

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تغییرات کمی و شوری آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت رخ تربت حیدریه)

حسین بانزاد^{۱*}، مهدی مکاری^۲، امیرمحمد نوری^۳، سید نوید نبوی^۴، محمد کریمی فرزقی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲

چکیده

آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. هدف از انجام این پژوهش بررسی وضعیت عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن در طی سه دهه گذشته، در بخشی از دشت رخ تربت حیدریه بود. در این مطالعه اطلاعات کمی و هدایت الکتریکی مربوط به وضعیت عمق سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفت. از GIS و محیط ArcMap جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن با روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله استفاده شد. به منظور بررسی روند تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن در طی سه دهه گذشته، نقشه‌های پهنه‌بندی عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن، در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ تهیه گردید. نتایج نشان داد که روش کریجینگ معمولی با دارا بودن آماره‌های MAE، RMSE و MBE به ترتیب با میانگین مقادیر ۲۱/۸۲، ۴/۵۹ و ۴/۵۹ متر و بیش‌ترین R^2 یعنی ۰/۹۹ برآورد بهتری نسبت به روش وزن‌دهی عکس فاصله داشت. با گذشت زمان، قسمت‌های شمال غرب، غرب و تا حدودی شرق دشت رخ، نسبت به قسمت‌های شمالی و مرکزی آن با افت سطح ایستابی بیش‌تری مواجه شده بود. متوسط افت عمق سطح ایستابی در قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت ۱۱/۲۸ متر (یعنی به‌طور متوسط هر سال ۳۵ سانتی‌متر) و در قسمت شمال غربی دشت ۶۱/۹ متر (یعنی به‌طور متوسط ۱/۹۳ متر در هر سال) بوده است. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در قسمت‌های شمال غربی دشت رخ در طول دوره آماری ۳۲ سال به‌طور متوسط به اندازه ۱۴۸۲/۲۲ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که به منظور جلوگیری از افت هر چه بیش‌تر سطح ایستابی در دشت رخ، مدیریت صحیح منابع آب در اولویت برنامه‌های مدیران اجرایی استان قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سطح ایستابی، کریجینگ، میان‌یابی، وزن‌دهی عکس فاصله

مقدمه

آب زیرزمینی اهمیت بسیار زیادی داشته و آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی-زمانی سفره‌های آب زیرزمینی، ساختار ریاضی تغییرپذیری، جهت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی بسیار با اهمیت است (حسینعلی‌زاده و یعقوبی، ۱۳۸۹). استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از استان‌های کشور به‌ویژه استان خراسان رضوی سبب شده است که عمق سطح آب زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها با استمرار افت مواجه شود، کیفیت آب برداشت شده کاهش یابد، و در نتیجه این دشت‌ها در وضعیت بحرانی باشند. در دشت تربت حیدریه، پایین رفتن سفره آب زیرزمینی و کاهش یافتن کیفیت آن اثرهایی منفی بر تولید و درآمد کشاورزان گذاشته و با پی‌آمد آن کف-شکن کردن چاه‌ها، و افزایش دادن ارتفاع آب‌کشی، منجر به افزایش دادن هزینه تولید محصول شده است. بنابراین تهیه نقشه‌های بهنگام تغییرات ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. به‌ویژه این که نقشه‌های تغییرات

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران که میانگین بارندگی سالانه، آن کفایت نیاز آبی را نمی‌دهد، حفظ و مدیریت منابع

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران

۳- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

*-ایمیل نویسنده مسئول: Email: Banejad@um.ac.ir

ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی و از جمله هدایت الکتریکی، نقش ارزنده‌ای در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند (شعبانی، ۱۳۸۷).

یزدان پناهی و همکاران تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت مشهد را مورد مطالعه قرار دادند (یزدان پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج نشان داد روش کریجینگ معمولی با دارا بودن کم‌ترین میزان RMSE و بیش‌ترین R^2 بهترین برآورد را در منطقه داشت. نتایج بررسی پارامترهای کیفیت آب نشان داد که هدایت الکتریکی (EC) و مجموع املاح محلول (TDS) در طی سال‌های مورد مطالعه افزایش چشم‌گیری داشته که باعث کاهش کیفیت آب طی این سال‌ها شده است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که علت اصلی کاهش کیفیت آب در دشت مشهد، وجود نواحی صنعتی و مسکونی و توسعه اراضی کشاورزی بوده است. نیکبخت و دلبری (۱۳۹۲) دقت روش‌های زمین‌آمار را در تخمین سطح ایستابی دشت زاهدان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج میان‌یابی و پهنه‌بندی سطح ایستابی نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل نیم‌تغییرنمای گوسی با m $MBE = -0.97$ و $RMSE = 7/9$ به‌عنوان مناسب‌ترین روش جهت تخمین سطح ایستابی انتخاب شد. نقشه پهنه‌بندی سطح ایستابی در سطح منطقه حاکی از این بود که مناطق جنوب و جنوب غرب دشت زاهدان نسبت به مناطق شمال و شمال شرق آن، دارای سطح ایستابی بالاتری بودند. نتایج پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی با روش میان‌یابی کریجینگ در مطالعه دوست‌محمدیان و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که با گذشت زمان به‌طور میانگین سطح آب زیرزمینی در دشت سمنان، به میزان $8/6$ متر افت پیدا کرده است. شعبانی (۱۳۸۷) مناسب‌ترین روش زمین‌آمار در تهیه نقشه تغییرات pH و TDS آب-های زیرزمینی دشت ارسنجان را روش میان‌یابی تابع شعاعی (RBF) معرفی نمود. نتایج پژوهش مؤمنی دمنه و همکاران (۱۳۹۴) نیز نشان داد که بهترین روش‌های درون‌یابی برای پارامترهای کیفی آب زیرزمینی در دشت گناباد، انواع روش‌های کریجینگ بودند. بیابانی و همکاران (۱۳۹۸) روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کرج را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود از دو شاخص افت آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی (EC) جهت بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در طی دوره مطالعاتی میزان افت متوسط سالانه تراز آب زیرزمینی $1/02$ متر بود. همچنین نقشه‌های تغییرات کمی تراز آب زیرزمینی نشان داد که سطح وسیعی از دشت کرج به دلیل عدم تغذیه مناسب و برداشت‌های بی‌رویه از آب زیرزمینی دارای افت آب است. از طرفی نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی دشت کرج در همه قسمت‌ها (به غیر از آنیون بی‌کربنات) با غلظت یون‌های اصلی موجود در آب رابطه مستقیم داشت که مشخص‌کننده تغییر تیپ آب از بی‌کربنات به

