کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال هفتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۸
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۸ تاریخ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱
صص: ۸۵-۶۵

مقاله پژوهشی

مدل‌سازی زمانی- مکانی سطح تراز آب‌های زیرزمینی دشت جاسک طی سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۲

مرتضی امیدی‌پور[۱]، دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران
آتنا معین‌مهر، دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
سیروس هاشمی دره‌بادامی، دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه تهران، تهران، ایران
محمد اسکندری نسب، کارشناس ارشد پژوهش علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
محمد بیرانوند، دانشجوی کارشناسی‌ارشد جغرافیای انسانی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر باعث بروز مشکلات جدی در کشور شده است. تراز آب زیرزمینی متغیری است که در طول زمان و مکان متغیر است؛ بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان یک مجموعه داده زمانی- مکانی در نظر گرفت. هدف این پژوهش، مدل‌سازی زمانی-مکانی تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت جاسک طی سال‌های ۱۳۷۶ الی ۱۳۹۲ و بررسی روند تغییرات آن است. ابتدا براساس روش زمین‌آماری کریجینگ و روش جبری توابع پایه شعاعی (RBF) درون‌یابی از سطح تراز آب صورت گرفته و سپس میزان خطای مدل‌ها با استفاده از آماره‌های MBE، MAE و RMSE ارزیابی شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که روش کریجینگ در مقایسه با روش RBF با خطای کمتری سطح تراز آب‌های زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه را برآورد کرده است؛ بنابراین با استفاده از روش کریجینگ برای هر دوره زمانی یک نقشه از سطح تراز آب ایجاد شد که در فرایند روندیابی زمانی- مکانی مورد استفاده واقع شد. برای روندیابی تغییرات از روند خطی R^2 و همچنین روند من-کندال استفاده شده است. نتایج آماره R^2 حاکی از نوسان چشم‌گیر تغییرات تراز آب بوده است. همچنین نتایج آزمون من-کندال نشان داد که در حاشیه شمال شرقی تا شمال غربی روندی کاهشی با شدت بالا و نزدیک به ۱- وجود داشته است. به‌طورکلی، در بخش‌های مختلف محدوده مطالعاتی روند تغییرات دارای الگوی خاص و معناداری است.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، درون‌یابی، دشت جاسک، روند زمانی- مکانی، من- کندال.

۱- نویسنده مسئول: omidipoor@ut.ac.ir

مقدمه

استفاده از آب‌های زیرزمینی همواره از مهم‌ترین شیوه‌های تأمین آب شرب و کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بوده است. بااین‌حال، طی سال‌های اخیر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی و کاهش نزولات جوی موجب شده تا تراز آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های بسیاری از نقاط کشور منفی شود. جدای از تبعات زیست‌محیطی، توسعه‌ی کشاورزی و تأمین آب شرب در این مناطق با چالشی جدی مواجه شده است (ایزدی و همکاران، ۱۳۸٦؛ یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۵؛ عظیمی و همکاران، ۱۳۹٤ و زاهدی و فریدونی، ۱۳۹۳). به‌منظور آگاهی از وضعیت این منابع و مدیریت بهینه آن‌ها، لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات تراز آب زیرزمینی صورت گیرد (مدنی، ۲۰۱٤). با توجه به اینکه سطح تراز آب‌های زیرزمینی متغیری است که همواره در طول زمان و مکان متغیر است؛ بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان یک مجموعه داده زمانی- مکانی در نظر گرفت. در این راستا تخمین تراز آب زیرزمینی، به‌دلیل تأثیر آن در مدیریت منابع آب، می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (تامسون[1]، ۲۰۱۷؛ مسعود، ۲۰۱٤؛ رجایی و زینی‌وند، ۱۳۹۳ و سدیدی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به محدودیت‌های موجود در حفر گمانه، مدل‌سازی زمانی-مکانی این پارامتر نیازی اساسی به‌شمار می‌رود (رجایی و زینی‌وند، ۱۳۹۳ و تاین[2] و همکاران، ۲۰۱۵).

تداوم خشکسالی چندساله اخیر در استان هرمزگان و نیز مصرف بی‌رویه و خارج از توان مخازن آبی نه‌تنها باعث نمود بیشتر اثرات پدیده خشکسالی گردیده، بلکه مشکلات عظیم و مخربی را بر منابع آبی و مخازن زیرزمینی وارد کرده است. طبق گزارش‌های مسئولان استان هرمزگان هجوم به سفره‌های زیرزمینی منطقه جهت تأمین نیازهای آبی بیشتر شده، از طرفی وجود سنگ‌های املاح‌دار و شرایط آب‌وهوایی منطقه باعث تغییر کیفیت آب زیرزمینی شده است.

[1] Thompson
[2] Tian

برای اعمال مدیریت صحیح نیاز به شناسایی و پیش‌بینی نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی جهت برنامه‌ریزی‌های کوتاه‌مدت، بلندمدت و استفاده بهینه از پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد. هدف عمده مدل‌سازی‌ها، تعیین روابط بین متغیرها، تعیین متغیرهای اثرگذار و پیش‌بینی است (سدیدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ تامسون، ۲۰۱۷ و تاین و همکاران، ۲۰۱۵). تاکنون مدل‌های مختلفی جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی استفاده شده است. ازجمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های مبتنی‌بر سری زمانی و مدل‌های فیزیکی اشاره کرد (ایزدی و همکاران، ۱۳۸٦ و یعقوبی و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات مرتبط با مدل‌های مبتنی‌بر شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که این مدل‌ها توانایی بالایی در کشف رابطه بین داده‌ها و شناخت الگوها دارند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹٤؛ تاین و همکاران، ۲۰۱۵ و بلخیری و نارنی[1]، ۲۰۱۵). نکته‌ای که در اینجا باید به آن اشاره کرد، ابهام در روش‌های مورد استفاده و میزان دقت هر کدام از آن‌هاست. در اغلب مطالعات توجیه منطقی برای استفاده از مدل‌های مختلف نبوده است و یا اینکه دقت روش‌ها مورد بحث واقع نشده است. همچنین مدل‌های مختلف در مناطق مختلف نتایج مختلفی را ارائه داده‌اند بنابراین قابل‌تعمیم به سایر مناطق نیستند. این موضوع به‌خصوص برای روش‌های درون‌یابی کاملاً صدق می‌کند.

