

واژه‌های کلیدی: روش‌های درون‌یابی، شوری آب، GIS، دشت مشهد.

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران که میانگین بارندگی سالانه، آن کفایت نیاز آبی را نمی‌دهد، حفظ و مدیریت منابع آب زیرزمینی اهمیتی بسیار زیاد داشته و آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی-زمانی سفره‌های آب زیرزمینی، ساختار ریاضی تغییرپذیری، جهت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی بسیار با اهمیت است [۱۲]. در حال حاضر در ایران به دلیل برداشت بیش‌ازحد مجاز آب از سفره‌های آب زیرزمینی، بسیاری از قنات‌ها خشک و یا در حال نابودی است. کیفیت این منابع به دلیل برداشت‌های بیش از حد از یک‌سو و فعالیت‌های نامناسب انسان از سوی دیگر، کاهش یافته و همواره تخریب شده‌اند [۱۱]. به نحویکه استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث کاهش سطح ایستابی آنها و در نتیجه نشست زمین شده است [۸]. برای مدیریت بهینه‌ی آب‌های زیرزمینی لازم است که اطلاعات کافی از مجموعه‌ی ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان مورد مطالعه جمع‌آوری و با شیوه مناسب نیز ارزیابی شوند. از میان روش‌های موجود، روش‌های زمین‌آمار، جهت شناخت تغییرات مکانی پدیده‌ها و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی در نقاط فاقد آمار مناسب می‌باشد. روش‌های زمین‌آماري ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی و نحوه پراکنش نقاط، اغلب دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهند [۵]. هر چند روش زمین‌آمار، قدمت چندانی ندارد، اما توسعه روش‌های مختلف زمین‌آماري باعث شده تا برخی از مطالعات مربوط به سطح آب زیرزمینی، در رابطه با انواع روش‌ها، مانند ارزیابی شبکه‌چاه‌های مشاهده‌ای که مربوط به نقاط نمونه‌برداری فاکتورهای کمی آب زیرزمینی هستند انجام شود [۳]. در اینجا به تعدادی از این مطالعات اشاره شده است:

آذره و همکاران [۳]، در پژوهش خود با بهره‌گیری از داده‌های رقومی سطح آب اندازه‌گیری شده دشت گرمسار در ۴۵ نقطه به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت گرمسار به این نتیجه رسیدند از بین روش‌های مختلف درون‌یابی بر پایه معیار (RMSE) روش کریجینگ بهترین روش پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی در آغاز و پایان دوره مورد بررسی می‌باشد. همچنین یوسان و همکاران [۲۵]، به مقایسه سه روش میان‌یابی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین در شمال چین پرداختند. نتایج نشان داد که

بررسی تغییرات زمانی-مکانی پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در دشت مشهد

علی یزدان پناهی^۱، مرتضی اکبری^۲، ملیحه بهرننگ منش^۳
 تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۲

چکیده

آب زیرزمینی منبع اصلی تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی رابطه بین کیفیت آب زیرزمینی با سطح ایستابی در دشت مشهد می‌باشد. در این مطالعه، اطلاعاتی کیفی ۴۱ چاه آب زیرزمینی برای ماه‌های تغذیه و تخلیه در سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. از نرم‌افزار GS+ و محیط GIS جهت تعیین و ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی استفاده شد. نتایج نشان داد روش کریجینگ معمولی با دارا بودن کمترین میزان RMSE و بیشترین R² بهترین برآورد را در منطقه داشته است. بررسی کلاس غالب آب زیرزمینی در دشت مشهد به ترتیب، برای مصارف کشاورزی، با نمودار ویلکوکس، C2-S1 و C3-S1 و برای مصارف شرب، با نمودار شورلر، «خوب» و «متوسط» طبقه‌بندی شد. نتایج بررسی پارامترهای کیفیت آب نشان داد که به غیر از Mg بقیه پارامترها در طی این سال‌ها تغییرات افزایشی داشته و در بین این پارامترها، هدایت الکتریکی (EC) و مجموع املاح محلول (TDS)، افزایش چشمگیرتری داشته که باعث کاهش کیفیت آب طی این سال‌ها شده است. میانگین همبستگی روند تغییرات مکانی سطح ایستابی و EC، به ترتیب ۰/۳۵- و ۰/۴۵- می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش شوری با کاهش سطح آب آبخوان است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که علت اصلی کاهش کیفیت آب در دشت مشهد، وجود نواحی صنعتی و مسکونی و توسعه اراضی کشاورزی بوده است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
 ۲- استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول Email: M_akbari@um.ac.ir
 ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

بر اساس هیدروگراف ها، در طول ۲۰ سال، سطح آب زیرزمینی به ۱۲٫۱ متر کاهش یافته و سالانه ۶۰ سانتی متری کاهش می یابد. قاسمی و همکاران [۹]، به مطالعه سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار پرداختند و نتایج نشان داد که سطح آب به دلیل کاهش بارش ها از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۰۶ در حدود ۱۱ متر افت داشته است. همچنین مطالعه دانشور وثوقی و همکاران [۴]، در بررسی روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی دشت اردبیل بیانگر روند افزایشی همه متغیرهای کیفی آب بود.

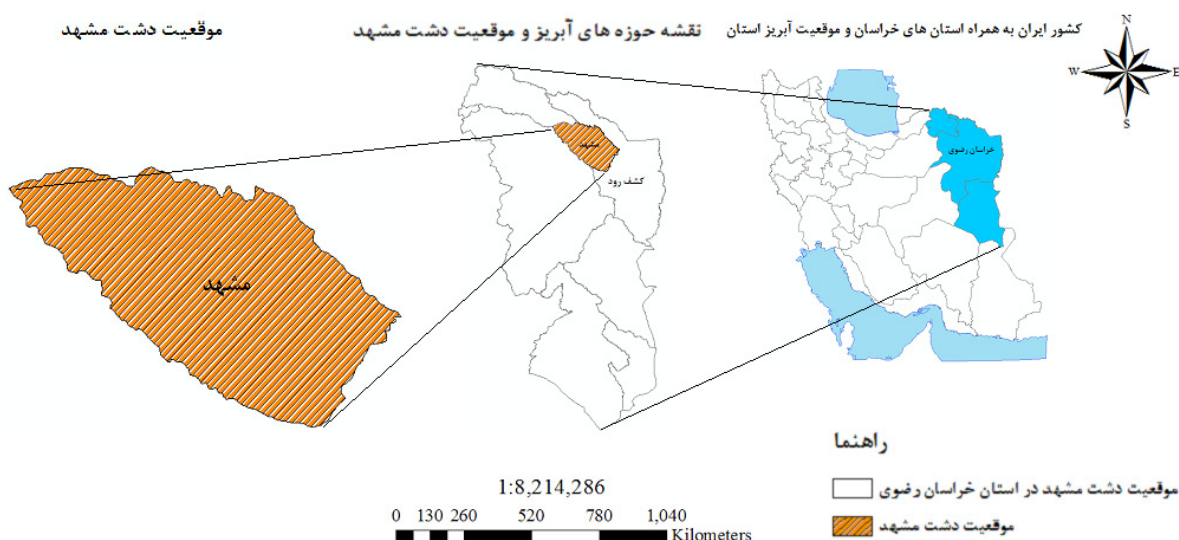
این تحقیق باهدف بررسی تغییرات کمی و کیفی آب در ماه های تر (فروردین) و خشک (مهر) و همچنین ارتباط آن با بارش های جوی در طی سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ در دشت مشهد انجام شد. که به دلیل اهمیت این دشت در استان پهناور استان خراسان و همچنین جمعیت زیاد ساکن آن، نتایج بدست آمده می تواند مفید واقع شود.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

