال، شمال شرقی، شمال غربی، غرب، جنوب غربی منطقه مورد

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه، مبین خطای تخمین معنی‌داری بودند. در این مناطق جذر میانگین مربع خطا بیش از ۲۲ متر به‌دست آمد. این مناطق نشانگر بخش‌های دارای عدم قطعیت تخمین بودند و این مناطق نشانگر این بودند که شبکه مشاهده‌ای نیازمند توسعه بوده و لازم است که شبکه مشاهده‌ای در آن مناطق متراکم‌تر شود. سپس با اندازه‌گیری ارزیابی متقابل و یا قابلیت پیش‌بینی‌پذیری پارامتر تراز آب زیرزمینی مناطق مستعد حذف چاه مشاهده‌ای مشخص شد. به‌منظور بررسی میزان تغییرپذیری تراز آب زیرزمینی با زمان، که مبین نقاط مشاهده‌ای بودند، لزوماً نیازی نبود که آن نقاط در تمام دوره‌ها، اندازه‌گیری شوند. بدین‌منظور انحراف استاندارد محاسبه شد و مقدار آن برای مجموعه چاه‌ها بین بازه ۰/۱۸ تا ۹/۸۴ به‌دست آمد که در نتیجه محاسبات انجام شده می‌توان تواتر اندازه‌گیری در نقاط مشاهده‌ای با تغییرپذیری کم یعنی چاه‌های مشاهده‌ای ۳، ۵، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۶ را به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه کمتر نمود. بنابراین هم از نظر هزینه و هم از لحاظ زمانی به‌خاطر کم شدن تعداد نمونه‌گیری‌ها صرفه‌جویی شده و این در حالتی است که اختلاف معنی‌داری در اطلاعات حاصل ایجاد نمی‌شود. به این ترتیب با مشخص نمودن محل حفر چاه‌های مشاهده‌ای جدید و یا حذف چاه‌های مشاهده‌ای اضافی می‌توان به مدیریت بهینه‌ای در سطح آبخوان رسید که برای سیاست‌گذاران بخش منابع آب از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در ضمن علاوه‌بر موارد فوق، می‌توان با مشخص نمودن تواتر اندازه‌گیری از برخی چاه‌ها باز نمونه‌گیری از چاه‌های مشاهده‌ای را به‌خوبی مدیریت نمود.

منابع مورد استفاده

۱. حسنی پاک، ع. ۱۳۸۹. *زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)*. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

۲. شرکت مدیریت منابع آب. ۱۳۹۰. *پیش‌نویس دستورالعمل پایش کیفیت آبهای زیرزمینی*، وزارت نیرو. ایران.

۳. فانی، م.، ا. خلیفه، م. خلیفه و ر. افاطونی. ۱۳۹۲. ارزیابی شبکه ایستگاه باران‌سنج با استفاده از تئووری آنتروپی گسسته (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ). مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری ۹(۳): ۱۳-۱.

۴. قهرمانی سالیانه، ع. و م. شقاقیان. ۱۳۹۴. طراحی شبکه پایش باران با استفاده از مفهوم آنتروپی (مطالعه موردی حوضه آبریز کرخه). دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

۵. گنجی خرم‌دل، ن.، ف. کیخایی، ک. محمدی و م. منعم. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دو گانه سطح آب زیرزمینی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۳۷۰-۳۵۸.

۶. گنجی خرم‌دل، ن.، ف. کیخایی و م. مردیان. ۱۳۹۴. طراحی و توسعه شبکه پایش سطح آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار و روش‌های آماری در دشت اراک. مجله ژئوفیزیک ایران ۹(۳): ۲۹-۱۷.

۷. نیکبخت، ج. و ک. محمدی. ۱۳۸۶. برآورد تبخیر تعرق واقعی گیاه در سطح احتمالاتی متفاوت: مطالعه موردی در مراغه، آذربایجان شرقی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی ۱۳(۱): ۱۰۶-۹۵.