در این پژوهش تراز آب زیرزمینی دشت جاسک طی سال‌های ۱۳۷٦ الی ۱۳۹۲، با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ و روش جبری توابع پایه شعاعی[2] (RBF) متغیر تراز آب درون‌یابی شده است. پس از ارزیابی صحت روش‌های درون‌یابی، روند تغییرات سطح تراز آب‌های زیرزمینی مدل‌سازی می‌شود.

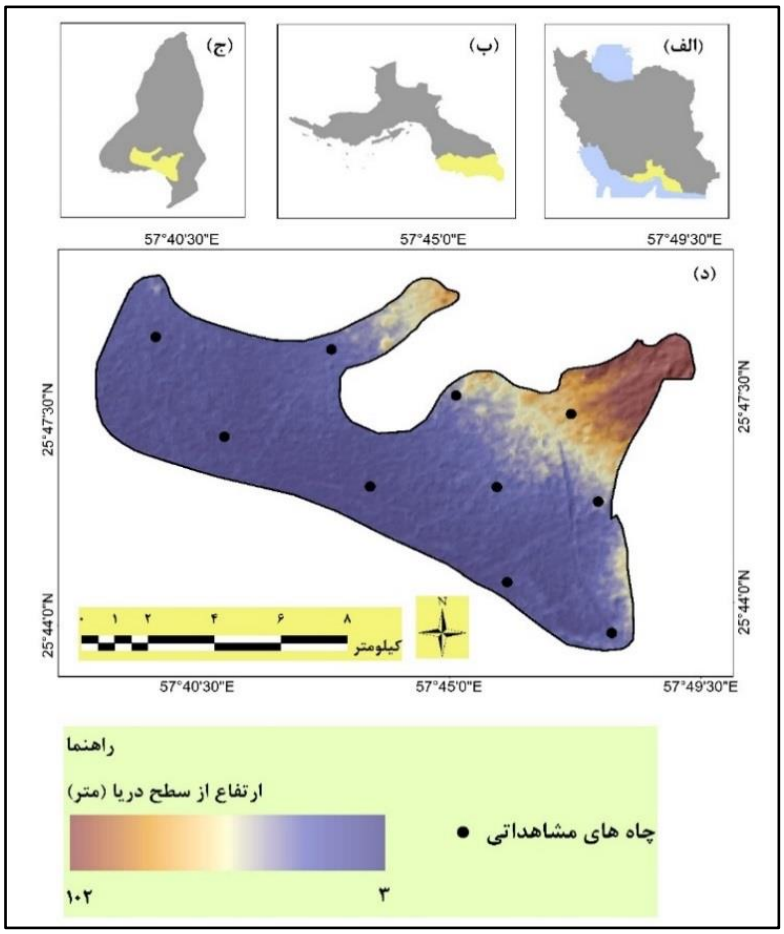
مواد و روش‌ها

موقعیت و خصوصیات محدوده مورد مطالعه: براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از طرح آمایش استان هرمزگان شهرستان جاسک، با پهنه‌ای حدود ۱٦۱۳٦/۲ کیلومترمربع، در کرانه دریای عمان در خاور تنگه هرمز قرار دارد و بلندی آن از سطح دریا ٤/۸

[1] Belkhiri and Narany
[2] Radial Basis Function (RBF)

است. این شهرستان از شمال به شهرستان‌های کهنوج و میناب، از خاور به شهرستان چابهار، از باختر به دریای مکران و شهرستان میناب و از جنوب به دریای مکران محدود می‌باشد. پوشش گیاهی این شهرستان متأثر از شرایط آب‌وهوا و ریزش بارندگی است که در ناحیه حاره‌ای و جنگل‌های کرانه‌ای دارای گونه‌های گرمسیری بوده که نوار کرانه‌ای شهرستان را به گونه پراکنده در برگرفته است.

منطقه مورد مطالعه، جنوب دهستان جاسک، در شهرستان جاسک استان هرمزگان می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور (الف)، در استان هرمزگان (ب)، در دهستان جاسک (ج) و ارتفاع منطقه به همراه موقعیت چاه‌های مشاهداتی (د) را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود چاه‌های مشاهداتی از توزیع مناسبی در منطقه برخوردار است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه پایین (حداکثر ۱۰۲ متر) و از شمال تا جنوب منطقه ارتفاع روندی کاهشی دارد. این منطقه از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب‌وهوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد. از ویژگی‌های آب‌وهوایی این منطقه، وجود یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است. اصولاً آب‌وهوای این منطقه مانند آب‌وهوای نواحی بیابانی است و میزان بارش‌های جوی آن نیز ناچیز است؛ بنابراین وجود آب قابل دسترس برای کشاورزی به یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزان این منطقه تبدیل شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (الف) در کشور، (ب) در استان هرمزگان، (ج) در دهستان جاسک و (د) ارتفاع منطقه به همراه موقعیت چاه‌های مشاهداتی

روش کار

داده‌های مورد استفاده شامل سری زمانی ۱۰ چاه مشاهداتی است. این داده‌ها شامل موقعیت جغرافیایی هر چاه، ارتفاع هر چاه و داده‌های سالانه تراز آب زیرزمینی در دوره زمانی ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۲ می‌باشد. در جدول زیر موقعیت جغرافیایی نقاط مشاهده‌ای نشان داده شده است.

جدول ۱- موقعیت چاه‌های مشاهداتی

شماره صحرایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره زون
۱	٥٦٦٧٨٤	٢٨٥٥٢٧٤	٤٠
۲	٥٧٢٠٢٦	٢٨٥٤٧٢٤	٤٠
۳	٥٦٨٧٤٧	٢٨٥٢٠٧٩	٤٠
٤	٥٧٣٠٥٧	٢٨٥٠٣٨٧	٤٠
٥	٥٧٥٧٠٩	٢٨٥٣١٦٢	٤٠
٦	٥٧٦٨٤٦	٢٨٥٠٢٥٢	٤٠
۷	٥٧٩١٣٣	٢٨٥٢٤٧٧	٤٠
۸	٥٧٩٨٦٦	٢٨٤٩٧٠٥	٤٠
۹	٥٧٧٠٧٦	٢٨٤٧٢٥٦	٤٠
۱	٥٨٠١٤٥	٢٨٤٥٥٦٥	٤٠

برای درون‌یابی تراز آب زیرزمینی از دو روش کریجینگ و روش توابع پایه شعاعی (RBF) استفاده شد. لازم به ذکر است که روش کریجینگ مبتنی‌بر اصول زمین‌آمار و روش RBF روشی جبری است. نوع کریجینگ مورد استفاده کریجینگ ساده[1] بوده است که برای برازش مدل نیز از تابع گوسی استفاده شده است. همچنین در روش RBF از اسپلاین صفحه نازک (TPS)[2] استفاده شده است.