سمت سولفات و کلرور سدیک بود. نتایج پژوهش نحعی نژاد فرد و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد که روش کریجینگ برای پهنه‌بندی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (EC, TDS, SAR) مناسب بود. نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی در دشت سرایان نیز نشان داد که در طول دوره آماری مورد مطالعه عمق آب زیرزمینی در سطح دشت کاهش یافته و این کاهش در قسمت‌های شمالی دشت بیش‌تر بوده است. کوکی‌نژاد قزوینی و همکاران (۱۳۹۵) با تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه، نشان دادند که بیشینه هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه در سال 1380 حدود 1656 میکروموس بر سانتی‌متر و در مرکز و شمال غرب دشت قرار داشت. نجف‌پور و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات کمی آب زیرزمینی با بررسی تراز سطح ایستابی در دوره آماری 1370 تا 1395 را به‌صورت نمودار و نقشه پهنه‌بندی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از افت سطح آب زیرزمینی به میزان $0/24$ متر در سال بود. در پی کاهش کمی منابع مقدار هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی، 42 درصد افزایش پیدا کرد. نتیجه مطالعه صالحیان بادی و همکاران (۱۴۰۳) در دشت رفسنجان نشان داد که با افزایش حفر و بهره‌برداری از چاه‌ها، سطح آب زیرزمینی کاهش پیدا کرده، عمق چاه‌ها و سطح ایستابی از زمین افزایش پیدا کرده و کیفیت آب نیز کاهش زیادی یافته است. به‌طوری که با برداشت بی‌رویه آب چاه‌ها و کاهش آب زیرزمینی، میزان برداشت کم‌تر از تخلیه مصوب یا قانونی شده است؛ همچنین بین سال‌های $97-1381$ سطح ایستابی از زمین حدود 13 متر افزایش یافته و از 63 متر به 76 متر رسیده و حدود 1000 واحد هدایت الکتریکی آب افزایش پیدا کرده است. متأسفانه در حال حاضر به علت عدم اجرای مدیریت صحیح بهره‌برداری، وقوع خشک‌سالی-های پی در پی و به دنبال آن برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، بیش‌تر آبخوان‌های کشور به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک با افت سطح ایستابی، کاهش حجم ذخیره و کاهش کیفیت آب مواجه شده است. با توجه به این امر برنامه‌ریزی‌های مدیریتی باید به سمتی سوق پیدا نماید که ضمن تأمین نیازهای آبی، روند افت کمی آبخوان‌ها را کاهش داده و بهبود کیفی آن‌ها را نیز در پی داشته باشد (کریمی و حداد، ۱۳۹۴). از آن جایی که در مطالعه قبلی ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ، تغییرات کیفی آب زیرزمینی تا سال 1383 مورد مطالعه قرار گرفت و اکنون قریب به دو دهه از آن تاریخ می‌گذرد و از طرفی تغییرات عمق سطح ایستابی نیز در طی این دو دهه در دشت مذکور مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا این ضرورت احساس گردید که با توجه به تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های اخیر، وضعیت منابع آب زیرزمینی از نظر عمق سطح آب و تغییرات هدایت الکتریکی در یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی یعنی دشت رخ تربت حیدریه مورد مطالعه قرار گیرد. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، از یک سو ارزیابی دقت روش‌های

شمالی دشت سرچشمه گرفته، به سمت خروجی دشت در شمال غرب جریان یافته و پس از خارج شدن از دشت رخ، نهایتاً به کال شور نیشابور می‌رسد. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزء حوضه رسوبی ایران مرکزی محسوب می‌شود. حوضه آبریز مشرف به دشت رخ را سازندهای زمین‌شناسی از دوره کرتاسه تا عهد حاضر در بر گرفته است.

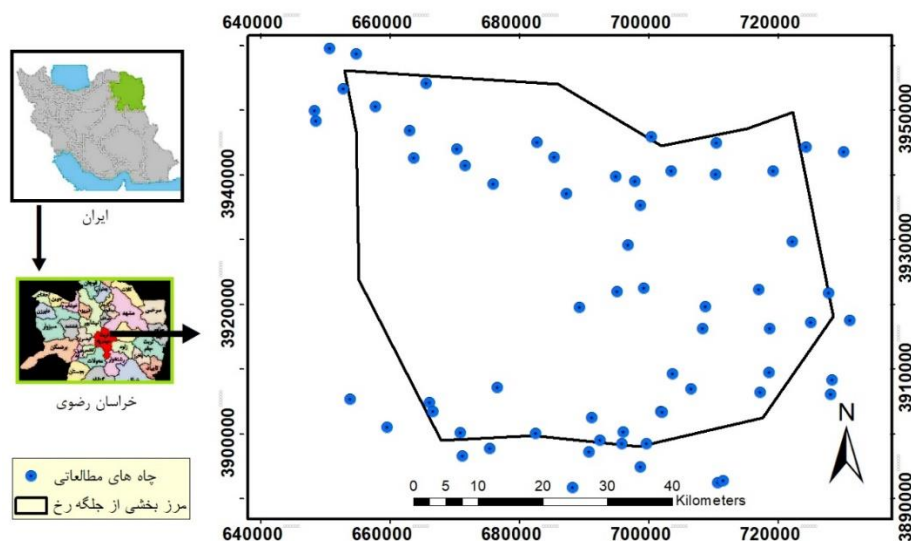
آمیزه‌های رنگین، قدیمی‌ترین رسوبات منطقه، با سن کرتاسه زیرین در شمال محدوده دشت رخنمون دارند. ارتفاعات شرقی و جنوبی دشت از سری سنگ‌های رسوبی و تبخیری دوران سوم است که از مارن‌های الوان، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. وجود سازندهای تبخیری میوسن و ائوسن در مناطق جنوبی دشت، به علت داشتن املاح گچ و نمک باعث کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. بهره‌برداری بی‌رویه از ذخایر آب زیرزمینی سبب کاهش تدریجی این ذخایر، کاهش آبدهی چاه‌ها و چشمه‌ها، خشک شدن قنات‌ها و افت کیفیت آب‌های زیرزمینی در این منطقه خصوصاً مناطق جنوبی دشت شده است (ناصری، ۱۳۸۷). در شکل (۱) موقعیت چاه‌های مشاهداتی در بخشی از دشت رخ نشان داده شده است.

زمین‌آمار کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله در پیش‌بینی عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن و انتخاب بهترین روش و از سوی دیگر مطالعه و بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن و ارائه راه‌کارهای محتمل جهت تعادل بخشی و احیای این منابع در دشت رخ تربت حیدریه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و طبیعی منطقه مورد مطالعه

رخ، دشت وسیعی در شمال شرق کشور با اقلیم خشک تا نیمه-خشک می‌باشد. این دشت در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران و در طول جغرافیایی $30^{\circ} 58'$ تا $30^{\circ} 40'$ شرقی و $35^{\circ} 50'$ تا 35° عرض شمالی قرار گرفته است. حوضه آبریز دشت رخ با مساحت 2300 کیلومتر مربع از شمال به حوضه نیشابور، از شرق به حوضه‌های سرجام و تربت‌جام، از جنوب به حوضه‌های زاوه و ازغند و ریوش و از سمت غرب به حوضه عطائیه و کال ماروس محصور شده است. وسعت دشت رخ 991 کیلومتر مربع است. زهکش اصلی دشت، رود شور می‌باشد که مسیر جریان رود شور از نقاط کم ارتفاع



شکل ۱- موقعیت چاه‌های مشاهداتی در بخشی از دشت رخ

در نرم افزار ArcGIS 10 انجام شد. تهیه نقشه‌ها جهت تحلیل تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی بسیار مفید و کارآمد است زیرا با مقایسه نقشه‌های مربوط به دوره‌های زمانی متفاوت، می‌توان به تغییرات کمی و کیفی صورت گرفته در دوره مطالعاتی پی برد (کوکبی نژاد قزوینی و همکاران، ۱۳۹۵). داده‌های مورد نیاز شامل مختصات چاه‌ها، سال، میزان سطح آب هر چاه و هدایت الکتریکی آن

در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی، آمار تراز چاه‌های مشاهده‌ای و شوری آن‌ها در طی دوره ۳۲ ساله (۱۳۷۰-۱۴۰۱) در بخشی از دشت رخ شهرستان تربت حیدریه از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی تهیه و در محیط نرم افزار اکسل به صورت سالانه مرتب گردید. بعد از مرتب کردن داده‌ها در محیط اکسل، تهیه نقشه‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

که در آن، $D_i^{-\pi}$ فاصله نقطه λ_m تا نقطه تخمین زده شده، π توان وزن دهی فاصله و n تعداد مشاهدات می باشد. در این پژوهش از توان ۱ تا ۳ برای تخمین استفاده شد.