آبخوان دشت مشهد با مساحتی در حدود ۳۳۵۱ کیلومترمربع در شمال شرق ایران و در استان خراسان رضوی قرار دارد و در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۹۵۷ متر می باشد. میانگین حداقل دما ۷/۳-، میانگین حداکثر دما ۲۹/۷ و میانگین متوسط سالانه دما ۱۶/۳۴ درجه سانتی گراد است. اقلیم منطقه از خشک تا نیمه خشک متغیر است. قسمت عمده بارش در اواخر زمستان و اوایل بهار و کمترین میزان بارش در فصل تابستان اتفاق می افتد. میانگین طولانی مدت بارش منطقه نیز برابر ۲۱۴/۱۰ میلی متر در سال است که میزان بارش برای فصول مختلف سال به ترتیب پاییز ۱۹/۶۵، زمستان ۴۵/۷۳، بهار ۳۲/۹۴ و تابستان ۱/۶۸ درصد است [۱۰]. شکل (۱) موقعیت

روش کریجینگ معمولی به عنوان روش بهینه برای میانمایی عمق آب زیرزمینی است. نتایج نیکبخت و دلبری [۱۹]، که بر روی برآورد سطح ایستابی آب های زیرزمینی با استفاده از روش های زمین آماری بود نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل نیم تغییر نمای گوسی، به عنوان مناسب ترین روش جهت تخمین سطح ایستابی انتخاب شد. دلبری و همکاران [۶]، در پژوهش خود به بررسی تغییرات مکانی-زمانی و پهنه بندی سطح آب زیرزمینی آبخوان کوهپایه-سگزی (استان اصفهان) با استفاده از روش های زمین آماری پرداختند. نتایج ارزیابی نشان داد که روش کریجینگ نسبت به روش وزن دهی عکس فاصله دارای دقت بیشتر بوده است. همچنین صمدی [۲۲]، در تحقیقی با اطلاعات سطح آب زیرزمینی ۶۷ چاه مشاهده ای به مدل سازی مکانی-زمانی تغییرات تراز سطح آب های زیرزمینی مناطق شهری و روستایی آبخوان کاشان با استفاده از تکنیک های GIS پرداخت. مهری و همکاران [۱۷]، در تحقیقی بررسی روند تغییرات کیفی و سطح ایستابی آب های زیرزمینی در دشت تسوج و شیرامین حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که با کاهش کیفیت منابع آبی، میزان برداشت سالیانه از آبخوان ها، کاهش می یابد. همچنین شاهید و هازاریکا [۲۳]، و اویند و همکاران [۲۰]، در تحقیق به تحلیل سطح آب زیرزمینی و زمان های بارندگی پرداختند، نتایج آنها نشان که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل های خشک و بازگشت خشکسالی ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده است. می و همکاران [۱۸]، و پاور و همکاران [۲۱]، روند و تغییرپذیری زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که غلظت آلاینده ها در مناطق شهری، به دلیل تراکم زیاد جمعیت، بیشتر است. همچنین در تحقیق دیگری که توسط اکبری و همکاران [۲]، و لشگری پور و همکاران [۱۶] به ارزیابی افت سطح آبخوان دشت مشهد پرداختند نتایج نشان داد که نشان داد که سطح آب زیرزمینی در حدود ۳۰ متر در مناطق مرکزی و غربی آبخوان کاهش یافته است، و



شکل ۱: موقعیت دشت مشهد واقع در خراسان رضوی

جمع‌آوری و روش تحلیل داده‌ها

انتخاب روش مناسب پهنه‌بندی و تهیه نقشه تغییرات ویژگی‌های کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی گامی اساسی و مهم در مدیریت منابع آبی یک منطقه به شمار می‌رود. در این مطالعه از داده‌های ۴۱ حلقه چاه مشترک موجود در آبخوان دشت مشهد که در طول سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ به مدت ۱۳ سال، جهت بررسی تغییرات مکانی-زمانی سطح آب زیرزمینی در سطح آبخوان استفاده شد. و برای طبقه‌بندی کیفی آب‌ها برای مصارف شرب، از نمودار شولر و برای مصارف کشاورزی از نمودار ویلکوکس استفاده شد (دونا هیو و همکاران [۷]؛ سلطانی و فرجی [۲۴]). بکارگیری روش مناسب زمین‌آماري، مستلزم بررسی وجود ساختار مکانی در بین داده‌ها است که معمولاً با تجزیه و تحلیل نیم تغییر نما، بررسی می‌شود. شرط استفاده از این تجزیه و تحلیل، نرمال بودن آن‌ها با استفاده از لگاریتم‌گیری و آزمون نرمال داده‌ها، با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در محیط‌های آماری مانند SPSS، است. برازش نیم تغییر نما مناسب به ساختار مکانی داده‌ها و پارامترهای موردنظر با استفاده از نرم‌افزار GS+ انجام شد. همچنین برای مقایسه روند تغییرات مکانی سطح آب در فصول مختلف، آنالیزهای مربوطه برای دو ماه فروردین و مهر که به ترتیب به‌عنوان نماینده ماه‌های تر و خشک و همچنین جهت تعیین تغییرات مکانی پارامترهای سطح ایستابی با استفاده از نیم تغییر نمای تجربی و EC از تفاضل نقشه ماه تر و ماه خشک استفاده شد. سپس در محیط نرم افزار ArcMap نسخه ۱۰/۱، انواع روش‌های کریجینگ معمولی^۱، توابع پایه شعاعی^۲، وزن معکوس فاصله^۳ و چند جمله‌ای جهانی^۴، به میان یابی سطح آب زیرزمینی پرداخته شد.