روش کریجینگ یک روش درون‌یابی زمین‌آماری است که مبتنی‌بر میانگین متحرک وزن‌دار[3] می‌باشد. اساس این روش استفاده از اصل خودهمبستگی مکانی[4] است. بدین گونه که برای تشریح ساختار مکانی یک متغیر از نیم‌تغییر نما[5] استفاده می‌شود. نیم‌تغییر

[1] Simple kriging
[2] Thin plate splines (TPS)
[3] Weighted moving Average
[4] Spatial autocorrelation
[5] Semivariogram

نما یکی از اساسی‌ترین ابزارها در زمین‌آمار می‌باشد و نشانگر همبستگی مکانی بین داده‌های اندازه‌گیری شده برحسب فاصله است. اگرچه نقاط با فواصل نزدیک همبستگی بیشتری دارند، بااین‌حال با افزایش فاصله بین نمونه‌ها به حدی می‌رسیم که از آن به بعد نمونه‌های اطراف برهم تأثیر چندانی ندارد و با افزایش فاصله مقدار واریوگرام تغییر معنی‌داری پیدا نمی‌کند که به این فاصله دامنه تأثیر[1] می‌گویند. همچنین در ساختار فضایی داده‌ها با افزایش فاصله مقدار واریوگرام افزایش یافته و بعد از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به یک حد ثابت میل کند که به آن سقف واریوگرام[2] گفته می‌شود (دیانی و همکاران، ۱۳۹۱ و عیسوی[3] و همکاران، ۲۰۱٦). برای انجام روش‌های زمین‌آمار، داده‌های مورد استفاده باید دو ویژگی داشته باشند، یکی توزیع نرمال فضایی داده‌ها و دیگری میانگین و واریانس در مکان تغییر معنی‌داری نداشته باشد (امینی و همکاران، ۱۳۸۱؛ تقوایی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۷؛ دیانی و همکاران، ۱۳۹۱؛ مسعود، ۲۰۱٤ و عیسوی و همکاران، ۲۰۱٦). اگرچه خروجی روش کریجینگ با توابع مختلف منجر به نتایج مختلف می‌شود و انتخاب این مدل‌ها در برخی شرایط نسبت به سایر توابع ارجحیت دارد؛ بااین‌حال در سطح محدوده مورد مطالعه خروجی روش کریجینگ با تابع گوسی در مقایسه با سایر توابع از قبیل (نمایی، بیضی، دایره‌ای و غیره) منجر به تخمین‌های با سطوح هموارتر[4] شده است. ازاین‌رو از این تابع برای برازش روش کریجینگ استفاده شد.

استفاده از روش‌های زمین‌آماری مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌هاست که توسط تجزیه‌وتحلیل واریوگرام این امر بررسی می‌شود. شرط استفاده از این تجزیه‌وتحلیل، نرمال‌بودن داده‌هاست؛ بنابراین تمامی داده‌های مربوط به هر پارامتر

[1] Range
[2] Sill
[3] Isawi
[4] Smooth Surfaces

از نظر نرمال‌بودن بررسی شد. این کار با استفاده از آزمون‌های کلموگراف–اسمیرنف[1] و شاپیرو–ویلک[2] در محیط SPSS انجام شد و مشخص شد کـه داده‌هـا از توزیـع نرمـال برخوردار نیستند. ازاین‌رو با لگاریتم‌گیری از داده‌ها، نرمال‌سازی صورت گرفت.

روش RBF ازجمله روش‌های درون‌یـابی جبـری مـی‌باشـد. در ایـن روش مقـادیر برآورد شده به دامنه حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده‌شده محـدود نمـی‌شـود و ممکـن است مقادیر تخمینی بیشتر از بیشینه مقادیر مشـاهده‌شـده و یـا کمتـر از کمینـه مقـادیر مشاهده‌شده نیز وجود داشته باشـند (اکبـری و همکـاران، ۱۳۸۵؛ رضـایی و همکـاران، ۱۳۸۹ و زارع چاهوکی و زارع چاهوکی، ۱۳۹۰).

به‌منظور ارزیابی خطای مدل تخمین‌گـر زمـین‌آمـاری از تکنیـک اعتبارسـنجی متقابـل[3] استفاده شده است. معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی روش‌های درون‌یـابی وجـود دارد که ازجمله آن‌ها می‌تـوان بـه آمـاره‌هـای MBE[4]، MAE[5] و RMSE[6] اشـاره کـرد. اساس این روش‌ها براساس مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده اسـت. روابـط (۱)، (۲) و (۳) نحوه محاسبه خطا را براساس این روش‌ها نشان می‌دهد (حسنی پاک، ۱۳۷۷ و دیانی و همکاران، ۱۳۹۱):

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(M - O) \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}|M - O| \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(M-O)^2}{n}} \quad (۳)$$

[1] Kolmogorov-Smirnov
[2] Shapiro–Wilk test
[3] Cross-Validation
[4] Mean Bias Error (MBE)
[5] Mean Absolute Error (MAE)
[6] Root Mean Square Error (RMSE)

در روابط فوق M مقدار پیش‌بینی‌شده، O مقدار مشاهداتی و n تعداد مشاهدات است. در این پژوهش با استفاده از خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) مناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی داده‌ها انتخاب گردید. خروجی این مرحله در قالب لایه‌های رستری (هر سال یک نقشه) ارائه شده است.