روش و معیارهای ارزیابی

جهت صحت سنجی و ارزیابی روش ها از تکنیک اعتبارسنجی متقابل (cross-validation) با معیارهای آماری ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(X_i) - Z(X_i)]}{n} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z^*(X_i) - Z(X_i)|}{n} \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(X_i) - Z(X_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - \bar{Z}(X_i)]^2} \quad (6)$$

که در این روابط، $Z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده متغیر در X_i ، $Z(X_i)$ مقدار مشاهده ای متغیر در X_i و n تعداد نقاط با متغیر مشاهده ای می باشند. هر چه مقدار آماره های RMSE، MAE و MBE کمتر باشد روش از دقت بیش تری برخوردار است.

نتایج و بحث

در جدول (۱) آماره های ارزیابی روش های درون یابی کریجینگ معمولی و وزن دهی عکس فاصله ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱) مشخص می شود که روش کریجینگ معمولی با داشتن RMSE کمتر و ضریب تبیین بالاتر، دقت بیش تری در تخمین سطح آب زیرزمینی در طی سه دهه دوره مورد مطالعه، داشته است. این نتیجه با نتایج به دست آمده در مطالعه یزدان پناهی و همکاران مطابقت داشت (یزدان پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). آن ها در پژوهش خود روش کریجینگ معمولی را مناسب ترین روش برآورد سطح ایستابی در دشت مشهد معرفی نمودند. هم چنین دلبری و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود نشان دادند که روش کریجینگ نسبت به روش وزن دهی عکس فاصله دقت بالاتری در تخمین سطح ایستابی در آبخوان کوهپایه-سگری در استان اصفهان، داشت که با نتایج به دست آمده در این پژوهش هم خوانی داشت. مقادیر RMSE در روش کریجینگ معمولی برای سال های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۱۳/۵۵، ۲۴/۳۲، ۱۷/۸۹ و ۳۱/۵۳ متر بود.

(EC) در هر سال در جدولی جدا مرتب شد. سپس در محیط نرم افزار ArcMap نسخه ۱۰/۱، با روش های کریجینگ معمولی و وزن دهی عکس فاصله به درون یابی سطح آب زیرزمینی و شوری آن پرداخته شد. روش های زمین آماری ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی و نحوه پراکنش نقاط، اغلب دقت قابل قبولی را ارائه می دهند (دلبری و همکاران، ۱۳۹۴). روش های زمین آمار، به منظور شناخت تغییرات مکانی پدیده ها و پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط فاقد آمار مناسب می باشد (یزدان پناهی و همکاران، ۱۳۹۷).

کریجینگ معمولی (OK)

روش کریجینگ معمولی از مهم ترین و مرسوم ترین روش های تخمین زمین آماری می باشد. این روش متکی بر منطق میانگین متحرک وزن دار و بهترین تخمین گر خطی نا اریب می باشد که علاوه بر مقادیر تخمین، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می کند (Goovaerts, 1997). از این خاصیت می توان در طراحی شبکه نمونه برداری و به منظور تعیین محل نقاط اضافی دیگر در جهت کاهش خطای تخمین ها استفاده نمود (Kitanidis, 1993). فرمول مورد استفاده برای تخمین در روش کریجینگ معمولی مطابق زیر است:

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i) \quad (1)$$

که در آن، $Z^*(X_0)$ مقدار تخمین زده شده متغیر Z در نقطه ای به مختصات X_0 ، $Z(X_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر Z در نقطه ای به مختصات X_i ، λ_i وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه X_i و n تعداد مشاهدات می باشد (Delbari et al., 2013).

وزن دهی عکس فاصله (IDW)

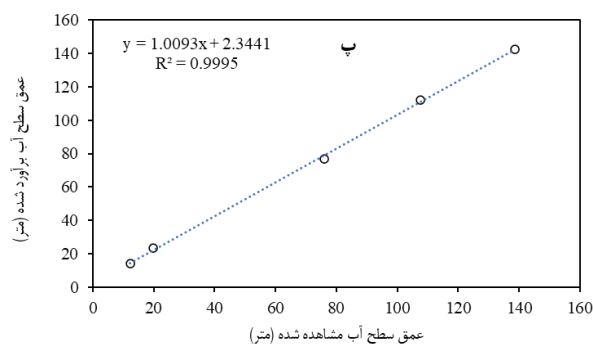
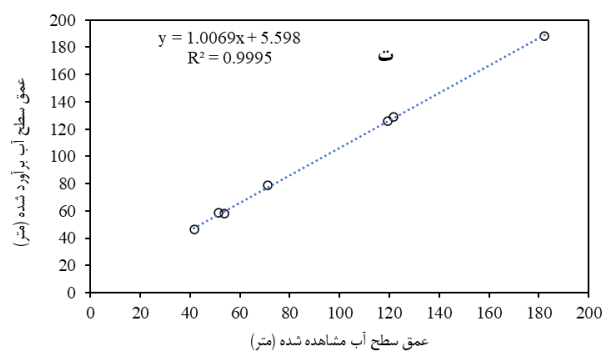
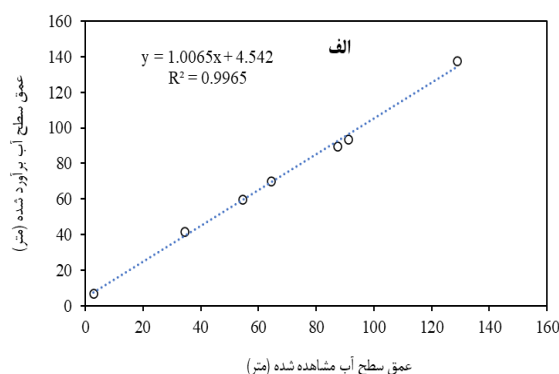
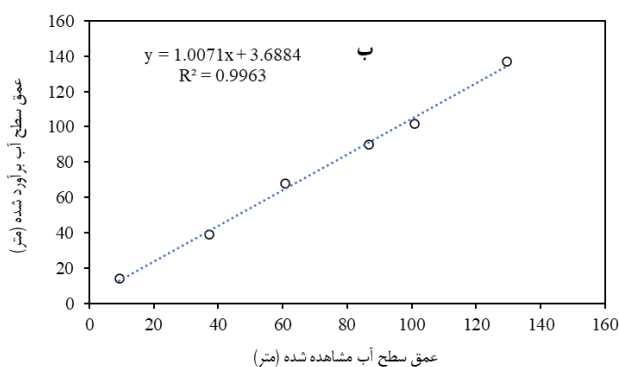
در این روش نیز همچون روش کریجینگ، مقدار یک متغیر در نقطه ای که نمونه برداری نشده باشد، از روی نقاط مجاورش، با استفاده از رابطه (۲) تخمین زده می شود. در این روش وزن ها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به موقعیت و چگونگی پراکندگی نقاط حول نقطه تخمین، تعیین می شوند. بدین ترتیب که به نقاط نزدیک تر وزن بیش تر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص داده می شود. در واقع نقاط با فاصله کم تر، اثر بیش تری در تخمین می گذارند (جهانی و دلبری، ۱۳۸۸). در این روش مقدار وزن λ_i از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\lambda = \frac{D_i^{-\pi}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\pi}} \quad (2)$$