معرفی روش نیم تغییر نما

نیم تغییر نما متداول‌ترین ابزاری است که همبستگی مکانی را در زمین‌آمار بررسی می‌کند. نیم تغییر نما میزان عدم تشابه را بین مقادیر یک ویژگی هنگامی که فاصله بین نمونه‌ها افزایش می‌یابد، نشان می‌دهد. در عمل برای محاسبه نیم تغییر نمای تجربی از رابطه ۱ استفاده می‌شود [۱۳]:

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

که در آن نیم تغییر نمای تجربی، تعداد جفت نقاطی که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، مقدار متغیر در نقطه‌ای به مختصات x و $z(x+h)$ مقدار متغیر در نقطه‌ای به مختصات $(x+h)$ است. به مقدار نیم تغییر نما به ازای $h=0$ ، اثر قطعه‌ای (C0) گفته می‌شود. با افزایش h ، مقدار نیم تغییر نما تا فاصله معینی اضافه می‌شود و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد که به آن حد آستانه (C0+C) می‌گویند. به فاصله بین

نمونه‌ها که از آن به بعد مقادیر متغیر در نقاط مجاور تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند، دامنه یا شعاع تأثیر گفته می‌شود. قبل از کاربرد نیم تغییر نما، لازم است مناسب‌ترین مدل تئوری بر آن برازش داده شود.

کریجینگ معمولی

تخمین گر کریجینگ معمولی که شامل یک میانگین گیری متحرک وزنی خطی از مشاهدات موجود در همسایگی نقطه مورد برآورد است، طبق رابطه ۲ تعریف می‌گردد [۱۴]:

$$Z^*(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(u_i) \quad (2)$$

که در اینجا $Z^*(u_0)$ مقدار برآورد شده متغیر در نقطه u_0 مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه u_i و λ_i وزن آماری است که به مقدار متغیر Z در نقطه u_i نسبت داده می‌شود. از آنجایی که این تخمینگر یک تخمینگر نارایب است لذا اوزان λ_i باید به گونه‌ای تعیین شوند که جمع جبری آن‌ها برابر با واحد و حداقل واریانس کریجینگ حاصل گردد. کریجینگ معمولی علاوه بر تخمین، واریانس تخمین را نیز رابطه زیر ارائه می‌دهد:

$$\sigma_{OK}^2(u) = -\gamma(u, u) + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(u, u_i) + \mu \quad (3)$$

که $\gamma(u, u)$ میانگین مقادیر نیم تغییر نما در موقعیت مورد تخمین u ، میانگین مقادیر نیم تغییر نما بین موقعیت مورد تخمین u و μ آمین نقطه ی نمونه برداری شده و μ ضریب لاگرانژین برای به حداقل رساندن واریانس کریجینگ می‌باشد. واریانس تخمین معیاری از عدم قطعیت تخمین در نقطه موردنظر می‌باشد.

روش وزنی معکوس فاصله

روش وزنی معکوس فاصله یکی از روش‌های قطعی درون یابی است که در آن برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده، بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند [۱] رابطه کلی میان یابی دو بعدی به روش فوق به صورت رابطه ۴ است:

$$Z^*(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\left[\frac{1}{d_i} \right]^p}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{d_j} \right]^p} \right\} Z(x_i, y_i) \quad (4)$$

که در آن $Z^*(x_0, y_0)$ مقادیر برآورده شده در موقعیت (x_0, y_0) ، $Z(x_i, y_i)$ مقدار متغیر در نقطه ی مشخص (x_i, y_i) ، n تعداد نقاط معلوم مجاور (x_0, y_0) ، d_i فاصله اقلی دسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های (x_0, y_0) و (x_i, y_i) ، p توان ضریبی است که وزن را بر اساس فاصله تعیین می‌کند [۱].

روش تابع پایه شعاعی

توابع پایه‌ی شعاعی این توانایی را به ما می‌دهند که سطوحی را

1. Ordinary Kriging
2. Radial Basis Functions
3. Inverse Distance Weighting
4. Global Polynomial

جدول ۱: مقادیر حد آستانه برخی پارامترهای آب از نظر مصارف شرب با استفاده از نمودار شولر

پارامتر	خوب	قابل قبول	متوسط	نامناسب	کاملاً نامطبوع	غیر قابل شرب
pH	۷/۳	۷/۸	۹	۱۰	۱۱	بیشتر از ۱۱
TDS	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۱۰۰	بزرگتر از ۸۱۰۰
TH	۰-۲۵۰	۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	بزرگتر از ۴۰۰۰
Cl	۰-۱۸۰	۱۸۰-۳۵۰	۳۵۰-۷۰۰	۷۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۵۰۰	بیشتر از ۲۵۰۰
SO _۴	۰-۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۶۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۲۲۰۰	بیشتر از ۲۲۰۰

$$B = \begin{bmatrix} 1 & X_2 & Y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_n & Y_n \end{bmatrix}_{n,3} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}_{n,1} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در ماتریس A، E_{ij} به صورت زیر تعریف می شود:

$$E_{ij} = E(X_i - X_j, Y_i - Y_j) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

چند جمله ای جهانی

این روش یک سطح هموار را به داده های نقطه ای اعمال می کند. در این روش امکان جستجو و محاسبه نقاط مجهول با استفاده از نقاط موجود در همسایگی آنها وجود ندارد. تغییرات سطح در چند جمله ای جامع تدریجی است و اثرات تغییرات ناگهانی در داده ها کم است. در این روش فقط یک چند جمله ای بر تمامی داده ها برازش داده می شود [۱۴].

روش و معیارهای ارزیابی

جهت صحت سنجی و ارزیابی مدل از ضریب تبیین (R^2) و میانگین مربعات خطا $(RMSE)^2$ استفاده شد. معادلات روابط (۱۲) و (۱۳) محاسبه نمود که این روابط به قرار زیر است [۳]:

$$RMSE = \frac{1}{n^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(X_i) - Z(X_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z(X_i) - \bar{Z}(X_i)]^2} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که در این روابط، هر کدام از پارامترها به ترتیب عبارتند از: $Z^*(X_i)$: مقدار برآورد شده متغیر در X_i ; $Z(X_i)$: مقدار مشاهده ای متغیر در X_i ; n : تعداد نقاط با متغیر مشاهده ای. همچنین جهت طبقه بندی کیفی آب های زیرزمینی دشت مشهد برای مصارف شرب، از نمودار شولر استفاده شد. در این طبقه بندی از شاخص های مختلفی استفاده می شود که مقادیر حد آستانه برخی

ایجاد نماییم که هم روندهای عام در آنها در نظر گرفته شده اند و همچنین تغییرات محلی نیز در آنها لحاظ شده باشد. این روش می تواند روی داده های نوین نوین که دارای پرکنش نامنظم هستند اعمال شده و یک میان یابی چند متغیره هموار روی داده ها انجام دهد. به عبارت دیگر روش RBF تابعی را می یابد که مشابه یک ورقه فلزی نازک است که به طور همواری خم شده است مقید به گذشتن از تمامی داده ها می باشد. در این روش یک تابع $f(x, y)$ را می یابد که این تابع نه تنها از تمامی داده های موجود می گذرد، بلکه مقدار تابع انحنای آن را که میزان هموار بودن تابع $f(x, y)$ را می سنجد نیز حداقل می کند. در روش RBF تابعی که میزان تابع انحنای آن مینیمم می شود به شکل عمومی زیر می باشد:

رابطه (۵)

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i E(x - x_i, y - y_i) + b_0 + b_1 x + b_2 y$$

به طوری که بیانگر طول بردار، x و y متغیرهای مکانی، (x_i, y_i) مختصات مکانی زامین نقطه مشاهده ای پارامتر Z و E یک RBF می باشد. b_0, b_1, b_2 و a_j ضرایبی هستند که باید تعیین شوند تا تابع f به طور صریح مشخص شود البته بایستی RBF (E) را نیز مشخص کنیم

پس از انتخاب RBF، b_0, b_1, b_2 و a_j به صورت زیر محاسبه می گردند:

$$\bar{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = A^{-1}(\bar{z} - B \bar{b}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\bar{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} (B^t A^{-1} B)^{-1} B^t A^{-1} \bar{z} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در رابطه فوق A، B و Z بدین صورت محاسبه می گردند:

$$A = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{11} & \dots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{n1} & E_{n2} & \dots & E_{nn} \end{bmatrix}_{n,n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

1. R-squared
2. Root Mean Square Error

از پارامترها، در جدول (۱) ارائه شده است.

این طبقه‌بندی بر اساس نتایج سلطانی و فرجی [۲۴] به صورت زیر می‌باشد:

اسیدیته (pH): متوسط این شاخص در دشت مشهد ۸/۰۷ است که در کلاس متوسط قرار می‌گیرد.

کل مواد جامد محلول (TDS): مقدار متوسط این پارامتر در دشت مشهد ۱۶۲۸/۴۲ است که در کلاس نامناسب قرار می‌گیرد.

سختی کل (TH): سختی کل در آبخوان دشت مشهد برابر با ۴۸۴/۱۸ می‌باشد که در کلاس قابل قبول قرار می‌گیرد.

کلر (Cl): مقدار متوسط این پارامتر در دشت مشهد ۱۱/۸۷ است که در کلاس خوب قرار می‌گیرد.

سولفات (SO₄): مقدار متوسط این پارامتر در دشت مشهد ۱۱/۱۶ است که در کلاس خوب قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

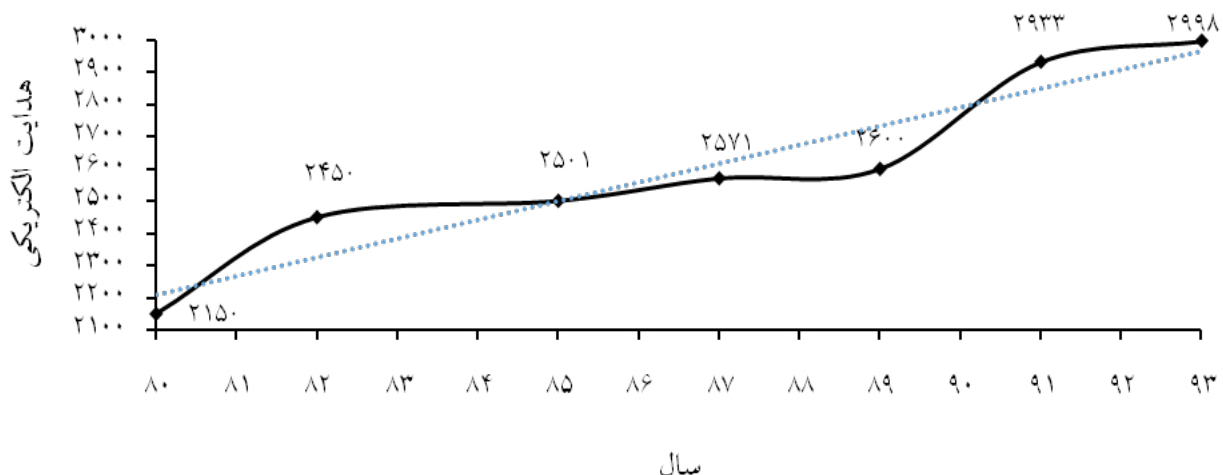
برای بررسی تغییرات کیفی، پارامترهای، Ca ، EC ، PH ، SO_4 ، Mg ، TDS ، TH ، SAR و Cl بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از سال آبی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ آنالیز گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که کلیه پارامترهای به‌غیر از Mg در

طی این سال‌ها تغییرات افزایشی داشته است. در بین این پارامترها، هدایت الکتریکی (EC) و مجموع املاح محلول (TDS)، افزایش چشمگیرتری داشته که این خود نقش زیادی در افت شدید کیفیت آبخوان داشته است.

نمودار روند تغییرات هدایت الکتریکی آب در دشت مشهد طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ ارائه شده است (شکل ۲). این روند در سال‌های اخیر به دلیل کاهش بارش‌ها و خشکسالی‌ها افزایشی بوده است. در بین این سال‌ها تغییرات هدایت الکتریکی در سال‌های ۸۹ تا ۹۳ افزایش قابل توجهی داشته است. نتایج بررسی مقدار افت و شوری آبهای زیرزمینی دشت مشهد نشان داد که در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۳۹۳) افت متوسط آبهای زیرزمینی، حدود ۷ متر بوده است. افزایش شوری آبهای زیرزمینی در این دوره، ۲۹۹۷/۲ دسی زیمنس بر متر بوده است که هر ساله حدود ۷۰ دسی زیمنس بر متر از کیفیت آبهای منطقه کاسته شده است. که این نتیجه با نتایج ولایتی [۲۶] که به بررسی اثر برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی بر شوری آبخانه دشت مشهد پرداخت یکسان بوده و نشان داد که به ازای هر یک متر افت در سطح ایستابی مقدار شوری از ۲۶۰ تا ۹۵۰ میکروموس بر سانتی متر افزایش می‌یابد [۲۲].