پس از تولید لایه‌های رستری روندیابی تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی مدل‌سازی شد. در این رابطه از دو روش روندیابی خطی و روندیابی من کندال استفاده شده است. روندیابی‌های خطی بر پایه شاخص‌های آماری (از قبیل R^2، R) است که شیب‌خط بین یک پیکسل خاص در داده‌های سری زمانی مختلف را محاسبه می‌کند (زاهدی و فریدونی، ۱۳۹۳). آزمون من کندال نیز که در زمره روش‌های پارامتریک رگرسیون خطی می‌باشد روندهای کاهشی و یا افزایشی پدیده‌ها را بررسی می‌کند (وهلین و گریمول[1]، ۲۰۱۰). نتایج روش من کندال بین ۱- و ۱ است. عدد یک به این معنی است که پدیده مورد بررسی بیشترین تغییرات افزایشی را داشته و ۱- گواه آن است که پدیده مورد مطالعه بیشترین تغییرات کاهشی را داشته است؛ همچنین مقدار تغییر صفر به معنی عدم تغییر پدیده مورد مطالعه در دوره‌های زمانی می‌باشد. برای محاسبه آماره من کندال (S) از روابط زیر استفاده می‌شود (همان):

$$S = \sum_{i=1}^{n-i} \sum_{j=i+1}^{n} \operatorname{sgn}\left(Xi - Xj\right) \qquad (٤)$$

$$sign\left(Xj - Xi\right) = \begin{cases} 1 \;\; if \;\; Xi - Xj < 0 \\ 0 \;\; if \;\; Xi - Xj = 0 \\ -1 \;\; if \;\; Xi - Xj > 0 \end{cases} \qquad (٥)$$

$$Var(S) = \frac{n\left(n-1\right)\left(2n+5\right)}{18} \qquad (٦)$$

[1] Wahlin & Grimvall

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & for \quad S > 0 \\ 0 \quad for & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & for \quad S < 0 \end{cases} \qquad (۷)$$

در روابط فوق Xi و Xj مشاهدات سری زمانی و n طول سری زمانی است. آماره Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می‌کند که ارزش صفر عدم وجود روند، ارزش Z مثبت روند رو به بالا و ارزش منفی روند رو به پایین را نشان می‌دهد.

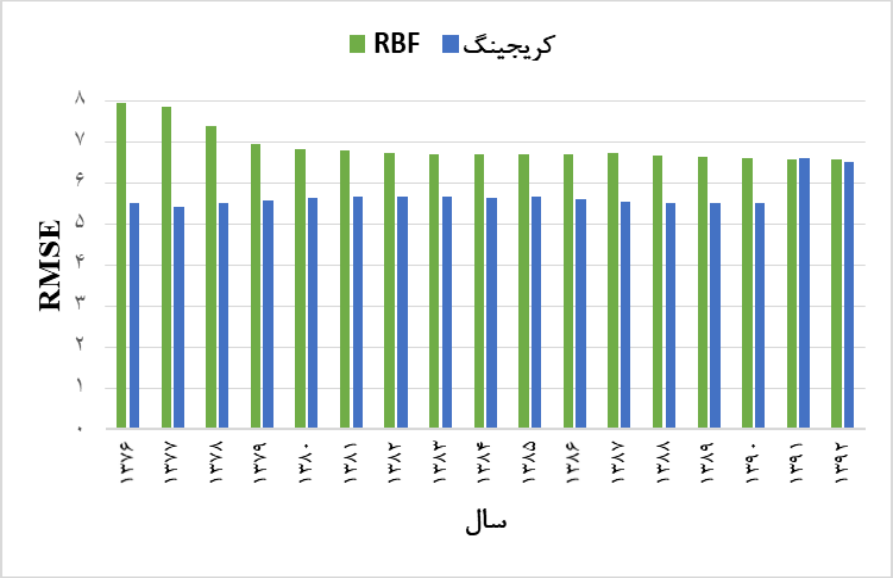
نتایج و بحث

پس از انجام عملیات درون‌یابی ارزیابی صحت نتایج درون‌یابی با استفاده از آماره‌های MBE، MAE و RMSE برای هر دو روش کریجینگ و RBF محاسبه شد. همان‌گونه که جدول (۲) نشان می‌دهد نتایج درون‌یابی برای روش کریجینگ کاملاً بهتر از روش RBF بوده است. این موضوع برای هر سه شاخص ارزیابی صدق می‌کند. با توجه به اینکه در شاخص MBE وجود مقادیر منفی و مثبت در کنار هم ممکن است به خنثی کردن خطای برآورد منجر شود، بنابراین در ارزیابی نهایی به نتایج شاخص MAE و RMSE بیشتر می‌توان تکیه کرد. در شکل (۲) و (۳) نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی براساس دو شاخص RMSE و MAE ارائه شده است.