8. Ben-Jemaa, F. and M. A. Marino. 1990. Optimization of a groundwater well monitoring network. *In:* Proceeding of the International Conference on Optimizing the Resources for Water Management, Texas. PP: 10-15.
9. Harmancioglu, N. B. and N. Alpaslan. 1992. Water quality monitoring network design: A problem of multi – objective decision making. Water Resour. Bulle J. 28(1): 179-192.
10. Isaaks, E. H. and R. M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
11. Karamoz, M., B. Hafez and R. Krachyan. 2004. River water quality monitoring system designed using kriging method. *In:* Proceeding of the First Conference on Water Resources Management, Tehran, Iran.

www.SID.ir

12. Karamouz, M., A. Khajehzadeh Nokhandan and R. Kerachian. 2006. Design of river water quality monitoring networks using an entropy based approach A case study. Environ. Modeling and Assessment. 14(6):705-714.
13. Uddameri, V. and T. Andruss. 2014. A GIS-based multi-criteria decision-making approach for establishing a regional-scale groundwater monitoring. Environ. Earth Sci. 71: 2617–2628.
14. Uslu, O. and A. Tanriover. 1979. Measuring the information content of hydrological process. *In:* Proceeding of the First National Congress on Hydrology, Istanbul. PP: 473- 443.
15. Rouhani, S. 1985. Variance reduction analysis. Water Resour. Res. 21(6): 837 – 846.
16. Rouhani, S. and T. J. Hall. 1988. Geostatistical schemes for groundwater sampling. J. Hydrol. 103: 85 – 120.
17. Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. Bell Sys. Tech. J. 27: 379-423.
18. Singh, V. P. 1997. The use of entropy in hydrology and water resources. Hydro. Processes 11:587-626.
19. Sheng, M. Y., Y. L. Pin and L. C. Cheng. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms. Environ. Geol. 50: 101–121.
20. Triki, I., M. Zairi and D. H. Ben. 2012. A geostatistical approach for groundwater head monitoring network optimisation: case of the Sfax superficial aquifer (Tunisia). Water Environ. J. 27(3): 362-372.
21. Yeh, M. S., Y. P. Lin and L. C. Chang. 2006. Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithm. Environ. Geol. 50: 101–121.
22. Yuh Ming, L. and J. Hugh Ellis. 1997. On the equivalence of kriging and maximum entropy estimators. Int. Assoc. Math. Geology 29(1): 131-152.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 22, No. 1, Spiring 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Evaluation of Uncertainty in the Spatial and Temporal Variability of Groundwater Level along with Geostatistacal and Entropy Analysis

F. Moosiri, N. Ganji khorramdel* and M. Moghadasi[1]

(Received: Jan. 17-2017; Accepted: April 5-2017)

Abstract

To continue or develop the exploitation of underground water for different different uses and purposes, as well as building any water structure, set of quantitative features of aquifers can be detected. To achieve this goal, quantitative monitoring of groundwater level is only possible. Accordingly, this study compared the impact of both the concept of marginal entropy and ordinary kriging for groundwater level monitoring network design in the case Gotvand-Aghili Plain, Khuzestan province. It is important to note that a key aspect in groundwater level monitoring of the quantity measured was the variability or uncertainty in it. This created a considerable confidence to monitor and ultimately achieve favorable conditions in the future. In this study, the variability of the groundwater level was considered to evaluate the combined effects of marginal entropy and ordinary kriging. In order to determine the suitable areas for further monitoring or thinning as well as the compatibility of these two methods, the monitor network design was designed. The map classified according to the marginal entropy method, in a range between 0.07 to 5.26 of the marginal entropy change, areas with the higher rates of 2.13 in terms of density; this indicated the need for more observation wells. Ordinary Kriging method also changed the range of values; they also represented areas that needed monitoring more than 13.16. Comparison of the results obtained by the two methods showed that the marginal entropy of the kriging method with less uncertainty and by using it, there was less the need to be monitored and classified. Comparison of the two methods by the zoning map showed that fewer errors were taken to the marginal entropy method and it could be recommended for the groundwater level monitoring network design. The network was also based on the Cross validation estimation error evaluated. These tests and additional analysis were employed in this study to determine the suitable areas for the higher density of wells and the need for thinning areas. The results further confirmed the proper performance of the methods employed, as well as the superiority of the marginal entropy in the design of a small groundwater monitoring network.

Keywords: Monitoring network design, Spatial and Temporal Variability, observation wells, Marginal Entropy Concept, Ordinary Kriging.

1. Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Arak Univ., Arak, Iran.
*: Corresponding Author, Email: naser.ganjikhorramdel@gmail.com

www.SID.ir