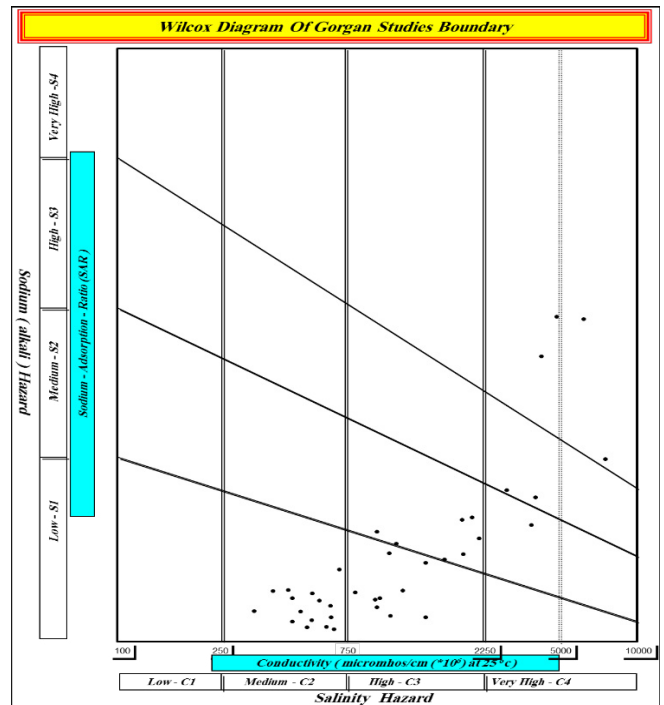
جدول ۲: میانگین روند تغییرات پارامترهای کیفی آبخوان دشت

سال	EC	TH	pH	SAR	TDS	Ca	Mg	Cl	SO ₄
۸۰-۸۱	۲۳۵۰/۱	۳۸۷/۵۰	۷/۹۵	۶/۹۸	۱۵۰۲/۲۵	۳/۵۵	۶/۰۱	۱۰/۹۶	۹/۵۹
۸۲-۸۳	۲۴۵۰/۰۸	۴۲۲/۶۹	۸/۰۱	۷/۱۳	۱۵۴۳/۴۶	۳/۴۹	۵/۳۶	۱۱/۴۹	۱۰/۸۲
۸۴-۸۵	۲۵۳۹/۴۶	۴۶۹/۵۴	۸/۱۸	۷/۰۳	۱۶۰۲/۸۵	۳/۸۴	۵/۷۷	۱۱/۶۵	۱۱/۲۱
۸۶-۸۷	۲۵۳۶/۵۸	۴۸۹/۶۲	۸/۰۲	۶/۵۸	۱۵۴۸/۲۱	۴/۱۵	۵/۶۴	۱۱/۷۵	۱۰/۴۱
۸۸-۸۹	۲۴۶۰/۰۵	۵۰۲/۱۴	۸/۱۱	۶/۰۶	۱۵۵۰/۱۲	۴/۴۵	۵/۵۹	۱۰/۶۱	۱۱/۱۴
۹۰-۹۱	۲۹۳۲/۴۵	۵۱۶/۹۲	۸/۰۵	۷/۸۴	۱۸۴۷/۵۰	۵/۴۲	۴/۹۲	۱۳/۸۸	۱۲/۲۵
۹۲-۹۳	۲۹۹۷/۵۹	۵۴۹/۰۴	۸/۰۷	۸/۰۱	۱۹۹۱/۲۱	۵/۸۵	۴/۳۴	۱۲/۴۵	۱۲/۸۰
روند	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	افزایش	افزایش



شکل ۲: نمودار تغییرات EC در دشت مشهد از سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۹۳

برای طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی از نمودار ویلکوکس (شکل ۳) استفاده شد که کلاس غالب آن 1S-3C و 1S-3C می‌باشد که به ترتیب در کلاس خوب و متوسط قرار می‌گیرند. آب‌های زیرزمینی دشت مشهد برای مصارف کشاورزی مناسب است.



شکل ۳: نمودار ویلکوکس، طبقه‌بندی آب برای مصارف کشاورزی دشت مشهد

همچنین برای بررسی تغییرات مکانی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نیم تغییرنمای تجربی موردنظر در چهار جهت صفر، ۹۰، ۴۵ و ۱۳۵ درجه با زاویه انحراف ۲۲/۵ درجه محاسبه گردید. نتایج حاصل، ناهمسانگردی قابل ملاحظه‌ای را نشان نداد. بنابراین نیم تغییرنمای تجربی همسانگرد (همه جهته) ترسیم و بهترین مدل تئوری به نقاط تجربی برازش داده شد.

در نیم تغییرنمای اثر قطعه‌های کم، دامنه تأثیر بزرگ و مقدار بالای اثر تناسبی $(C_0+C)/C_0$ نشانگر همبستگی مکانی قوی این متغیر در سطح منطقه می‌باشد. برای دست‌یابی به یک میان‌یابی صحیح مهم‌ترین گام برازش مدلی مناسب بر نیم تغییرنمای است. مناسب‌ترین مدل با توجه به رفتار نیم تغییرنمای در نزدیکی مبدأ مختصات، مجموع مربعات باقیمانده (RSS)، ضریب همبستگی (R^2) و اثر تناسبی تعیین می‌گردد [۵]. مشخصات بهترین مدل نیم تغییرنمای سطح آب در جدول (۳) ارائه شده است که بهترین مدل نیم تغییرنمای برای تمامی پارامترهای مورد مطالعه مدل کروی می‌باشد.

جدول (۴) نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه شده، روش کریجینگ معمولی با دارا بودن کمترین میزان RMSE و بیشترین R^2 بهترین برآورد را در منطقه داشته است. پس از آن به ترتیب روش‌های IDW، RBF و GPI دارای کمترین میزان RMSE هستند. نتایج نشان داد که روش‌های زمین‌آمار نسبت به آمار کلاسیک، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد و مدل کروی برای توصیف ساختار مکانی آب‌های زیرزمینی در این منطقه بهترین می‌باشد و می‌توان از آن در تخمین سطح ایستابی استفاده کرد. روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد یک متغیر، به ماهیت متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن نیز بستگی

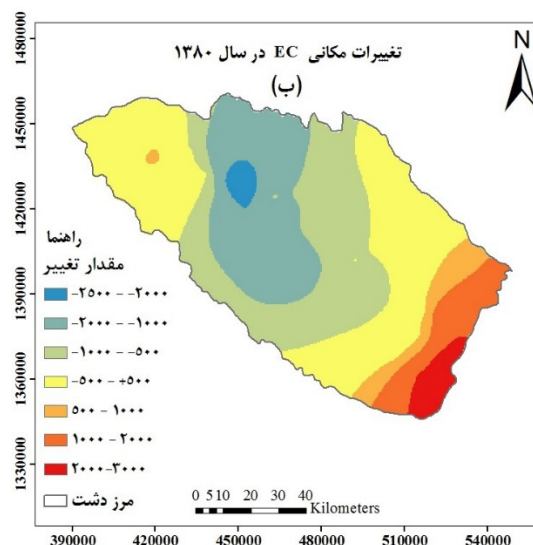
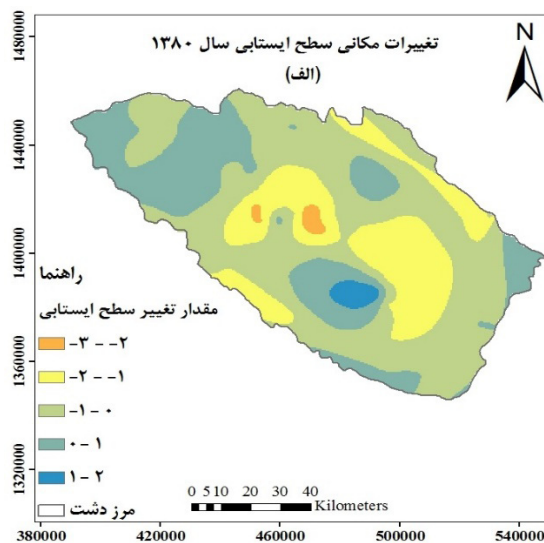
جدول ۳: ویژگی‌های مدل نیم تغییرنمای سطح ایستابی