جدول ۱- نتایج ارزیابی عمق سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری کریجینگ معمولی و وزن‌دهی عکس فاصله در سال‌های آماری ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱

کریجینگ معمولی (OK)						
سال	کمینه (متر)	بیشینه (متر)	ضریب تبیین (R ²)	ریشه میانگین مربعات خطا (متر) (RMSE)	میانگین خطای مطلق (متر) (MAE)	میانگین خطای اریب (متر) (MBE)
۱۳۷۰	۱۷/۲۳	۱۴۳/۱۷	۰/۹۹	۱۳/۵۵	۴/۹۷	۴/۹۷
۱۳۸۰	۲۲/۵۷	۱۱۲	۰/۹۹	۲۴/۳۲	۴/۱۸	۴/۱۸
۱۳۹۰	۳۵/۱۵	۱۲۳/۰۴	۰/۹۹	۱۷/۸۹	۳	۳
۱۴۰۱	۲۳/۵۷	۱۵۴/۴۹	۰/۹۹	۳۱/۵۳	۶/۲۲	۶/۲۲

وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)						
سال	کمینه (متر)	بیشینه (متر)	ضریب تبیین (R ²)	ریشه میانگین مربعات خطا (متر) (RMSE)	میانگین خطای مطلق (متر) (MAE)	میانگین خطای اریب (متر) (MBE)
۱۳۷۰	۴/۷۹	۱۶۲/۵۵	۰/۰۷	۲۰/۵۳	۴۰/۴۷	۲۸/۳
۱۳۸۰	۸/۶۷	۱۴۶/۹۲	۰/۰۲	۲۷/۵۴	۴۴/۵۵	۳۳/۰۵
۱۳۹۰	۹/۹۶	۱۷۶/۳	۰/۶۸	۲۹/۲۳	۲۶/۶۵	-۸/۳۶
۱۴۰۱	۱۱/۷۹	۱۶۰/۶	۰/۴۹	۲۸/۶	۲۵/۶۲	-۲۴/۸۹



شکل ۲- همبستگی بین عمق سطح آب مشاهده شده با عمق سطح آب برآورد شده در روش کریجینگ معمولی در سال‌های الف) ۱۳۷۰، ب) ۱۳۸۰، پ) ۱۳۹۰ و ت) ۱۴۰۱

در شکل (۲) همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر تخمین زده شده سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ معمولی نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲) مشخص می‌شود که روش کریجینگ معمولی در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ به خوبی توانسته است مقادیر سطح آب زیرزمینی را تخمین بزند. به عبارتی استفاده از روش کریجینگ معمولی، نتایج قابل قبولی را در پهنه‌بندی مکانی و زمانی سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه ارائه داده است. با توجه به آنچه در بالا ذکر شد می‌توان گفت که روش

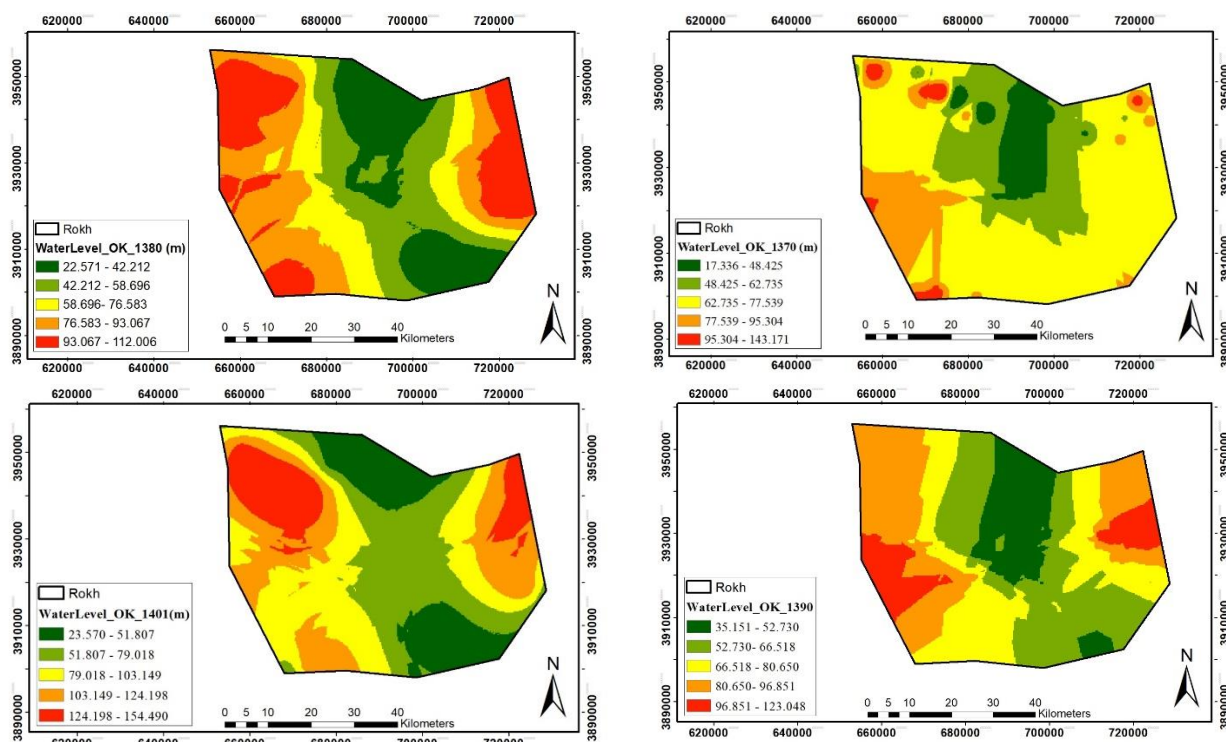
در شکل (۲) همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر تخمین زده شده سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش کریجینگ معمولی نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲) مشخص می‌شود که روش کریجینگ معمولی در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ به خوبی توانسته است مقادیر سطح آب زیرزمینی را تخمین بزند. به عبارتی استفاده از روش کریجینگ معمولی، نتایج قابل قبولی را در پهنه‌بندی مکانی و زمانی سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه ارائه داده است. با توجه به آنچه در بالا ذکر شد می‌توان گفت که روش

فقط نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به روش کریجینگ معمولی ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور بررسی روند تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در بازه‌های زمانی ۱۰ ساله یعنی از سال ۱۳۸۰-۱۳۷۰، ۱۳۹۰-۱۳۸۰ و ۱۴۰۱-۱۳۹۰ نقشه‌های پهنه‌بندی عمق سطح آب زیرزمینی دشت رخ با روش کریجینگ معمولی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ تهیه و در شکل (۳) نشان داده شده است.

کریجینگ معمولی، روشی مطمئن و قابل قبول برای تخمین سطح ایستابی در مناطقی از دشت مورد مطالعه است که در آن‌ها چاه‌های مشاهده‌ای برای پایش سطح ایستابی وجود ندارد.