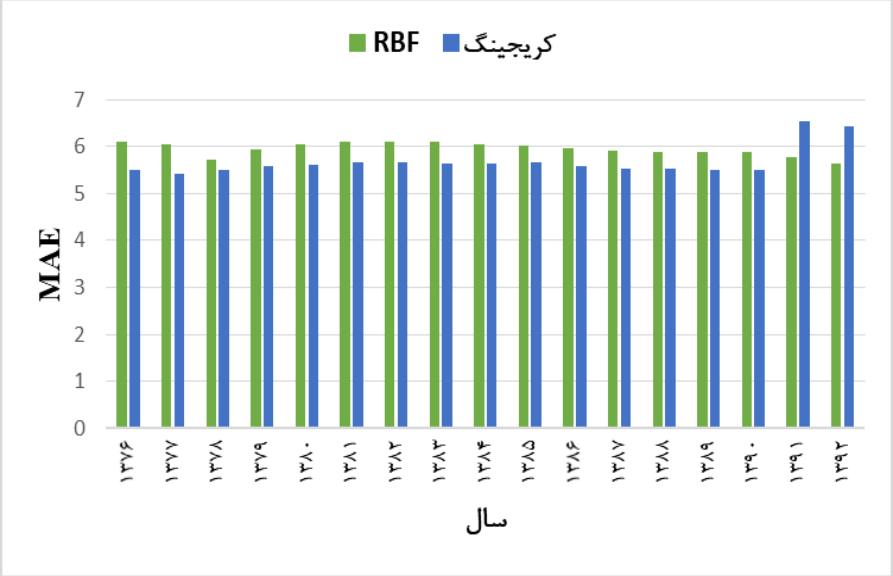
جدول ۲- ارزیابی صحت نتایج درون‌یابی

سال	توابع پایه شعاعی			کریجینگ		
	MBE	MAE	RMSE	MBE	MAE	RMSE
۱۳۷٦	-۱/٤٤۰۰	٦/۱۰۸۰	۷/۹٤٤۰	-۰/۲٤٥۱	٥/٥۰۹۱	٥/٥۰۹۱
۱۳۷۷	-۱/٤۱۸۰	٦/۰٥۷۰	۷/۸٤٤۰	-۰/۲٥۰۳	٥/٤۱۷۹	٥/٤۱۷۹
۱۳۷۸	-۰/۳۰٦۰	٥/۷۲۷۰	۷/۳۷۹۰	-۰/۲٥۰۰	٥/٤۹٥۱	٥/٤۹٥۱
۱۳۷۹	-۰/۱۳۳۰	٥/۹٤۲۰	٦/۹٥۳۰	-۰/۲۳۹۱	٥/٥۷٥٥	٥/٥۷٥٥
۱۳۸۰	-۰/۱۱۱۰	٦/۰۳۱۰	٦/۸۲۸۰	-۰/۲۲٤٦	٥/٦۱٦۹	٥/٦۱٦۹
۱۳۸۱	-۰/۱۰۲۰	٦/۰۸۷۰	٦/۷۷٦۰	-۰/۲۱۷۹	٥/٦٤۸۳	٥/٦٤۸۳
۱۳۸۲	-۰/۰۹۳۰	٦/۱۰٤۰	٦/۷۳۱۰	-۰/۲۱۳۱	٥/٦٦۲۸	٥/٦٦۲۸
۱۳۸۳	-۰/۰۸۸۰	٦/۰۹۳۰	٦/٦۷٦۰	-۰/۲۰۹۰	٥/٦٤۳۱	٥/٦٤۳۱
۱۳۸٤	-۰/۰۹٤۰	٦/۰۳٦۰	٦/٦۹٤۰	-۰/۲۰۳۱	٥/٦۳٦٦	٥/٦۳٦٦
۱۳۸٥	-۰/۰۸٥۰	٦/۰۲۸۰	٦/٦۷٦۰	-۰/۱۹٥٤	٥/٦٦٤۱	٥/٦٦٤۱
۱۳۸٦	-۰/۰۹٤۰	٥/۹٥۲۰	٦/٦۸٦۰	-۰/۲۰۲٤	٥/٥۹۲٥	٥/٥۹۲٥
۱۳۸۷	-۰/۱۰٤۰	٥/۹۰۸۰	٦/۷۰۸۰	-۰/۲۰۹۳	٥/٥۳۷۹	٥/٥۳۷۹
۱۳۸۸	-۰/۱۰۲۰	٥/۸۸۷۰	٦/٦٦۸۰	-۰/۲۰٦۱	٥/٥۱٥٤	٥/٥۱٥٤
۱۳۸۹	-۰/۰۹٥۰	٥/۸۷۰۰	٦/٦۲۳۰	-۰/۲۰۱٥	٥/٥۰۲۹	٥/٥۰۲۹
۱۳۹۰	-۰/۰۹۰۰	٥/۸۷۹۰	٦/٥۸۸۰	-۰/۱۹٦۷	٥/٥۰۹٤	٥/٥۰۹٤
۱۳۹۱	-۰/۰۹٤۰	٥/۷۷۹۰	٦/٥۷٥۰	-۰/۰۳۰۸	٦/٥۲۸۲	٦/٥۸٥۹
۱۳۹۲	-۰/۰۹۱۰	٥/٦٤٦۰	٦/٥٥۳۰	-۰/۰۲۷۲	٦/٤۱۹٥	٦/٥۰۱۹

همان‌گونه که در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است، میزان خطای روش کریجینگ در تمام سال‌ها به‌جز در سال ۱۳۹۱ از روش RBF بهتر بوده است؛ بنابراین می‌توان چنین گفت که برای مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی دشت جاسک روش کریجینگ دقتی بهتر از روش RBF فراهم می‌سازد.