سال	ماه بررسی سطح آب	ساختار مدل	اثر قطعه‌ای (C0)	آستانه (C+C0)	شعاع تأثیر (متر)	$\frac{C}{C+C_0}$	(R2)	RSS
۸۰	مهر	نمایی	۷۹۹	۱۵۹۹	۲۱۹۹۰۰	۰/۵	۰/۵۲	۸/۰۷
	فروردین	کروی	۷۸۸	۱۵۸۳	۲۰۸۳۰۰	۰/۵۰۲	۰/۴۹	۸/۰۶
۹۳	مهر	کروی	۹۲۰	۱۸۴۱	۲۸۳۹۰۰	۰/۵	۰/۵۴	۸/۷۹
	فروردین	کروی	۸۹۷	۱۷۹۵	۳۰۷۸۰۰	۰/۵۰۱	۰/۵۶	۸/۳۰

جدول ۴: انتخاب بهترین روش پارامترهای سطح ایستابی

سال	ماه	معیار ارزیابی	OK	RBF	IDW	GPI
۸۰	مهر	RMSE	۸/۰۷	۸/۰۸	۹/۵۱	۱۳/۱۷
		R ²	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۳۱	۰/۱۰
	فروردین	RMSE	۸/۰۶	۸/۰۷	۹/۶۰	۱۳/۴۰
		R ²	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۳۰	۰/۱۱
۹۳	مهر	RMSE	۸/۷۹	۸/۲۴	۱۰/۳۹	۱۵/۰۷
		R ²	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۰۲
	فروردین	RMSE	۸/۳۰	۸/۵۶	۱۰/۳۶	۱۵/۰۴
		R ²	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۰۵

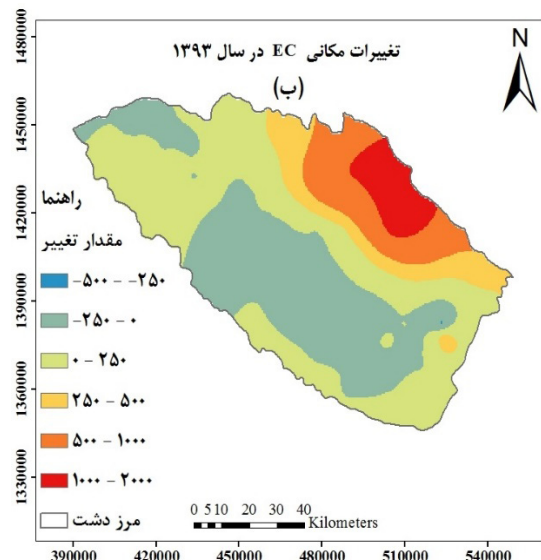
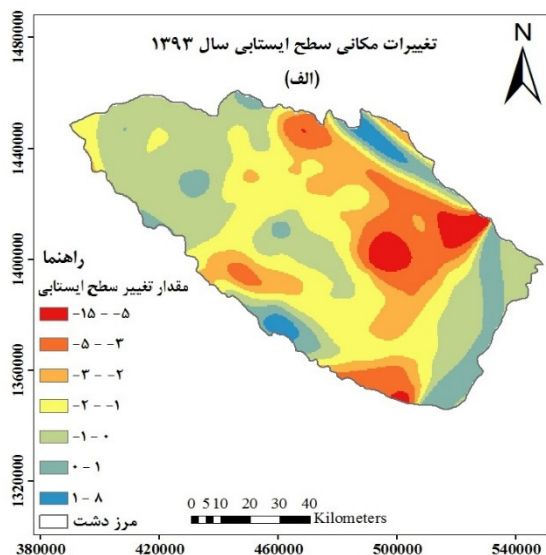
دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد [۶]. شکل ۴ روند تغییرات مکانی EC و سطح ایستابی را در سال ۱۳۸۰ در دشت مشهد نشان می‌دهد.



شکل ۴: روند تغییرات مکانی سطح ایستابی (الف) و EC (ب) در سال ۱۳۸۰ در دشت مشهد

با توجه به شکل (۴) که قسمت (الف) روند تغییرات مکانی EC و قسمت (ب) سطح ایستابی را در سال ۱۳۸۰ در دشت مشهد نشان می‌دهد. مقدار تغییر که با علامت مثبت و منفی نمایش داده شده به ترتیب، افزایش و کاهش می‌باشد. همچنین با توجه به شکل سطح ایستابی در این سال افت کمی داشته و هر چه از مرکز دشت به سمت شمال غربی و جنوب شرقی پیش می‌رویم سطح ایستابی افزایش پیدا می‌کند. همچنین مقدار EC در قسمت جنوبی دشت زیادتر می‌باشد. همبستگی میزان تغییرات دو عامل EC و سطح ایستابی ۰/۳۵- محاسبه گردید که نشان‌دهنده وابستگی نسبتاً ضعیفی بین روند تغییرات این دو عامل می‌باشد. همبستگی منفی به این

معناست که با افزایش یک عامل، مقدار عامل دیگر کاهش می‌یابد. همچنین در قسمت الف و ب شکل (۴) نشان می‌دهد که در قسمت شمالی، شمال غربی و غرب که سطح ایستابی بالاتر بوده و حجم آب بیشتری وجود داشته، EC آب زیرزمینی کمتر می‌باشد، که با توجه به نمودار بارش (شکل ۷) در سال ۸۰ افزایش بارندگی را شاهد بوده ایم. که با نتایج ولایتی [۲۶] و اکبری و همکاران [۲] که بر روی این دشت مطالعه نموده اند همخوانی دارد. شکل ۵ نیز روند تغییرات مکانی EC و سطح ایستابی را در سال ۱۳۹۳ در دشت مشهد نشان می‌دهد.



شکل ۵: روند تغییرات مکانی سطح ایستابی (الف) و EC (ب) در سال ۱۳۹۳ در دشت مشهد

مقایسه نقشه‌های تغییرات مکانی سطح ایستابی و EC (شکل ۵) برای سال ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد که در قسمت شرقی دشت افت سطح ایستابی بیشتر است همچنین تغییرات مکانی EC در قسمت شرقی شدید است. همچنین وابستگی میزان تغییرات دو عامل EC

و سطح ایستابی ۰/۴۵- محاسبه گردید که نشان‌دهنده وابستگی متوسطی بین روند تغییرات این دو عامل می‌باشد. همبستگی منفی به این معناست که با افزایش یک عامل، مقدار عامل دیگر کاهش می‌یابد. در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم و کاهش نزولات جوی با توجه به شکل (۷) در قسمت مرکز و شرق دشت که سطح ایستابی آب پایین بوده، افزایش EC را شاهد بوده ایم که با نتایج ولایتی [۲۶] و قاسمی و همکاران [۹] همخوانی دارد.