الف-نقشه‌های پهنه‌بندی عمق سطح آب زیرزمینی

با توجه به این که دقت روش کریجینگ معمولی در درون‌یابی عمق سطح آب زیرزمینی از روش IDW بیش‌تر بود در این بخش



شکل ۳- درون‌یابی عمق سطح آب‌های زیرزمینی در بخشی از دشت رخ با استفاده از روش کریجینگ معمولی در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱

از شمال غرب و شرق دشت رخ، افتی معادل ۳۲/۴ متر را تجربه نموده است. البته قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت خیلی دستخوش تغییرات نشده‌اند و عمق سطح آب زیرزمینی در آن‌ها از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰، به‌طور متوسط ۴۰ متر بوده که تقریباً ثابت باقی مانده است. نکته جالب توجه آن است که عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های جنوبی دشت رخ به‌طور متوسط از ۷۰ متر در سال ۱۳۷۰ به ۴۰ متر در سال ۱۳۸۰ تغییر کرده است. به عبارتی با گذشت یک دهه، این قسمت از دشت رخ، با افزایش حدود ۳۰ متری سطح ایستابی مواجه بوده است. این امر می‌تواند در ارتباط با مورفولوژی ناهموار سنگ کف، نفوذپذیری آبرفت و جبهه‌های تغذیه (جریان آب زیرزمینی ورودی به آبخوان) باشد (رحمتی و همکاران، ۱۴۰۲). در سال ۱۳۹۰ متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی، مرکزی و

با توجه به شکل (۳) مشخص می‌شود که در سال ۱۳۷۰، عمق سطح آب زیرزمینی به جز در قسمت‌های مرکزی و شمالی دشت که به‌طور متوسط در ۴۰ متری از سطح زمین قرار داشته، در بقیه قسمت‌های دشت در دامنه ۶۲/۷ تا ۹۵/۳ متر متغیر بوده است. البته معدود نقاطی (نقاط قرمز رنگ) هم در پهنه دشت مشاهده می‌شوند که عمق سطح آب زیرزمینی در آن‌ها بالای ۹۵/۳ متر است. اما با گذشت یک دهه یعنی در سال ۱۳۸۰، مناطق وسیع‌تری از دشت رخ که در آن عمق سطح آب زیرزمینی بالای ۹۵ متر است، مشاهده می‌گردد. به طوری که در منطقه وسیعی از شمال غرب تا جنوب غرب و از شمال شرق تا شرق، عمق سطح آب زیرزمینی از ۷۶ متر فراتر رفته و در برخی مناطق به حدود ۱۱۲ متر رسیده است. به عبارتی با گذشت یک دهه (یعنی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰) سطح ایستابی در قسمت‌هایی

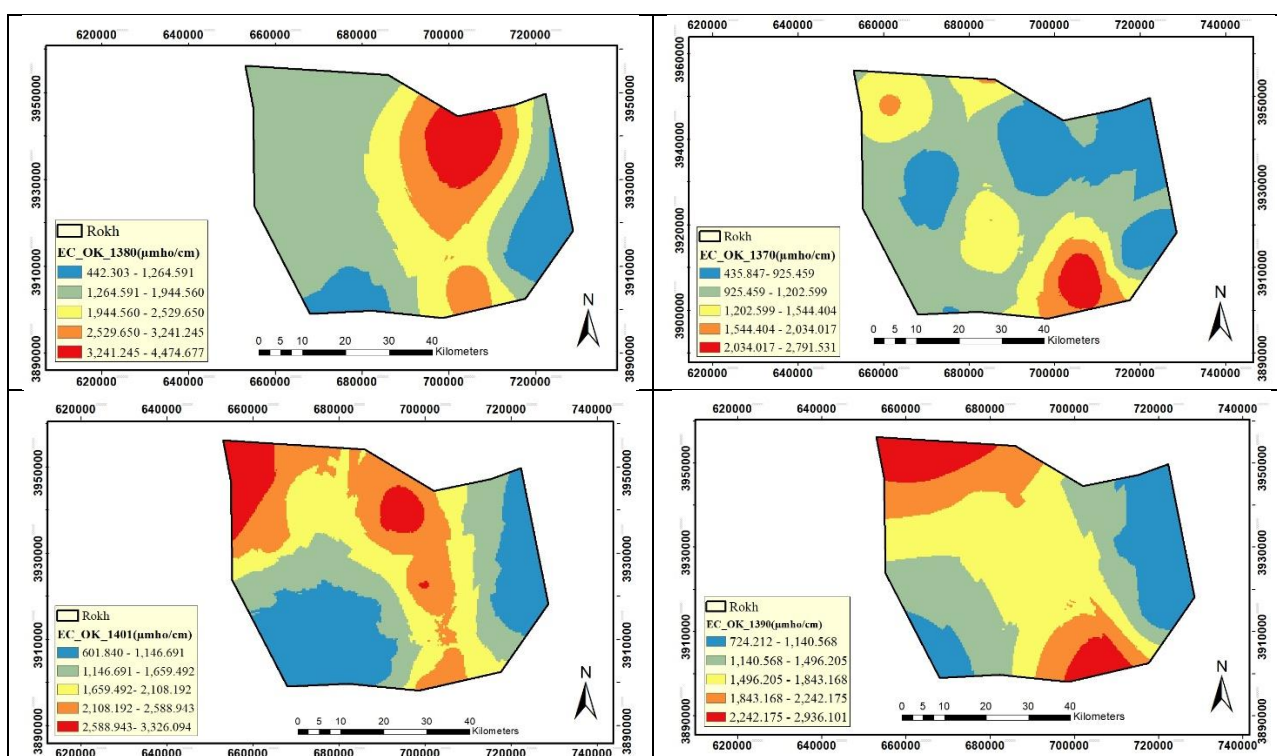
مالکیت، کاملاً مشخص باشد، افراد می‌توانند از تأثیر تصمیم‌های خود مطمئن شوند. مهم‌تر از آن، اگر افراد صرفاً استفاده‌کننده نباشند، بلکه مالک منبع مورد نظر نیز باشند، انگیزه کافی برای مدیریت آن خواهند داشت (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۹). در طول دوره آماری ۳۲ سال، متوسط افت عمق سطح ایستابی در قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت ۱۱/۲۸ متر (یعنی به‌طور متوسط هر سال ۳۵ سانتی‌متر) و در قسمت شمال غربی دشت ۶۱/۹ متر (یعنی به‌طور متوسط ۱/۹۳ متر در هر سال) بوده است.

بررسی روند تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی در بازه‌های زمانی ۱۰ ساله نشان داد که برای مناطق شمالی و مرکزی دشت رخ، متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۰ بدون تغییر، ۱۳۹۰-۱۳۸۰ دارای افت ۱۰/۸۳ متری و در ۱۴۰۱-۱۳۹۰ دارای افت ۴۵ سانتی‌متری بود و برای مناطق شمال غربی دشت در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۰ دارای افت ۳۲/۴ متری، ۱۳۹۰-۱۳۸۰ دارای افت ۷/۵ متری و در ۱۴۰۱-۱۳۹۰ دارای افت ۲۲ متری بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای دشت رخ بیش‌ترین افت عمق سطح ایستابی در مناطق شمال غربی دشت و در بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۰ اتفاق افتاد.

ب- نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (EC)
 به منظور بررسی ارتباط بین افت عمق سطح آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آن، در شکل (۴) نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با روش کریجینگ معمولی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱ ارائه شده است. با توجه به شکل (۴) مشخص می‌شود که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در قسمت‌های شمال غربی دشت رخ در طول دوره آماری ۳۲ سال به‌طور متوسط به اندازه ۱۴۸۲/۲۲ میکروموس بر سانتی‌متر افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در این قسمت از دشت در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۰ و به‌طور متوسط به اندازه ۷۸۵/۰۹ میکروموس بر سانتی‌متر بود. در بازه‌های زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۰ و ۱۴۰۱-۱۳۹۰ افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به‌طور متوسط به ترتیب ۳۶۹/۱۲ و ۳۲۷/۵۱ میکروموس بر سانتی‌متر بود. یک دلیل محتمل بر افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در قسمت شمال غربی دشت رخ، روند کاهش سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ در این قسمت از دشت بود. زیرا همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر گردید، در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۷۰ بیش‌ترین افت سطح ایستابی در قسمت شمال غربی دشت رخ و به اندازه ۶۱/۹ متر اتفاق افتاد. علاوه بر کاهش عمق سطح آب در این منطقه، وجود سنگ کف و ايجاد املاح تبخیری فراوان و سرعت حرکت اندک آب را می‌توان از دلایل اصلی کاهش هدایت الکتریکی آب در این ناحیه دانست.