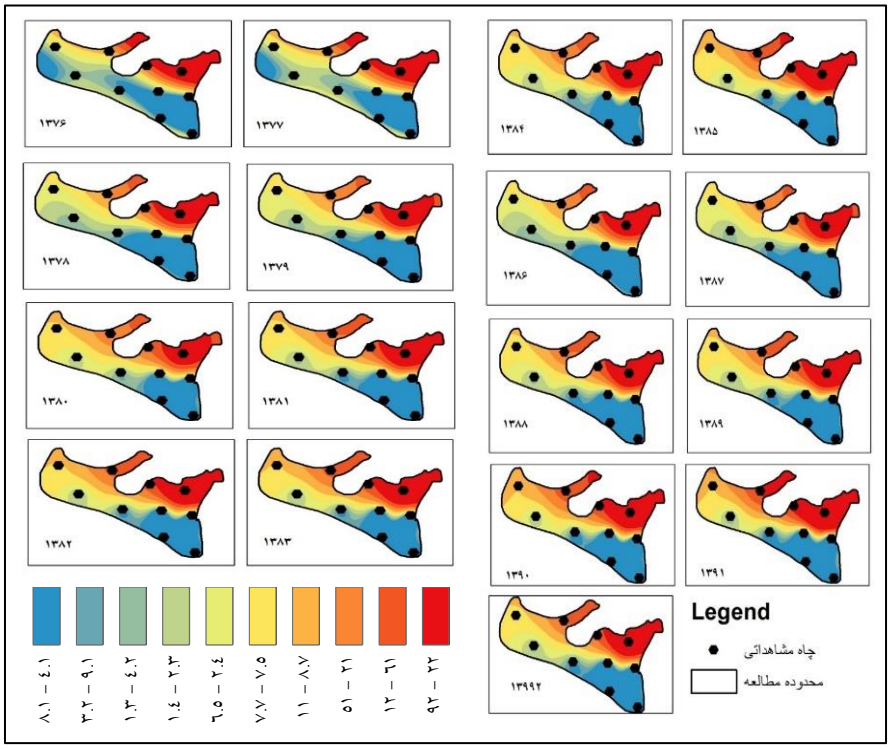


شکل ۲- ارزیابی صحت نتایج درون‌یابی براساس آماره RMSE



شکل ۳- ارزیابی صحت نتایج درون‌یابی براساس آماره MAE

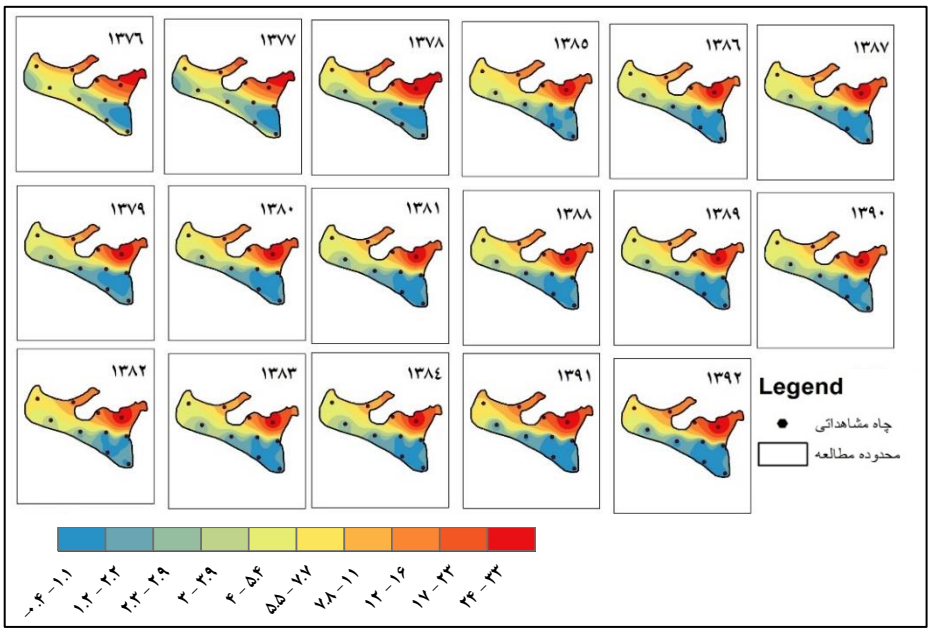
شکل (۳) نقشه‌های درون‌یابی شده تراز آب زیرزمینی دشت جاسک را به روش کریجینگ نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه درون‌یابی به روش کریجینگ بین سال‌های ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۲

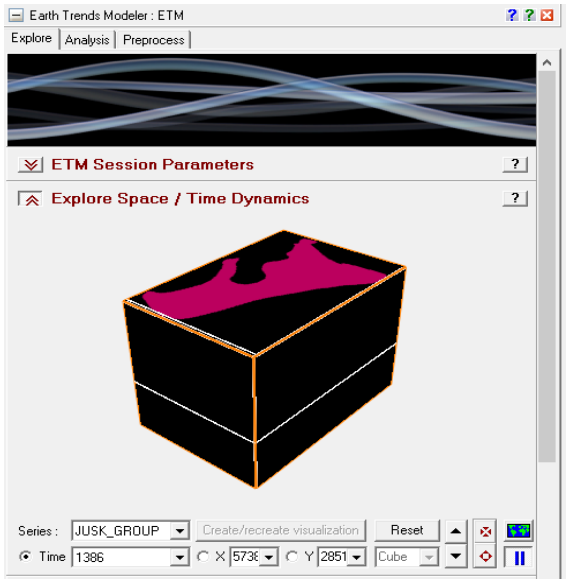
همان‌گونه که نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد، الگوی مکانی معنی‌داری در تراز آب زیرزمینی وجود دارد. مناطقی که از شمال شرق تا شمال غرب امتدادیافته سطح تراز بالاتری را در طی زمان داشته و مناطق جنوب و جنوب شرقی دشت سطح تراز پایین‌تری را دارند. همچنین سطح تراز برخی مناطق در طی زمان کاهش چشمگیری داشته است.

شکل (٤) نیز نقشه‌های درون‌یابی شده تراز آب را براساس روش RBF نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در روش RBF تقریباً مشابه روش کریجینگ است؛ بااین‌حال اندک تفاوتی در طبقات میانی سطح تراز وجود دارد. این تفاوت به سازوکار متفاوت دو روش و همچنین میزان خطای درون‌یابی روش‌ها مرتبط است.



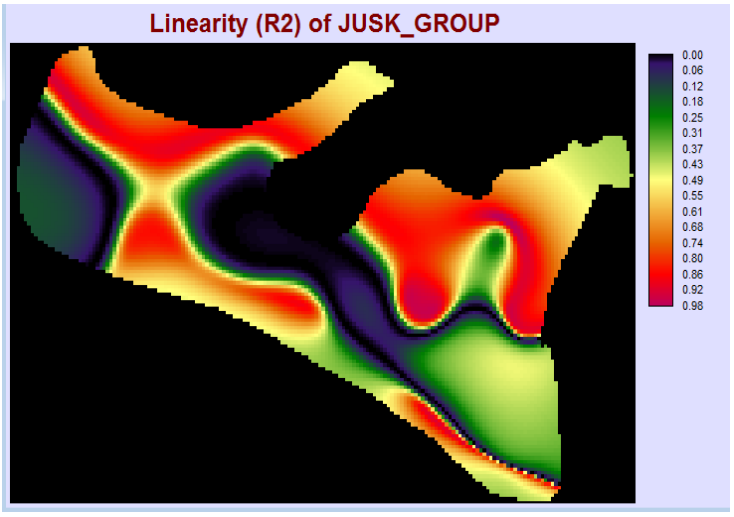
شکل ٤- نقشه درون‌یابی به روش RBF بین سال‌های ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۲

در مرحله بعد از نقشه‌های روش کریجینگ (به‌دلیل وجود خطای کمتر) به‌منظور روندیابی فضایی تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت جاسک بهره گرفته شد. در این راستا از روند خطی R^2 و روش سری زمانی من-کندال استفاده شد. ابتدا یک مکعب-فضا زمان برای داده‌های تراز آب زیرزمینی دشت جاسک تشکیل‌شده که مقادیر هر پیکسل در هر دوره زمانی از این مکعب استخراج می‌گردد.



شکل ۵- مکعب فضا-زمان برای روندیابی فضایی

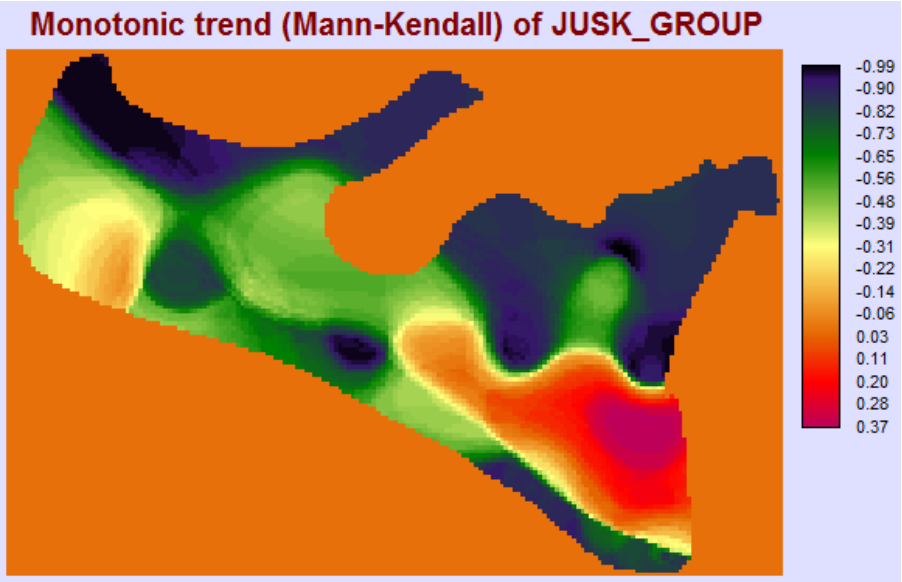
شکل (٦) روند خطی R^2 از سری زمانی داده‌های درون‌یابی‌شده را به روش کریجینگ نمایش می‌دهد.



شکل ٦- روند خطی R^2 از سری زمانی داده‌های درون‌یابی شده به روش کریجینگ

همان‌گونه که مشخص است در مناطق زیادی میزان R^2 پایین است و درواقع این مناطق با تغییرات عمده‌ای مواجه هستند. تغییرات R^2 نشان از آن دارد که نوسان تغییرات نیز بالا بوده است. بیشترین نوسان تغییرات (R^2 کوچک‌تر) مربوط به مناطق شمال شرقی و جنوب شرقی می‌باشد. آماره R^2 صرفاً وجود و عدم وجود و شدت تغییرات را نشان می‌دهد. این روش قادر به شناسایی تغییرات مثبت یا منفی نیست.

مدل‌سازی روند تغییرات برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش من-کندال نیز صورت گرفته است. شکل (۷) میزان تغییرات تراز آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در بخش روش‌شناسی ذکر شد در روش من-کندال میزان تغییرات بین ۱- و ۱ قرار دارد. عدد ۱ گواه بیشترین تغییرات افزایشی، ۱- به بیشترین تغییرات کاهشی و صفر به عدم‌تغییر سطح تراز آب در دوره‌های مختلف زمانی اشاره دارد.



شکل ۷- روند من-کندال از سری زمانی داده‌های درون‌یابی شده به روش کریجینگ

همان‌گونه که شکل (۷) نشان می‌دهد، در حاشیه شمال شرقی تا شمال غربی روند کاهشی با شدت بالا و نزدیک به ۱- مشاهده می‌شود. بخش‌های مرکزی منطقه نیز روندی کاهشی را نمایش می‌دهند با این تفاوت که از شدت کمتری نسبت به شمال منطقه برخوردار است. برخی از مناطق در جنوب شرق روندی تقریباً ثابت و حتی در برخی موارد افزایش دارند.

نتیجه‌گیری

برای آگاهی از وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات و روند تغییرات مکانی آن‌ها انجام شود. تداوم خشک‌سالی‌های چندساله اخیر در استان هرمزگان و نیز ازدیاد مصرف بی‌رویه و خارج از توان مخازن آبی، مشکلات عظیم و مخربی را بر مخازن زیرزمینی وارد ساخته است.

در پژوهش حاضر تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی دشت جاسک با استفاده از داده‌های ۱۰ چاه مشاهداتی طی سال‌های ۱۳۷٦ الی ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آماری تغییرات سالانه تراز آب زیرزمینی نشان از آن داشت که میانگین کل تراز آب زیرزمینی منطقه، روندی کاملاً کاهشی داشته است. بااین‌حال برای بررسی میزان و شدت تغییرات به‌صورت زمانی- مکانی نیاز به درون‌یابی و روندیابی فضایی داده‌های سری زمانی است؛ بنابراین از دور روش کریجینگ و RBF به‌منظور درون‌یابی داده‌های سطح تراز چاه‌های مشاهداتی استفاده شد. مقایسه نتایج روش‌های درون‌یابی کریجینگ و RBF، نشان داد که میزان خطای روش کریجینگ در تمام سال‌ها به‌جز در سال ۱۳۹۱ از روش RBF بهتر بوده است؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش کریجینگ به شکل بهتری تغییرات تراز آب‌های زیرزمینی را در محدوده مورد مطالعه پیش‌بینی می‌کند. همچنین هم برای روش کریجینگ و هم برای روش RBF الگوی معنی‌داری در توزیع فضایی سطح تراز آب زیرزمینی دشت جاسک وجود داشت. مناطقی که از شمال شرق تا شمال غرب امتدادیافته بود سطح تراز بالاتری را در طی زمان داشته و مناطق

جنوب و جنوب شرقی سطح تراز پایین‌تری را نمایش داده‌اند. همچنین سطح تراز برخی مناطق در طی زمان کاهش چشمگیری داشته و روند افزایشی مشاهده نمی‌گردد.

برای روندیابی تغییرات سطح تراز به نتایج آماره R^2 و آزمون من-کندال تکیه شده است. نتایج آماره R^2 حاکی از آن بود که در مناطق وسیعی از محدوده مورد مطالعه تغییرات عمده‌ای در سطح تراز آب‌های زیرزمینی روی داده است (نوسان تغییر). برای شناسایی تغییرات مثبت یا منفی نیز از روش من-کندال استفاده شد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که در حاشیه شمال شرقی تا شمال غربی روندی کاهشی با شدت بالا و نزدیک به ۱- وجود داشته است. بخش‌های مرکزی منطقه نیز روند کاهشی را نمایش می‌دهند با این تفاوت که از شدت کمتری نسبت به شمال منطقه برخوردار است. برخی از مناطق در جنوب شرق روندی تقریباً ثابت و حتی در برخی موارد افزایش نشان می‌دهند. درمجموع یک الگوی معنی‌دار در روند تغییرات وجود دارد که این الگو، در بخش‌های مختلف میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی متفاوت است.

اگرچه هدف اصلی در پژوهش حاضر مدل‌سازی روند تغییرات بوده است، بااین‌حال این پژوهش با محدودیت‌هایی نیز همراه است. اولین مورد تعداد چاه‌های مشاهداتی است که نتایج درون‌یابی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که مدل‌سازی روند تغییرات در مناطق وسیع‌تر و با تعداد نقاط مشاهداتی بیشتر صورت گیرد. محدودیت دوم و مهم‌تر در این پژوهش در رابطه با بررسی علّی روند تغییرات (کاهشی یا افزایشی) می‌باشد. در این پژوهش علت تغییرات کاهشی و یا افزایشی مورد بررسی قرار نگرفته است. برای مثال دلیل اینکه تغییرات بسیار شدید در برخی مناطق روی داده است، ممکن است به عواملی مانند برداشت بیش‌ازحد، وجود سکونتگاه‌های انسانی و یا اراضی کشاورزی، کاهش بارش و خشکسالی‌ها و همچنین پارامترهای فیزیکی- شیمیایی مرتبط با آبخوان‌ها ارتباط داشته باشد. چنین بررسی‌هایی می‌تواند موضوع پژوهشی مستقل باشد.

منابع

اکبری، ا.، ن. کلانتری و م. رحیمی (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت میاناب شوشتر با استفاده از GIS. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها). شهرکرد. ایران.

امینی، م.، ح. خادمی و ن. فتحیان پور. (۱۳۸۱). مقایسه کریجینگ و کوکریجینگ در برآورد غلظت کلر محلول در خاک. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۳(٤)، ۷٤۸-۷٤۱.

ایزدی، ع.، ک. داوری، ا. علی زاده، ب. قهرمان و س. ا. حقایقی مقدم (۱۳۸٦). پیش‌بینی سطح ایستابی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). آبیاری و زهکشی ایران، ۱۱(۲). ۵۹-۷۱.

تقوایی‌نژاد، م.، م. شایسته‌فر و ر. جلالی. (۱۳۸۷). به‌کارگیری روش‌های آماری و زمین‌آماری در ارزیابی نوسانات عیاری خوراک کارخانه پرعیارکنی مجتمع مس سرچشمه. دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران. دانشگاه تهران.

حسنی‌پاک، ع. (۱۳۷۷). زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک)، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ اول.

دیانی، م.، جعفری، س. خلیل مقدم و ب. دهقانی. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر شور و سدیمی شدن خاک سطحی با استفاده از زمین‌آمار، مطالعه‌ی موردی: اراضی غرب رودخانه‌ی کارون در استان خوزستان. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۹٤(۱)، ۹۵-۸٦.

رجایی، ط. و ا. زینی‌وند. (۱۳۹۳). مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از مدل هیبرید موجک- شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: دشت شریف‌آباد). مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تبریز، ٤ (٤)، ۵۱-٦۳.

رضایی، م.، ن. دواتگر، خ. تاجداری و ب. ابولپور (۱۳۸۹). بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار، نشریه آب‌وخاک، ۲٤(۵)، ۹٤۱-۹۳۲.

زارع چاهوکی، ا.، زارع چاهوکی، م.ع (۱۳۹۰). برآورد بارندگی فصلی و سالانه با استفاده از روش‌های درون‌یابی چندمتغیره (بررسی موردی: دامنه‌ی جنوبی البرز در استان سمنان). نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری. مجله‌ی منابع طبیعی ایران، ٦٤(۱)، ۵۱-۳۹.

زاهدی، م. و م. فریدونی (۱۳۹۳). ارزیابی توانایی شبکه عصبی مصنوعی با سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی توابع دشت ارسنجان. همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه.

زهتابیان، غ.، جان‌فزا، ع.ا.، محمدعسگری، ح.، نعمت‌الهی، م.ج (۱۳۸۹). مدل‌سازی توزیع مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی آب‌های زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز گرمسار). فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷ (۱)، ۷۳-٦۱.

سدیدی، ج.، م. کمانگر، ه. رضائیان و ع. حمیدیان (۱۳۹۳). پیش‌بینی سطح ایستابی مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و قانون یادگیری. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ١٦، ۳۹-۵۳.

شجاعیان، ع، امیدی‌پور، م و مدیری، م (۱۳۹٤). کاربرد مدل‌ها در علوم جغرافیایی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، اول، تهران.

طباطبایی، ط. و ف. امیری (۱۳۹٤). مکان‌یابی نیروگاه‌های بادی براساس ارزیابی چندمعیاره مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: استان بوشهر) .سنجش‌ازدور و GISدر منابع طبیعی ، ٦(۱). ۱-١٦.

عظیمی، ع.، ک. رنگزن، م. کابلی زاده و م. خرمیان (۱۳۹٤). برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش‌ازدور، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج آن با روش پنمن- مانتیث- فائو در باغات مرکبات شمال خوزستان .سنجش‌ازدور و GIS در منابع طبیعی، ٦(٤)، ٦١- ۷۵.

یعقوبی، ا.، م. فرامرزی و ج. حاجی کریمی (۱۳۹۵). ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی روند بیابان‌زایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS (مطالعه موردی: دشت دهلران). سنجش‌ازدور و GIS در منابع طبیعی،۷(۳)، ٦١-۷۷.

Anderson, M.P., Woessner, W.W. and Hunt, R.J. (2015). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic press.

Aronoff, S. (1989). Geographic information systems: a management perspective.

Belkhiri, L. and Narany, T.S. (2015). Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify

spatial variability of groundwater quality. Water Resources Management, 29(6), pp.2073-2089.

Chang, K.T. (2006). Introduction to geographic information systems (pp. 117-122). Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Cressie, N. (1992). Statistics for spatial data. Terra Nova, 4(5), pp.613-617.

Isawi, H., El-Sayed, M.H., Eissa, M., Shouakar-Stash, O., Shawky, H. and Mottaleb, M.S.A. (2016). Integrated geochemistry, isotopes, and geostatistical techniques to investigate groundwater sources and salinization origin in the Sharm EL-Shiekh Area, South Sinia, Egypt. Water, Air, & Soil Pollution, 227(5), p.151.

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis Journal of environmental studies and sciences, 4(4), 315-328.

Masoud, A.A. (2014). Groundwater quality assessment of the shallow aquifers west of the Nile Delta (Egypt) using multivariate statistical and geostatistical techniques. Journal of African Earth Sciences, 95, pp.123-137.

Narany, T.S., Ramli, M.F., Aris, A.Z., Sulaiman, W.N.A. and Fakharian, K. (2015). Groundwater irrigation quality mapping using geostatistical techniques in Amol–Babol Plain, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 8(2), pp.961-976.

Rajagopalan, B. and Lall, U. (1998). Locally weighted polynomial estimation of spatial precipitation. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 2(2), pp.44-51.

Thompson, S.A. (2017). Hydrology for water management. CRC Press.

Tian, Y., Zheng, Y., Wu, B., Wu, X., Liu, J. and Zheng, C. (2015). Modeling surface water-groundwater interaction in arid and semi-arid regions with intensive agriculture. Environmental Modelling & Software, 63, pp.170-184.

Wahlin, K., & Grimvall, A. (2010). Roadmap for assessing regional trends in groundwater quality. Environmental monitoring and assessment, 165(1-4), 217-231.