در جدول (۵) نتایج حاصل نشان می‌دهد که در طی این سال‌ها افزایش غلظت پارامترها را داشته‌ایم. همچنین غلظت عناصر در فصل‌های تغذیه و پرآب (فروردین‌ماه) کمتر می‌باشد و هر چه به سمت تخلیه پیش می‌رویم غلظت عناصر به دلیل افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و افت شدید سفره آب زیرزمینی، باعث افزایش املاح می‌شود. این عوامل در کیفیت آب دشت مشهد تأثیر گذاشته بسیاری داشته است. همچنین نتایج حاصل از تغییرات کیفیت آب در دهه اخیر بیانگر آن است که کیفیت آب زیرزمینی دارای روند نزولی بوده است که با نتایج می‌و همکاران [۱۸] و دانشور وثوقی و همکاران [۴] همخوانی دارد.

جدول ۵: تغییرات برخی پارامترها در فصل تغذیه و تخلیه

سال	ماه	Cl	pH	EC
۱۳۸۰	فروردین	۵/۰۲	۷/۷۹	۱۵۲۴/۳۸
	مهر	۱۱/۴۹	۸/۰۱	۲۴۵۰/۰۸
۱۳۹۳	فروردین	۱۲/۰۴	۸/۰۴	۲۹۳۲/۵۴
	مهر	۱۳/۸۸	۸/۰۶	۲۹۳۲/۵۴

همچنین با توجه به نتایج لشگری پور و همکاران [۱۶] و اکبری و همکاران [۲] تراز سطح آب طی گذر زمان به دلیل پدیده‌های اقلیمی مثل النینو و لائینو، خشک‌سالی، تغییر کاربری اراضی، افزایش جمعیت، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی باعث پایین رفتن سطح آب دشت مشهد شده است. که طبق نتایج متوسط سالانه افت آب در دشت مشهد حدود ۶۰ سانتی متر می‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده در دوره آماری (۱۳۷۴-۱۳۹۳) متوسط بارندگی سالانه در سطح حوضه ۲۳۲/۱ میلی‌متر، بیشترین میزان ۳۴۶/۹ میلی‌متر در سال (۱۳۷۷-۱۳۷۸) و کمترین میزان ۱۲۱/۴ میلی‌متر در سال (۱۳۸۸-۱۳۸۷) بوده است. با توجه به خط روند مقدار بارش با شیب ملایم سیر نزولی دارد. که این کاهش در طی سال‌های اخیر باعث شده سطح ایستابی نسبت به سطح زمین افزایش یابد بدین معنی که سطح آب پایین‌تر رفته است. همچنین برداشت‌های زیاد باعث شده که در بین تغذیه و تخلیه چاه‌های دشت تعادل ایجاد نگردد. علاوه بر برداشت بی‌رویه آب از چاه‌ها، تغییر کاربری و افزایش فعالیت‌های انسان، نوسانات عوامل اقلیمی از جمله بارندگی در کاهش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نقش مؤثری داشته است [۳] که با نتایج اویند و همکاران [۱۸] مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

آب‌های زیرزمینی از منابع مهم آبی در کشور محسوب می‌شوند و اطلاع از چگونگی تغییرات کیفی این منابع و تعیین میزان مناسب بودن این منابع برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی و شرب، به‌منظور مدیریت صحیح این منابع اهمیت زیادی است. دشت مشهد یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی است که در تأمین آب موردنیاز کشاورزی، آب شرب شهرهای مشهد، چناران، قوچان، شاندیز و طرقبه نیز دارای اهمیت می‌باشد. در اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی دشت، سطح آب‌های زیرزمینی به‌تدریج پائین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است. به همین دلیل از سال ۱۳۴۷ همراه با افت سطح آب زیرزمینی، این دشت از طرف وزارت نیرو جزء دشت‌های ممنوعه اعلام گردید. با این وجود، به دلیل حفر چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه، افت سطح آب زیرزمینی کماکان تا به امروز ادامه پیدا کرده است.

بنابراین، تحقیق حاضر باهدف بررسی پارامترهای کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی و شناسایی عوامل مؤثر در تغییر و چگونگی تغییر این پارامترها در یک بازه زمانی ۱۳ ساله، در ماه‌های تغذیه و تخلیه در این حوضه انجام شد. نتایج نشان داده که در گذر زمان به دلیل افزایش آلاینده‌های شهری و صنعتی و همچنین افزایش جمعیت و فعالیت‌های کشاورزی باعث کاهش کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد شده است. کیفیت آب شرب این دشت برمبنای طبقه‌بندی شولر در کلاس‌های خوب و متوسط قرار گرفت. همچنین با استفاده از طبقه‌بندی ویلکوکس مشخص گردید که اغلب در کلاس C3-S1 و C2-S1 می‌باشند و برای کشاورزی مناسب است. در سال ۸۱-۸۰ نسبت تغذیه با تخلیه تا حدودی برابر بوده به‌طوری‌که افت سطح ایستابی در حدود ۲ الی ۳ متر در تعادل بوده ولی در سال‌های ۹۳-۹۲ افت سطح ایستابی شدیدتر شده و تعادلی بین تغذیه و تخلیه نمی‌باشد. نتایج نشان داد که تراز آب در طی این ۱۳ سال به دلیل خشک‌سالی‌های مداوم، کاهش بارندگی و افزایش پمپاژ آب زیرزمینی، حدود هفت متر افت یافته که باعث گردیده کلیه پارامترهای کیفیت آب هم در طی این سال‌ها به جزء Mg افزایش یابد که پارامتر EC و TDS افزایش چشمگیرتری داشته است. با توجه به همبستگی تغییرات مکانی بین سطح ایستابی و EC در سال‌های ۸۰ و ۹۳ مشخص گردید که رابطه عکس دارند به‌طوری‌که در فصل تغذیه که آب بیشتر است مقدار EC کمتر و در فصل تخلیه که فراوانی آب کمتر و سطح ایستابی پایین‌تر است مقدار EC بیشتر می‌باشد. با توجه به نتایج دقیق حاضر، انجام پروژه‌های مختلف آبخیزداری برای تقویت آبخوان‌ها و همچنین ایجاد سیستم‌های مناسب زهکشی در اراضی کشاورزی، به‌منظور جلوگیری از افزایش شوری خاک و جلوگیری از کاهش میزان تولیدات کشاورزی، امری ضروری است.

and the Selection the Most Suitable Method to Determine the Spatial Variability of Groundwater Quality Parameters: A Case Study of Mashhad plain, Northeastern Iran, *International Bulletin of Water Resources and Development*, 4(1): 47-62.