جنوبی دشت به حدود ۵۰/۸۳ متر رسیده است که در مقایسه با سال ۱۳۸۰، حدود ۱۰/۸۳ متر افت سطح آب زیرزمینی در این مناطق اتفاق افتاده است. از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ در قسمت‌های شمال غرب، غرب، جنوب غربی و شمال شرقی دشت، عمق سطح ایستابی به‌طور متوسط از ۹۴/۲۹ به ۱۰۱/۸۴ متر کاهش پیدا کرده است. یعنی با گذشت ۱۰ سال، به‌طور متوسط ۷/۵ متر افت سطح ایستابی در این مناطق اتفاق افتاده است. در نهایت در سال ۱۴۰۱، متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در مناطق شمال غرب، غرب، جنوب غربی، شرق و شمال شرقی دشت به ۱۱۶/۷۴ متر رسیده است که در مقایسه با متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۰ در همین مناطق، به اندازه ۲۲ متر افت نشان داده است. در همین مدت متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی، مرکزی و جنوبی دشت از ۵۰/۸۳ متر به ۵۱/۲۸ متر کاهش یافت. به عبارتی از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۱، متوسط عمق سطح ایستابی در قسمت‌های شمالی، مرکزی و جنوبی دشت دارای افت ناچیز ۴۵ سانتی‌متر بوده است.

بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در طول دوره آماری مورد مطالعه (یعنی ۳۲ سال) می‌توان گفت که عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های شمالی و مرکزی دشت رخ با کم‌ترین افت و در قسمت شمال غربی با بیش‌ترین افت مواجه بوده است که با نتیجه به دست آمده در مطالعه یزدان پناهی و همکاران برای دشت مشهد مطابقت داشت (یزدان پناهی و همکاران، ۱۳۹۷). علت محتمل کاهش بیش‌تر سطح ایستابی در قسمت شمال غربی دشت را می‌توان به کاربری کشاورزی اراضی در این مناطق و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این قسمت‌ها مربوط دانست. هم‌چنین عواملی مثل خشک‌سالی و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی را می‌توان از علت‌های دیگر این افت دانست (دوست‌محمدیان و همکاران، ۱۳۹۹). عوامل متعددی بر اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار است که مطالعه و شناخت فراگیر درباره آن‌ها و اقدام در زمینه رفع و یا کنترل اثرات منفی هر یک می‌تواند به‌نوبه خود در کاهش اضافه برداشت از این منابع تأثیر بسزایی داشته باشد. مطالعات گذشته در خصوص مدیریت منابع آب نشان می‌دهد که عواملی چون مشارکت اجتماعی و میزان مشارکت کشاورزان در انجمن‌های آب‌بران، سطح آگاهی کشاورزان، تعداد خانوار، درآمد و تجربه پیشین کشاورزان در اختلاف و تضاد بر سر مسائل آب و آبیاری، بعد خانوار، وابستگی افراد به کشاورزی، سطح تحصیلات، سطح زیرکشت آبی، درآمد سالانه، تماس‌های ترویجی، مؤلفه‌های سرمایه اجتماعی، وضعیت آبیاری منطقه و وضعیت مشارکت کشاورزان در زمینه مدیریت آبیاری با موضوع مدیریت منابع آب همبستگی دارد. در بُعد فنی فاصله مزرعه تا منبع آب و نوع کانال آب از اهمیت برخوردار می‌باشند. عامل دیگر حقوق مالکیت است. نقش و تأثیر حقوق مالکیت در مدیریت منابع، در پژوهش‌های بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. وقتی حقوق



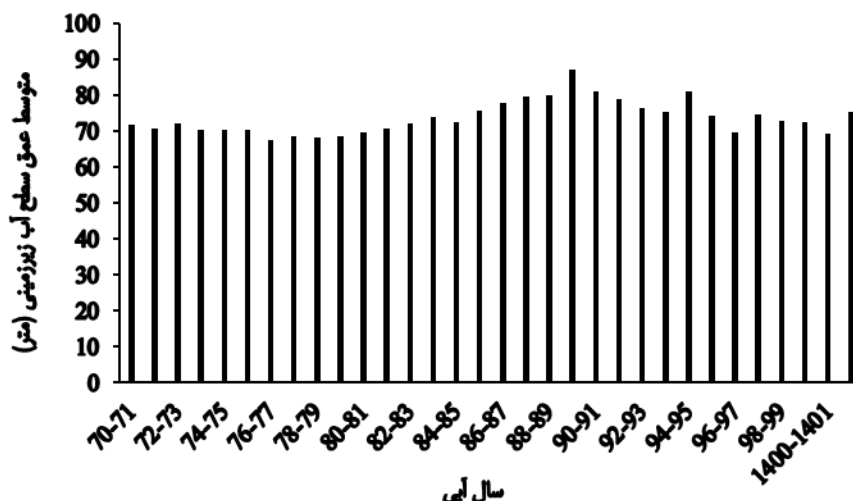
شکل ۴- درون بایی هدایت الکتریکی آب های زیرزمینی در بخشی از دشت رخ با استفاده از روش کریجینگ معمولی در سال های ۱۳۷۰، ۱۳۸۰، ۱۳۹۰ و ۱۴۰۱

حال آن که عمق سطح ایستابی در این منطقه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ تغییرات زیادی نداشت. این روند تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در طی سه دهه گذشته، در قسمت های شمال شرق، شرق و جنوب دشت نیز مشاهده گردید. بنابراین نتایج به دست آمده حاکی از آن است که تنها با تکیه بر روند تغییرات سطح ایستابی (یعنی افزایش یا کاهش آن) نمی توان رفتار هدایت الکتریکی و تغییرات آن را تجزیه و تحلیل نمود و لازم است اثر عوامل دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتیجه پژوهش ناصری در خصوص ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ نشان داد که پدیده های زمین زاد و از جمله انحلال کانی ها مهم ترین عامل در تغییرات کیفی آب زیرزمینی و از جمله هدایت الکتریکی در این منطقه می باشد (ناصری، ۱۳۸۷). دامنی و همکاران (۱۴۰۳) نیز در پژوهش خود نشان دادند که بر اساس تحلیل عاملی، دو عامل اصلی مؤثر بر کیفیت آبخوان شناسایی شدند که عامل اول انحلال کانی ها و عامل دوم عوامل کنترل کننده اسیدیته/قلیائیت منابع آب می باشند. در قسمت های غرب و جنوب غربی دشت، در طی سه دهه روند افزایشی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی اتفاق افتاد. هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به طور متوسط از ۸۱۹/۲۱ میکروموس بر سانتی متر به ۱۳۵۴/۹ میکروموس بر سانتی متر افزایش یافت. بیشترین مقدار افزایش آن مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۰ و به

همچنین با توجه به شکل (۴) مشخص می شود که در قسمت مرکزی دشت در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۳۸۰ علی رغم افت ناچیز سطح ایستابی، هدایت الکتریکی به طور متوسط به اندازه ۱۶۰۲/۷۳ میکروموس بر سانتی متر افزایش یافت. وجود سازندهای تبخیری میوسن و ائوسن حاوی گچ و نمک، به خصوص نهشته های میوسن زیرین که بیش تر تبخیری است، را می توان از عوامل مؤثر در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در ناحیه مرکزی و جنوبی دشت رخ عنوان نمود (ناصری، ۱۳۸۷). اما در بازه های زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۰ و ۱۴۰۱-۱۳۹۰ هدایت الکتریکی به ترتیب به طور متوسط به اندازه ۹۲۳/۲ و ۳۱۴/۶۴ میکروموس بر سانتی متر کاهش یافت. دلیل محتمل آن را می توان به وجود آبرفت درشت دانه و تغذیه آن توسط جریانات سطحی مربوط دانست که با نتیجه پژوهش رحمتی و همکاران (۱۴۰۲) هم خوانی داشت. البته با توجه به تغییرات ناچیز عمق سطح آب زیرزمینی در قسمت های مرکزی دشت در طول دوره آماری، انتظار می رفت که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز در این بازه زمانی تغییرات زیادی نداشته باشد. در قسمت های شمالی دشت نیز رفتاری متفاوت از آن چه برای عمق سطح ایستابی اتفاق افتاد، مشاهده گردید. به طوری که هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در طی سه دهه گذشته، ابتدا افزایش، سپس کاهش، و دوباره افزایش یافت.

منابع آب باید تمهیداتی اندیشیده شود و برنامه پایش کیفی آب در آن استمرار یابد (لاریجانی و همکاران، ۱۴۰۱).
در شکل (۵) متوسط تغییرات سطح ایستابی برای سال‌های آبی ۱۳۷۰-۷۱ تا ۱۴۰۰-۱۴۰۱ نشان داده شده است.

اندازه ۳۷۴/۱۹ میکروموس بر سانتی‌متر بود. در قسمت‌های جنوب شرقی دشت نیز در طی سه دهه دوره آماری، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در دهه اول (۱۳۷۰-۱۳۸۰) افزایش و در دو دهه بعدی (۱۳۸۰-۱۴۰۱) کاهش یافت. بنابراین با توجه به تغییرپذیری کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی در طول زمان، جهت مدیریت اصولی



شکل ۵- متوسط عمق سطح آب زیرزمینی در دشت رخ طی سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ تا ۱۴۰۰-۱۴۰۱

دشت در مقایسه با سایر قسمت‌های آن کم‌تر بود. استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ معمولی برآوردهای مناسب و قابل قبولی از تراز سطح ایستابی را در مناطق فاقد چاه‌های مشاهده‌ای ارائه داد. بنابراین با استفاده از این روش می‌توان تغییرات سطح ایستابی و هدایت الکتریکی آب زیرزمینی را هم در گستره دشت رُخ و در هم در طول دوره آماری حداقل سه دهه مورد ارزیابی قرار داد. نتایج هم‌چنین نشان داد که تغییرات سطح ایستابی در برخی از قسمت‌های دشت رخ، با تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در این مناطق همسو نبود. به‌طوری که در برخی مناطق دشت، علی‌رغم کاهش چشم‌گیر سطح ایستابی در طی سه دهه گذشته، نه تنها افزایش قابل ملاحظه و معنی‌داری در هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مشاهده نگردید بلکه در برخی مناطق، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی روند کاهشی داشت. نتایج حاکی از آن است که کاهش بارندگی، خشک‌سالی‌های چند دهه اخیر و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در منطقه دشت رُخ، ضرورت توجه و مدیریت صحیح منابع آبی در این منطقه را بیش از گذشته حائز اهمیت نموده است. بنابراین جلوگیری از برداشت بی‌رویه آب، مدیریت مصرف آب با جایگزینی روش‌های نوین آبیاری، تغییر الگوی کشت و روی آوردن به محصولات با نیاز آبی کم و اقتصادی، اجرای طرح‌های آبخیزداری و ترویج کشت‌های گلخانه‌ای به‌عنوان

با توجه به شکل (۵) مشخص می‌شود که کم‌ترین عمق سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ و به اندازه ۶۷/۶ متر و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و به اندازه ۸۶/۹ متر بود. به عبارتی سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ افت ۱۹/۳ متری و در هر سال به‌طور متوسط افت ۶۰ سانتی‌متری را تجربه کرده است. این نتیجه با نتیجه به دست آمده در پژوهش لشگری‌پور و همکاران (۱۳۸۴) مطابقت داشت. هم‌چنین با توجه شکل (۳) مشخص می‌شود که سطح آب زیرزمینی به جز در بازه زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ که با روند افزایشی ۲/۴۲ متر در سال همراه بوده است در بقیه دوره آماری مورد مطالعه با روند کاهشی مواجه بوده است. بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، کاهش بارندگی و خشک‌سالی‌های دهه اخیر منجر به افت سطح آب زیرزمینی در منطقه دشت رخ شده است. این نتیجه با مطالعات اکرامی و همکاران (۱۳۹۰) مبنی بر افت سطح آبخوان‌ها در سال‌های اخیر همسوست.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که دشت رُخ تربت حیدریه در طی سه دهه گذشته با افت سطح ایستابی مواجه بوده است به‌طوری که روند افت سطح ایستابی در قسمت‌های مرکزی

ساعته در استان گلستان. مجله مهندسی آب. ۲ (۴): ۱۳-۲۲.
حسینعلی زاده، م. و یعقوبی، ع. ۱۳۸۹. تغییرات زمانی و مکانی سطح سفره‌ی آب زیرزمینی با استفاده از زمین‌آمار. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴ (۱۰): ۶۳-۶۸.

دامنی، ح.، جهان‌ساهی، ر.، باقری، س. و میربلوچ‌زهی، م. ۱۴۰۳. عوامل موثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی منطقه سراوان، جنوب شرق ایران. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۴ (۴): ۱۹۹-۲۲۱.

دلبری، م.، بوستانیان، م. و افراسیاب، پ. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی-زمانی و پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگری (استان اصفهان) با استفاده از روش های زمین آماری. فصلنامه فضای جغرافیایی. ۱۵ (۵۲): ۳۰۵-۳۲۴.

دوست‌محمدیان، ا.ح.، محمدی، م.، امیری، م. و کیانیان، م.ک. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات کمی آب‌های زیرزمینی در دشت سمنان. مجله مهندسی منابع آب. ۱۳ (۴۷): ۶۱-۷۰.

رحمتی، س.، سعادت، س. و پورسلطانی، م.ر. ۱۴۰۲. اثرات بهره‌برداری آبخوان‌ها بر کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نیشابور، شمال شرق ایران). یافته‌های نوین زمین-شناسی کاربردی. ۱۷ (۳۴): ۸۳-۹۸.

شعبانی، م. ۱۳۸۷. تعیین مناسب‌ترین روش زمین آمار در تهیه‌ی نقشه‌ی تغییرات pH و TDS آب‌های زیرزمینی (مطالعه‌ی موردی: دشت ارسنجان). مجله مهندسی آب. ۲ (۳): ۴۷-۵۶.

صالحیان بادی، س.، منشی‌زاده، ر.، حسینیان بادی، س. و کدخدایی، م. ۱۴۰۳. بررسی تغییرات کمی و کیفی (EC) آب زیرزمینی در دشت رفسنجان. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۴ (۴): ۱۷۹-۱۹۸.

کریمی، م. و حداد، م.ر. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت مه‌ولات. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۹ (۳۱): ۲۳-۳۰.

کوکبی‌نژاد قزوینی، ا.ح.، محمدنژاد، و. و سلیمانی، م.ب. ۱۳۹۵. بررسی تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی واقع در رسوبات کواترنری دشت ارومیه. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۵ (۳): ۹۳-۱۱۰.

لاریجانی، ش.، بانژاد، ح.، کاویان، ع. و ضیایی، ع.ن. ۱۴۰۱. ارزیابی حساسیت دو مدل کیفیت آب NSFQI و IRWQISC در رودخانه هراز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۱۶): ۸۱۶-۸۳۰.

لشگری پور، غ.، غفوری، م.، سویزی، ز. و پیوندی، ز. ۱۳۸۴. افت سطح آب زیر زمینی و نشست زمین در دشت مشهد. نهمین همایش

راهکارهایی جهت احیا و تعادل بخشی منابع آب ارائه می‌گردد و این مهم جز با همکاری کلیه اقشار جامعه میسر نمی‌گردد. (بهرامی و دستورانی، ۱۳۹۸). در مناطقی که افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ناشی از پدیده‌های زمین‌زاد است و عوامل انسانی نظیر برداشت آب زیرزمینی تأثیری در روند تغییرات آن ندارد پیشنهاد می‌گردد که با انجام مطالعات و اجرای طرح‌های آبخیزداری، زمینه مهار سیلاب‌ها و نفوذ آن‌ها به داخل آبخوان جهت کاهش هدایت الکتریکی فراهم گردد. پیشنهاد می‌شود در محدوده مطالعاتی با کاهش بهره‌برداری به‌منظور جلوگیری از افت مستمر سطح آب زیرزمینی و همچنین احداث سدهای زیرزمینی با جلوگیری از خروج زه‌آب‌های زیرزمینی به نواحی کویری و جلوگیری از شور شدن آن‌ها می‌توان مانع هجوم آب‌های شور شد و یا با بهره‌برداری از جبهه آب شور در صورت مناسب بودن کیفیت آب برای گیاهان شورپسند و پرورش آبزیان آب شور اقدام کرد و همچنین در این راستا باید ضمن معرفی الگوی کشت مناسب و سازگار با اقلیم منطقه، افزایش بازده آبیاری با تشویق کشاورزان و ارائه امکانات مناسب و آموزش لازم در زمینه توسعه کشت محصولات کم‌آب‌بر از طرف سازمان جهاد کشاورزی نسبت به مشخص کردن ارزش واقعی آب اقدامات لازم صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم دانستند تا از مدیریت امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه به دلیل تهیه و در اختیار گذاشتن داده‌های کمی و کیفی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای دشت رُخ و همکاری ایشان در تهیه این مقاله، مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

منابع

اکرامی، م.، شریفی، ذ.، ملکی‌نژاد، ح. و اختصاصی، م.ر. ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹. طلوع بهداشت. ۱۰ (۳): ۸۲-۹۱.

بهرامی، ف. و دستورانی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت سراوان با استفاده از شاخص کیفی WQI. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۱۳): ۱۰۶۴-۱۰۷۴.

بیابانی، ل.، زهتابیان، غ.ر.، خسروی، ح. و حنیفه‌پور، م. ۱۳۹۸. ارزیابی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت کرج. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۶ (۱): ۱۵۸-۱۷۳.

جهانی، س. و دلبری، م. ۱۳۸۸. ارزیابی و برآورد بیش‌ترین بارش ۲۴

بررسی تغییرات زمانی و مکانی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سرایان در خراسان جنوبی. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۴ (۲): ۲۶۷-۲۷۸.

نیکبخت، ص. و دلبری، م. ۱۳۹۲. برآورد سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت زاهدان). نشریه آب و توسعه پایدار. ۱ (۱): ۴۹-۵۶.

یزدان‌پناهی، ع.، اکبری، م. و بهرنگ‌منش، م. ۱۳۹۷. بررسی تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت مشهد. مجله ترویج و توسعه آبخیزداری. ۶ (۲۰): ۲۵-۳۴.

Delbari, M., Bahraini Motlagh, M., Kiani, M. and Amiri, M. 2013. Investigating spatio-temporal variability of groundwater quality parameters using geostatistics and GIS. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 4 (10):3623- 3632.

Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press.

Kitanidis, P.K. 1993. "Geostatistics", chapter 20 in Handbook of Hydrology, Maidment D.R. (ed.), McGraw Hill Book co.

انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم. تهران.

مقیمی، ز.، کرباسی، ع.ر.، محتشمی، ت. و علیزاده، ا. ۱۳۹۹. بررسی عوامل موثر بر اضافه برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی در دشت زاوه-تربت حیدریه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴ (۴): ۶۰۳-۶۱۴.

مؤمنی‌دمنه، ج.، جولایی، ف.، علیدادی، ح. و پیروی، ر. ۱۳۹۴. ارزیابی روش‌های درون‌یابی جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت گناباد). فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط. ۱ (۳): ۱۶۵-۱۷۶.

ناصری، ح.ر. ۱۳۸۷. ارزیابی کیفی منابع آب زیرزمینی دشت رخ (تربت حیدریه) با استفاده از روش‌های زمین‌آمار. نشریه جغرافیایی سرزمین. ۵ (۱۷): ۷۳-۸۴.

نجف‌پور، ن.، ترابی‌پوده، ح. و یونسی، ح. ۱۳۹۹. بررسی اثر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی بر آلودگی آبخوان (مطالعه موردی: دشت لنجان، اصفهان). پژوهش‌های محیط‌زیست. ۱۱ (۲۱): ۲۳۳-۲۴۸.

نخعی‌نژادفرد، س.، زهتاییان، غ.، ملکیان، آ. و خسروی، ح. ۱۳۹۶.

Investigation of Groundwater Salinity and Quantitative Changes by Using Statistical Methods (Case study: Torbat Heydariyeh Rokh Plain)

H. Banejad^{1*}, M. Mokari², A.M. Noori³, S.N. Nabavi⁴, M. Karimiferezh⁵

Recived: Jun.07, 2024

Accepted: Aug.12, 2024

Abstract

Groundwater is considered as a main source of providing agricultural, industrial and drinking water requirement in arid and semi-arid regions. The objective of this study was to survey the groundwater depth status and its electrical conductivity during three decades in a part of Torbat Heydariyeh Rokh Plain. In this study, quantitative and electrical conductivity information related to groundwater depth status in 1991-2022 was investigated. Interpolation methods such as ordinary Kriging and invers distance weight were applied for preparing the zonation maps of groundwater depth and its electrical conductivity by using GIS software and ArcMap. The results showed that ordinary Kriging method with the lowest RMSE, MAE and MBE by average amount of 21.82, 4.59 and 4.59 meter respectively, and the highest R^2 by amount of 0.99 had the better estimate than IDW method. Through passing time, North West, West and partly East regions of Rokh plain experienced more decrease in water table than Northen and central regions. The average head loss of water table in Northen and central regions of Rokh plain was 11.28 meter (i.e. on average 35 cm/year) and in North west regions of plain was 61.9 meter (i.e. on average 1.93 m/year). Groundwater electrical conductivity in North West regions increased by 1482.22 $\mu\text{mho/cm}$ during 32 years statistical period. According to findings in this research, it is recommended to prevent the head loss occurred in water table in Rokh plain, proficient management of water resources laid on priority of province administrative managers plans.

Keywords: Interpolation, Inverse distance weight, Kriging, Water table

1- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Kashmar Higher Education Center, Kashmar, Iran

3- Master's degree, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- PhD student of Remote Sensing and GIS, faculty of geography, Tehran university, Tehran, Iran

5- Assistant Professor, Agronomic and Horticulture Crops Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: banejad@um.ac.ir)