11. Hasheminezhad, H. Karimi jashni, A. 2006. Investigation of water deficit potential of groundwater in hydrological units of Najaf Abad and Isfahan in during the years 1997-2004. The first regional conference on water resources utilization in Karoon and Zayandeh Rood basins (opportunities and challenges).

12. Hosseinalizadeh, M. and Yaghubi, A. 2010. Spatiotemporal Variability of Ground Water Using Geostatistic. *Iran Watershed Management Science & Engineering*. 4(10): 63-68.

13. Isaaks E H, Srivastava R M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics.

14. Johnston, K. VerHoef. J. M. Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2001. Using Arc-GIS. Geostatistical analyst. ESRI, 300 p. California, E.U.A.

15. Journel, A. G. and Huijbregts, C. J. 1978. Mining geostatistics. Academic press.

16. Lashgari Pour, Gh. Ghafouri, M. Soyzi, Z. and peyvandi, Z. 2005. Drop water surface underground and sat down Earth in Mashhad Plain, Proceedings of the 9th Conference of the Geological Society of Iran, Tarbiat Moalem University of Tehran, 121-131.

17. Mehri, s. All sheikh, A.A. and Javadzadeh, Z. 2015. Investigation of the Changes in Quality and Groundwater Levels of Groundwater in the Urmia Lake Basin. *Journal of Ecohydrology*. 4(2): 395-404.

18. Mei, K. Liao, L. Zhu, Y. Lu, P. Wang, Z. Dahlgren, R. A. and Zhang, M. 2014. Evaluation of spatial-temporal variations and trends in surface water quality across a rural-suburban-urban interface. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(13): 8036-8051.

19. Nikbakht, S. Delbari, M. 2014. Estimation of groundwater levels using geostatistical methods. *Journal of Water and Sustainable Development*. 1(1): 49-56.

20. Oyebande, L. and Odunuga, S. 2010. Climate change impact on water resources at the transboundary

1. Ahmad auli, K. h. Nikmehr, S. and Liaghat, A. 2009. Evaluation of different spatial estimating on estimating soil salinity, pH and CaCO₃ percentage (Case study of Boukan region). *Journal of Water and Soil*. 23(2):46-54.

2. Akbari, M. Jargeh, M. R. and Madani, S. H. 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic Information System (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). *Journal Of Water and Soil Conservation*. 16(4):63-78.

3. Azareh, A. Rafiei Sardoii, E. Nazari Samani, A. Masoudi, R. and Khosravi, H. 2014. Study on Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level in Garmsar Plain. *Journal of Desert Management* 3: 11-20.

4. Daneshvar Vosuogi, F. Dinpazhoh, Y. Aalami, M.T. and Gorbani, M.A. 2011. Analysis of trend of changes in groundwater quality of Ardebil plain using Man-Kendal non-parametric tests. *J. Civil Engin. Environ.* 40(3). 13-23.

5. Delbari, M. Afrasiab, P. and Miremadi, s.r. 2011. Spatio-temporal Variability Analysis of Groundwater Salinity and Depth (Case study: Mazandaran province). *Iranian Journal of Irrigation and drainage*. 3(4):359-374.

6. Delbari, M. Bostanian, M. Afrasiab, P. 2015. Study of temporal spatial and zonal changes in groundwater level of Kohl-Segazi aquifer (Isfahan province) using statistical methods. *Geographical Space Scientific-Research Quarterly*. 52: 305-324.

7. Donahue, R. L. Miller, R. W. and Shickluna, J. C. 1983. Soils An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall, 667pp.

8. Ebrahimi, H. and Hassanli. M. 2016. Irrigation and Groundwater Recharge. Tehran. 174. 274pp.

9. Gasemi, E., Zare Abyane, H., and Maruofi, S. 2007. Investigation of Status of groundwaters in Bahar-Hamadan in the years of 2005-2006. The second Conference and specialized exhibition of Environment. 1-7.

10. Ghasemieh, H. and Momeni Damaneh, J. 2016. An Evaluation of Spatial Interpolation Techniques

24. Soltani, A and Faraji, A. 2014. Publications University of Mashhad, 252pp.
25. Sun, Y. Kang, S. Li, F. and Zhang, L. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*, 24(10), 1163-1170.
26. Velayati, S. 2011. The effects and consequences of excessive extraction of ground water aquifer of Mashhad plain, with emphasis on changes in Ec of water, *Journal of Geography and Regional Development*, 15(2), 21-37,
- level in West Africa: the cases of the Senegal, Niger and Volta Basins. *Open Hydrology Journal*, 4(1), 163-172.
21. Pawar. S. Panaskard, B. and V. M. Wagh. 2014. Characterization of groundwater using water quality index of solapur industrial, (case study: Maharashtra, INDIA). *International journal of Research in Engineering & Technology*, 2(4): 31_36
22. Samadi, J. 2017. Spatial-Temporal Modeling of Groundwater Level Variations of Urban and Rural Areas in Kashan Aquifer Using GIS Techniques. *Journal of Environmental Science and Technology*. 19(1): 65-77.
23. Shahid, Sh., and M. K. Hazarika. 2010. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. *Water Resour. Manage.* 24(10): 1989-2006.



Abstract

Spatio-Temporal Variable of Groundwater Parameters Using Geo-Statistical Methods in Mashhad Plain

A. Yazdanpanahi¹, M. Akbari^{*2} and M. Behrangmanesh³

Received: 2017/09/21 Accepted: 2018/02/21

Groundwater is the main source of agricultural, drinking and industrial needs, especially in arid and semi-arid regions. The aim of this study was to investigate the relationship between groundwater quality and water level in Mashhad Plain. In this study, qualitative information of 41 underground water piezometer wells for months of feeding and evacuation was investigated in 2001-2015. The GS + software and the GIS environment were used to map and Zonation using different interpolation methods. The results showed that the ordinary Kriging method with the lowest RMSE and the highest R² had the best estimate in the region. The study of the predominant class of groundwater in Mashhad plain was classified as "good" and "moderate" for agricultural use, with Wilcox, C2-S1 and C3-S1 charts for drinking purposes. The results of the review of water quality parameters showed that, other than Mg, the rest of the parameters had incremental changes over the years, and among these parameters, electrical conductivity (EC) and the total dissolved solids (TDS) had a more significant increase, which reduced water quality during this It's been years. The average correlation between the spatial variation of the surface of the stand and the EC is -0.35 and -0.45, which indicates increased salinity by decreasing the aquifer's water level. The results of this research indicate that the main cause of water quality decline in Mashhad plain was the existence of industrial and residential areas and agricultural land development.

Keywords: Interpolation methods, Water salinity, GIS, Mashhad Plain.

1. M.sc Student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
 2. Assistant Professor, Department of Desert Area Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Fredowsi University of Mashhad, Corresponding Author, Email:m_akbari@um.ac.ir
 3. M.sc Student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran