

بررسی نوسان‌های سطح سفره آب زیرزمینی به‌عنوان معیاری از تخریب اراضی مناطق نیمه‌خشک با استفاده از فنون زمین‌آمار (مطالعه موردی دشت کبودرآهنگ- فامنین)

مهدی احمدیان^{۱*}، مولودسادات چاوشیان^۲ و محمد درویش^۳

۱- نویسنده مسئول، پژوهشگر، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

همدان، ایران. پست الکترونیک: mahdi.ahmadian@gmail.com

۲- مدرس، مرکز آموزش جهاد کشاورزی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۳- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱۸

چکیده

در سالیان اخیر، برداشت از منابع آب زیرزمینی بدلیل رشد جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعت افزایش یافته است. از آنجا که اندوخته‌های آب زیرزمینی از مهمترین منابع بهره‌برداری و توسعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌روند، پایش منطقه‌ای سطح سفره‌ها و منظور کردن تراز آبی، از بنیادی‌ترین شاخصه‌ها به‌منظور تأمین توسعه پایدار در چنین مناطقی به‌حساب می‌آیند. در این تحقیق از روش‌های زمین‌آمار به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی در دشت کبودرآهنگ- فامنین استفاده گردید. به همین منظور، داده‌های موجود در منطقه به انضمام اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای، جمع‌آوری و بعد پایگاه اطلاعاتی تشکیل شد. سپس، کنترل صحت داده‌های آماری انجام گردید. برای پیاده‌سازی روش‌های زمین‌آمار، واریوگرام مربوطه تهیه گردید و از فنون مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ (مدل عمومی و ساده)، کوکریجینگ و عکس فاصله وزنی با توان‌های ۱ تا ۵ و توابع پایه شعاعی (نواری کم‌ضخامت، چندرعی معکوس و چندرعی) برای بهینه‌بندی اطلاعات استفاده گردید. انتخاب بهترین روش میان‌یابی با کمک دو معیار انحراف استاندارد عمومی و ریشه مجذور مربعات انجام شد و در نهایت نقشه بهینه‌بندی سطح آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزاری Arc\GIS ترسیم گردید. نتایج فراکافت آمار مکانی داده‌ها، نشان داد که مناسب‌ترین مدل‌های واریوگرام مربوط به ساختار داده‌های سطح آب زیرزمینی در ابتدای دوره، میان‌دوره و پایان دوره به‌ترتیب مدل‌های Circular، Spherical و Pentaspherical هستند. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به کمک معیار اعتبارسنجی حذفی نشان داد که در دوره بررسی، روش کوکریجینگ در مقایسه با سایر روش‌های میان‌یابی، کمترین خطای تخمین را داشت و مناسب‌ترین روش درون‌یابی بود. براساس نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های دیجیتال درون‌یابی شده در دوره مورد مطالعه و در طی ۱۷ سال، حداکثر افت سطح سفره ۵۵ متر و در نواحی مرکز و شرق دشت گزارش شد. این موضوع نشان‌دهنده کاهش چشمگیر ذخایر آب زیرزمینی منطقه است که منجر به توسعه پایدار صنعتی و کشاورزی نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی و زمانی، درون‌یابی سطح آب زیرزمینی، تخریب اراضی، زمین‌آمار، دشت کبودرآهنگ و فامنین.

مقدمه

توسعه کشاورزی و صنعت، برداشت از منابع مذکور افزایش یافته است و این در حالیست که آب‌های زیرزمینی همچنان از مهمترین منابع بهره‌برداری و توسعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آیند.

حدود یک‌سوم جمعیت جهان وابسته به آب زیرزمینی بوده و بیش از ۷۰ درصد منابع آب زیرزمینی به مصرف کشاورزی می‌رسد. در دهه‌های اخیر با رشد جمعیت و

صفری (۱۳۸۱) در جریان بررسی شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی دشت چمچمال با استفاده از روش‌های زمین آماری، نقاطی از شبکه را که با استفاده از نقاط مجاور قابل تخمین بودند، حذف کرد و در عوض نقاطی را که در آنجا خطای تخمین زیاد بدست آمده بود، برای اضافه شدن به شبکه انتخاب کرد و حاصل کاهش خطای تخمین شبکه را به ازای اضافه شدن هر کدام از نقاط مورد بررسی قرار داد که ستاده‌ها، بیانگر واقعی‌تر شدن داده‌های حاصل و کاربرد موفقیت‌آمیز الگوی پیاده شده در منطقه بود.

مشعل و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی با عنوان ارزیابی شبکه مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در دشت اراک با استفاده از داده‌های رقومی سطح آب اندازه‌گیری شده در ۴۶ نقطه و در ۳ دوره مختلف (مرطوب، متوسط و خشک) نتیجه گرفتند که مدل واریوگرام گوسی، بهترین مدل واریوگرام برای این داده‌ها بوده و با مقایسه ۳ روش کریجینگ، کوکریجینگ و عکس فاصله به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ خطای کمتری در مقایسه با روش‌های کریجینگ و عکس فاصله داشت.

در تحقیق دیگری Mohamadi و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان در یک دوره آماری ۱۰ ساله (۸۵-۱۳۷۵) به کمک تخمین‌گرهای زمین‌آمار و با استفاده از مدل واریوگرام پرداختند. منابع آماری آنها ۶۷ حلقه چاه مشاهده‌ای بود که به کمک روش‌های درون‌یابی، نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی ابتدا و انتهای دوره و نقشه هم‌اُفت سفره مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که واریوگرام مدل گوسی، بهترین مدل برازش شده به ساختار فضایی داده‌ها و روش عکس فاصله با توان ۵ در ابتدای دوره و روش عکس فاصله با توان ۴ در انتهای دوره، بهترین روش‌های درون‌یابی بودند و اُفت سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت وجود داشت و حداکثر اُفت معادل ۳۲ متر در خروجی شمالی و غربی دشت بود.

تحقیق حاضر قصد دارد با بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی، تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی را به کمک فنون زمین‌آمار مورد بررسی قرار دهد و با مقایسه دقت

دشت کبودرآهنگ- فامنین در استان همدان در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، جزء اقلیم نیمه‌خشک و در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. حدود ۸۸ درصد آب مصرفی منطقه برای مصارف صنعتی، کشاورزی و آب شرب از محل آب‌های زیرزمینی و ۱۲ درصد دیگر از منابع آب‌های سطحی تأمین می‌شود. بنابراین بررسی تغییرات آب زیرزمینی در این منطقه و پایش دائمی سطح سفره‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعات متعددی به‌منظور بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی انجام شده که بر بنیاد ستاده‌های حاصل از آنها و همچنین تحقیقات Rojas و Dassargues (۲۰۰۷) به نظر می‌رسد بهترین روش برای بررسی وضعیت آبخوان از نظر کمی، شبیه‌سازی آبخوان با استفاده از مدل‌های رایانه‌ای و ریاضی است که بعلت نیاز به داده‌های زیاد، معمولاً واسنجی و شبیه‌سازی آن عملی بسیار مشکل و وقت‌گیر است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی، پژوهش‌ها و مطالعات زیادی با هدف یافتن روش جایگزین شبیه‌سازی آبخوان انجام شده که از مهمترین آنها، پهنه‌بندی پیراستجه‌های آبخوان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار است.

در این راستا Ahmadi و Sedghamiz (۲۰۰۷) نشان دادند که بسیاری از پیراستجه‌های آبخوان دارای ساختار تغییرات مکانی بوده و با بررسی وضعیت افت آبخوان، اقدام به پهنه‌بندی آن با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کردند. پژوهش‌های انجام شده توسط Vijay و Remadevi (۲۰۰۶) نشان داد که در تخمین سطح سفره‌های آب زیرزمینی، روش کریجینگ نسبت به روش فاصله معکوس دقت بالاتری دارد؛ همچنین در پژوهش دیگری که توسط Dick و Gerard (۲۰۰۶) با عنوان بهینه‌سازی الگوهای نمونه‌برداری متغیرهای محیطی با استفاده از کریجینگ عمومی انجام گردید، معلوم شد که واریانس کریجینگ معمولی برای تعداد ۲۵ نمونه ۱۹ درصد، برای ۵۰ نمونه ۷ درصد و برای ۱۰۰ نمونه ۳ درصد نسبت به میانگین اختلاف دارد.

مطالعه مشخص شده است.

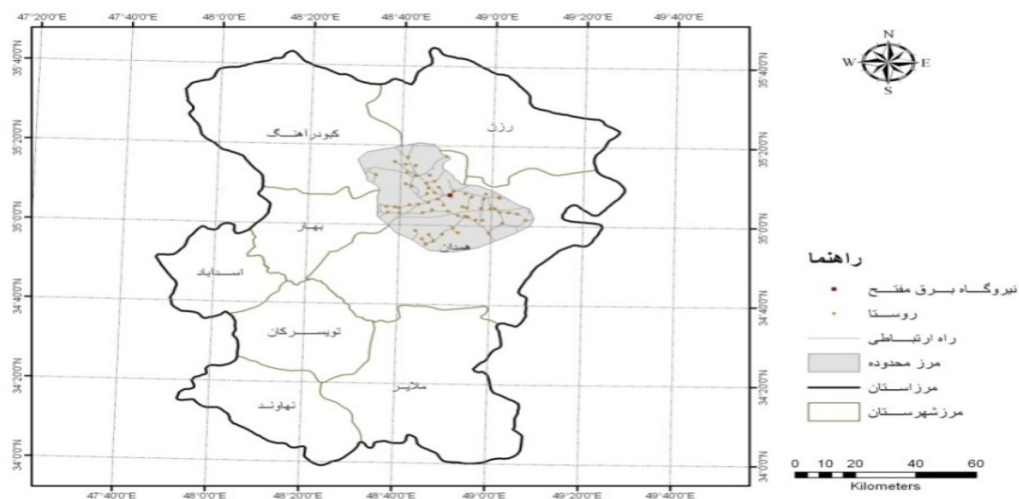
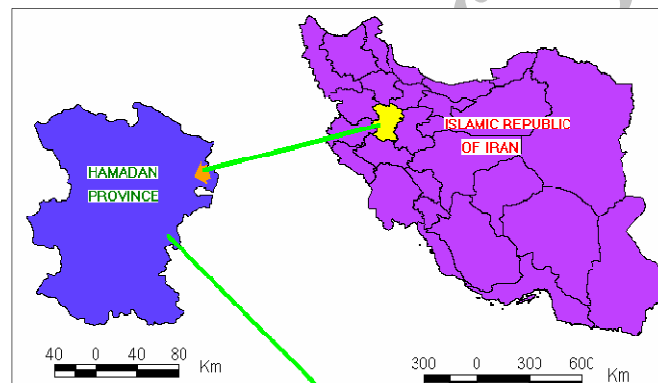
محدوده دشت‌های کبودرآهنگ و فامنین بر حسب شرایط عمومی زمین‌شناسی ایران در محدوده شمالی حاشیه نوار سندج-سیرجان در روند عمومی ساختاری شمال غرب-جنوب شرق، در قسمت شمالی راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته و از نظر مشخصه‌های لیتولوژیکی و ساختمانی (نبود سازندهای آتشفشانی دوران سوم) و شرایط ناپیوستگی‌ها، کم و بیش مشابه شرایط زمین‌شناسی ایران مرکزی است؛ از نظر زمین‌شناسی، منطقه مطالعاتی به‌طور کلی شامل بیرون‌زدگی‌های ژوراسیکی تا دوران سوم (ترشیاری) همراه با نهشته‌های دوران چهارم (کواترنری) است که حواشی دشت‌های مورد مطالعه را در جبهه شمالی الوند شامل می‌شود.

طبقه‌بندی حاصل، ضمن معرفی بهترین روش میان‌یابی برای اجرا، تغییرات سطح سفره‌های آب زیرزمینی را در دشت فامنین - کبودرآهنگ، در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی کند.

مواد و روش‌ها

الف) مشخصات منطقه اجرای تحقیق

محدوده مورد مطالعه شامل قسمت‌هایی از دشت کبودرآهنگ و فامنین واقع در قسمت مرکزی استان همدان به مساحت ۱۷۱۶۹۹ هکتار می‌باشد که در حد فاصل $35^{\circ}21'$ تا $35^{\circ}52'$ عرض شمالی و $48^{\circ}09'$ تا $48^{\circ}30'$ طول شرقی با ارتفاع متوسط حدود ۱۷۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. در شکل ۱، نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

(ب) شیوه اجرای پژوهش

- انتخاب پایه زمانی مشترک آماری

نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به منطقه مورد مطالعه ایستگاه نوژه است که آمار بارندگی و دما از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۸ از این ایستگاه و آمار تبخیر و تعرق از ایستگاه‌های هواشناسی زهتران، عمرآباد و قهاوند انتخاب شده است. داده‌های آماری سپس مورد فراکافت و بررسی قرار گرفت و میانگین‌های دوره‌ای آنها محاسبه شد.

با توجه به واریانس و انحراف معیار محاسبه شده و مقایسه درون‌گروهی این پیراستجه‌ها با هم و نیز با میانگین طولانی مدت، در نهایت دوره‌هایی که نسبت به هم و نیز نسبت به میانگین کل اختلاف معنی‌داری نداشتند توسط نرم‌افزار آماری SPSS انتخاب گردید. این دوره‌ها شامل سال‌های آبی ۱۳۷۱-۷۲ و ۱۳۷۷-۷۸ و ۱۳۸۴-۸۵ و ۱۳۶۷-۶۸ که اولین سال هستند، همچنین سال آبی ۱۳۶۷-۶۸ که اولین سال آماربرداری از دشت‌های مورد مطالعه است و از طرفی زمان قبل از احداث و بهره‌برداری از نیروگاه حرارتی شهید مفتاح می‌باشد به‌عنوان شاهد در منطقه انتخاب شد.

- فراکافت اطلاعات چاه‌های پیرومتری

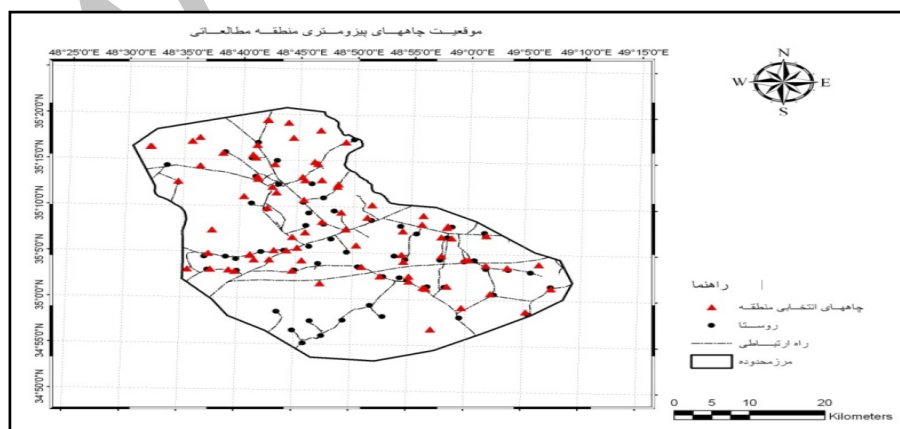
برای انجام این تحقیق از آمار ۴۷ حلقه چاه مشاهده‌ای واقع در منطقه که داده‌های آن توسط وزارت نیرو بطور مرتب برداشت شده‌اند، استفاده شد که در شکل ۲ نقشه موقعیت چاه‌ها به همراه راه‌های ارتباطی و روستاهای محدوده مورد مطالعه ارائه شده است. پس از جمع‌آوری

آمار و اطلاعات و انتخاب پایه زمانی مشترک آماری، داده‌های موجود از نظر کیفیت، صحت و همگن بودن به کمک نرم‌افزار SPSS آزمون شدند. لازم به ذکر است که برای بررسی آماری آزمون همگن بودن، از روش آزمون توالی (Run Test) استفاده شد، آزمایش نرمال بودن داده‌ها بر اساس آزمون چولگی انجام شد و در نهایت، نواقص آماری با استفاده از روش همبستگی یک متغیره بازسازی گردیدند.

به‌منظور تعمیم داده‌های نقطه‌ای به منطقه‌ای، روش‌های مختلفی وجود دارد که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آنها را به روش‌های زمین‌آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم‌بندی کرد که در این پژوهش از روش‌های کلاسیک، عکس فاصله وزنی (Inverse Distance Weighting) و مجذور فاصله (Radial Basis Function) (توابع شعاعی) و از فنون زمین‌آماری شامل روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ استفاده شده است.

لازم به ذکر است که از نظر قدمت، روش‌های کلاسیک قبل از روش‌های زمین‌آمار وجود داشته و در حقیقت جزء روش‌های زمین‌آمار محسوب نمی‌شوند، بنابراین در چنین روش‌هایی نیاز به ترسیم واریوگرام نیست.

بطور خلاصه روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در این تحقیق و شرح مختصری از مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آنها ارائه خواهد شد.



شکل ۲- موقعیت چاه‌ها، راه‌های ارتباطی و روستاهای منطقه

در این رابطه $Z(s_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت i_{th} است و λ_i : وزن مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت i_{th} است؛ همچنین S_0 : موقعیت پیش‌بینی و N : تعداد نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم است. در این روش ابتدا واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها بر اساس کمترین میزان RMSE برازش داده شده و بعد درون‌یابی انجام می‌شود.

روش کوکریجینگ

در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آنها نمی‌توان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد؛ در چنین مواردی می‌توان به کمک متغیرهای ثانوی و با استفاده از همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانوی، تخمین را اصلاح کرد، البته بدلیل مشکلاتی که در مدل‌سازی واریوگرامی متقابل متغیرها وجود دارد، روش کوکریجینگ به لحاظ کاربردی اعتبار کافی پیدا نکرده است. کوکریجینگ نیز مانند کریجینگ به دو صورت نقطه‌ای و بلوکی انجام می‌شود، در واقع می‌توان گفت همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره وجود دارد در زمین‌آمار نیز می‌توان به روش کوکریجینگ، همبستگی بین متغیرهای مختلف را تخمین زد، البته شرط استفاده از این روش این است که همبستگی بین دو متغیر بیش از ۶۰ درصد باشد (حسینی پاک، ۱۳۸۶).

روش توابع پایه شعاعی

از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند، از خصوصیات این روش که حالتی از مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد این است که مقادیر بیشتر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کمتر از کمینه مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. در روش معکوس فاصله نیز سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌نماید، اما این روش هیچگاه مقادیر بیشتر از بیشینه و کمتر از کمینه داده‌های مشاهده‌ای را تخمین نمی‌زند؛ روش مذکور براساس پنج تابع مختلف، درون‌یابی اطلاعات را انجام می‌دهد که هسته اصلی توابع، مجموع مربعات مقادیر $(h^2 + R^2)$ می‌باشد. البته مقادیر R و h به ترتیب فاکتور هموارکننده (Smoothing Factor) و ترسیم ناهمسانگرد (Anisotropically

روش عکس فاصله وزنی (IDW: Inverse Distance Weighting)

این روش بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. از این رو برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آنهایی که در فاصله دورتر قرار گرفته‌اند، داشته باشند، به این ترتیب هرچه فواصل نقطه مجهول از نقاط معلوم کاهش یابد وزن ارزش آن نقاط افزایش می‌یابد و نقاطی که ارزش آنها معلوم است با استفاده از نقاط اطراف یک شعاع مشخص برآورد می‌شوند که رابطه آن به صورت زیر است (Childs & Colin, 2004).

$$Z^* = \frac{\sum_{i=0}^n [Z_i / (h_{ij} + s)^p]}{\sum_{i=0}^n [1 / (h_{ij} + s)^p]}$$

در این رابطه Z^* : مقدار تخمین در نقطه مورد نظر، Z_i : مقدار مشاهده شده در نقطه‌ای به فاصله h از نقطه مورد نظر، h_{ij} : فاصله بین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، s : فاکتور تعدیل کننده و p : وزن نقطه است.

روش کریجینگ

این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است که علاوه بر مقادیر برآورد شده، میزان خطای تخمین در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید (Kitanidis, 1993). با استفاده از ویژگی منحصر به فرد این روش می‌توان قسمت‌هایی را که در آنجا خطا زیاد بوده و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است، مشخص نمود (Golmohammadi *et al.*, 2009).

مدل کریجینگ وزنی، نه تنها تابع فاصله بین نقاط مشاهده شده و پیش‌بینی شده است بلکه به ساختار فضایی نقاط نیز وابسته است. به همین دلیل کریجینگ از مدل‌های درون‌یابی زمین‌آمار است. این روش دارای الگوریتم‌های مختلفی است که رابطه کلی آن بصورت زیر است (Theodossiou & Latinopoulos, 2006):

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

برای ارزیابی و بررسی روش‌های میان‌یابی فضایی از شاخص اعتبارسنجی‌حذفی (Cross Validation) استفاده شد. این تکنیک بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای به طور موقت حذف شده و محاسبه مقدار برآورد شده برای آن نقطه از روی نقاط همجوار صورت می‌گیرد. در پایان این عملیات یک جدول با دو ستون پدید می‌آید که شامل مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده است. با داشتن این دو مقدار می‌توان در نهایت ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE: Root Mean Square) و انحراف استاندارد عمومی (GSD: General Standard Deviation) در هر روش را تعیین و مناسب‌ترین روش را انتخاب نمود. روابط مربوط بشرح زیر می‌باشد.

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Z(x_i) - Z^*(x_i))^2}$$

زیرزمینی از ارتفاع مطلق نقطه نشانه، در طول دوره آماری استفاده شد. نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی در ابتدای دوره، میان‌دوره و انتهای دوره مورد مطالعه تهیه و از تفاضل داده‌های مربوط به نقشه‌های میان‌دوره و پایان دوره از ابتدای دوره، در نهایت نقشه هم‌اُفت سفره ترسیم و اطلاعات مربوطه تفسیر گردید.

نتایج

بدنبال فراکافت تجربی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS با توجه به مقادیر RMSE کمتر، برازش مدل واریوگرام متناسب با ساختار داده‌های سطح تراز آب زیرزمینی انجام گردید که نتایج مربوطه بصورت خروجی‌های گرافیکی از نرم‌افزار Arc\GIS در شکل ۳ تا ۶ و جدول ۱ ارائه شده است.

(Rescaled Factor) مرتبط با فاصله نقطه تا گره می‌باشند (Carlson & Foley, 1991).

در این پژوهش از روش توابع پایه شعاعی، مشتمل بر توابع چندربعی معکوس (Inverse Multiquadric) چند ربعی (Multiquadric) و شعاعی کم ضخامت (Thin Plates radial function) استفاده گردید.

- برازش مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضایی داده‌ها پس از فراکافت تجربی داده‌ها، برای آن دسته از داده‌هایی که نیاز به نرمال‌سازی داشتند، این کار با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گردید، در این مرحله با توجه به مقادیر RMSE کمتر، برازش مدل واریوگرام متناسب با ساختار داده‌ها انجام شد.

- تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی

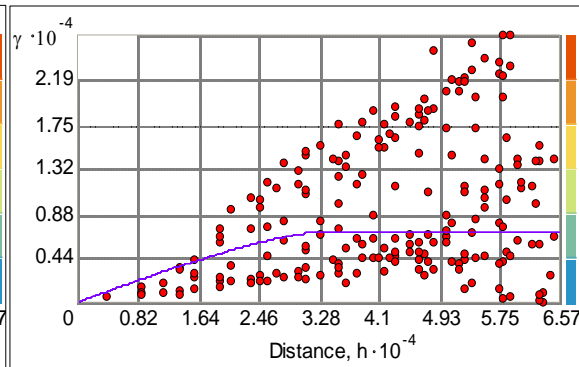
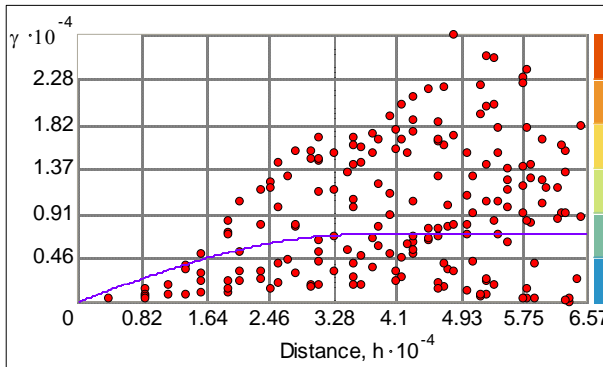
$$GSD = \frac{RMSE}{Z(x_i)}$$

در روابط بالا، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر مورد نظر (مقدار مشاهده‌ای) و $Z(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای و N تعداد مشاهدات می‌باشد. البته هرچه مقدار این دو پیراسنجه به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل است (Marofi et al., 2009).

پس از آنالیز تجربی داده‌ها، با توجه به RMSE کمتر، اقدام به برازش واریوگرام مناسب با توجه به ساختار فضایی داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی شد و در نهایت با توجه به نتایج آزمون نکویی روش‌های درون‌یابی، نقشه پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc\GIS 9.2 تهیه شده و مورد فراکافت قرار گرفت.

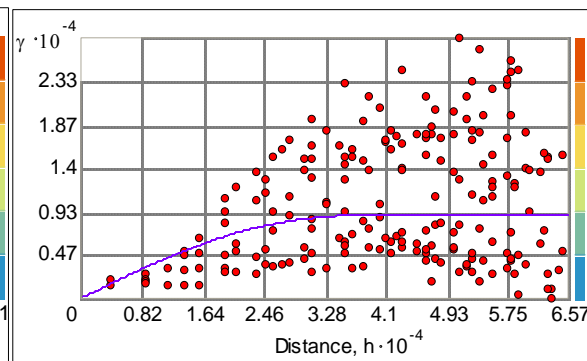
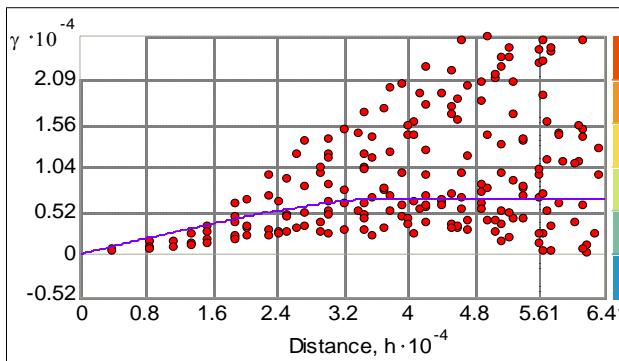
- تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی

به‌منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی تراز آب زیرزمینی، نتایج حاصل از تفاضل ارتفاع سطح آب



شکل ۳- واریوگرام سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به سال آبی ۶۸-۶۹

شکل ۴- واریوگرام سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به سال آبی ۷۲



شکل ۵- واریوگرام سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به سال آبی ۷۸-۷۷

شکل ۶- واریوگرام سطح تراز آب زیرزمینی مربوط به سال آبی ۸۵-۸۴

جدول ۱- مشخصات واریوگرام مناسب برازش شده پیراسنجه سطح آب زیرزمینی

سال آماری	مدل	واریوگرام	ضریب همبستگی
۶۸-۶۹	Spherical	سمی واریوگرام	۰/۹۷**
۷۱-۷۲	Circular	سمی واریوگرام	۰/۹۷**
۷۷-۷۸	Circular	سمی واریوگرام	۰/۹۶**
۸۴-۸۵	Penta-Spherical	سمی واریوگرام	۰/۹۵**

** : حدود اطمینان ۹۹ درصد

خصوص پیراسنجه سطح آب زیرزمینی بیانگر این نکته است که روش کوکریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌ها در همه سال‌های مورد بررسی دارای دقت بالایی است؛ نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای تخمین سطح آب

در این تحقیق از متغیر کمکی ارتفاع مطلق نقطه نشانه (H) استفاده شده که همبستگی بالای ۰/۸ را با متغیر مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر RMSE و GSD هر یک از روش‌های درون‌یابی در

از نتایج حاصل از تفاضل ارتفاع سطح آب زیرزمینی ارتفاع مطلق نقطه نشانه، در طول دوره آماری استفاده گردید که نتایج بدست آمده در شکل ۷، ۸، ۹ و ۱۰ و جدول ۲ ارائه شده است.

زیرزمینی با توجه به نسبت ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین مقادیر مشاهده‌ای $Z(x_i)$ و محاسبه انحراف استاندارد عمومی (GSD) که از روش‌های مختلف بدست آمده در جدول ۳ آورده شده است. برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی تراز آب زیرزمینی،

جدول ۲- طبقه‌بندی کلاس‌های عمقی پیراستجه سطح آب زیرزمینی در طول دوره آماری

ردیف	حدود کلاس عمقی (متر)		مساحت اردیبهشت ۱۳۶۸		مساحت اردیبهشت ۱۳۷۲		مساحت اردیبهشت ۱۳۷۸		مساحت اردیبهشت ۱۳۸۵	
	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار
۱	۱۵۴۰-۱۵۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱۵۷۰-۱۶۰۰	۰/۷	۱۲۹۹۰/۶۰	۳/۵	۴۸۶۲۱/۹۶	۱۳/۱	۵۴۵۶۰/۵۲	۱۴/۷	۵۴۵۶۰/۵۲	۱۴/۷
۳	۱۶۰۰-۱۶۳۰	۲۵/۰	۱۱۹۱۴۲/۳۶	۳۲/۱	۱۰۳۵۵۲/۶۴	۲۷/۹	۷۰۱۴۹/۲۴	۱۸/۹	۷۰۱۴۹/۲۴	۱۸/۹
۴	۱۶۳۰-۱۶۶۰	۲۶/۹	۷۶۴۵۸/۹۶	۲۰/۶	۵۸۲۷۲/۱۲	۱۵/۷	۸۳۵۱۱/۰۰	۲۲/۵	۸۳۵۱۱/۰۰	۲۲/۵
۵	۱۶۶۰-۱۶۹۰	۱۳/۶	۵۰۴۷۷/۷۶	۱۴/۷	۵۱۲۲۰/۰۸	۱۳/۸	۴۳۷۹۶/۸۸	۱۱/۸	۴۳۷۹۶/۸۸	۱۱/۸
۶	۱۶۹۰-۱۷۲۰	۹/۶	۳۵۶۳۱/۳۶	۸/۶	۳۳۰۳۳/۲۴	۸/۹	۲۵۲۳۸/۸۸	۶/۸	۲۵۲۳۸/۸۸	۶/۸
۷	۱۷۲۰-۱۷۵۰	۹/۱	۳۳۷۷۵/۵۶	۶/۴	۲۵۹۸۱/۲۰	۷/۰	۲۴۱۲۵/۴۰	۶/۵	۲۴۱۲۵/۴۰	۶/۵
۸	۱۷۵۰-۱۷۸۰	۶/۹	۲۵۶۱۰/۰۴	۴/۸	۲۳۳۸۳/۰۸	۶/۳	۲۳۳۸۳/۰۸	۶/۳	۲۳۳۸۳/۰۸	۶/۳
۹	۱۷۸۰-۱۸۱۰	۵/۰	۱۸۵۸۸/۰	۵/۵	۱۸۵۵۸/۰۰	۵/۰	۱۷۰۷۳/۳۶	۴/۶	۱۷۰۷۳/۳۶	۴/۶
۱۰	۱۸۱۰-۱۸۴۰	۳/۲	۱۱۸۷۷/۱۲	۳/۸	۸۵۳۶/۶۸	۲/۳	۱۰۰۲۱/۳۲	۲/۷	۱۰۰۲۱/۳۲	۲/۷

جدول ۳- مقادیر مجذور مربعات خطا RMSE و انحراف استاندارد GSD محاسبه شده برای هر یک از روش‌های درون‌یابی سطح آب زیرزمینی

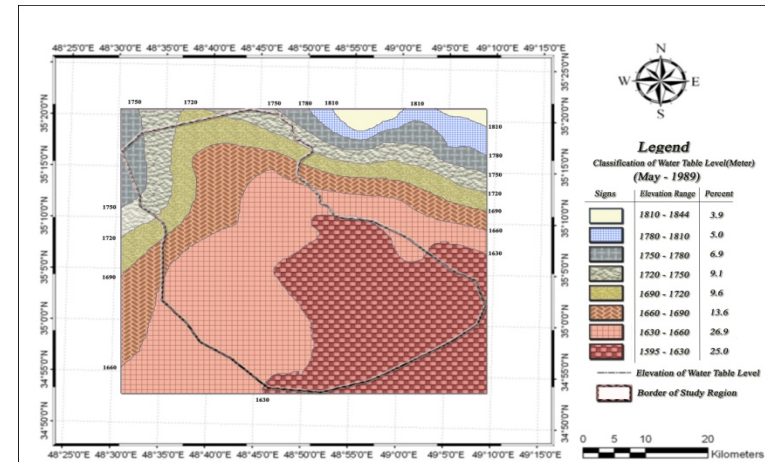
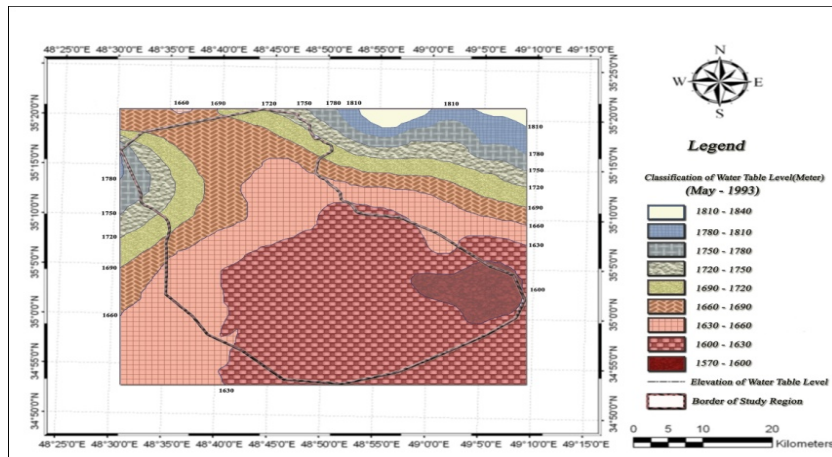
سال آماری	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای (متر)	عکس فاصله وزنی با توان ۱			عکس فاصله وزنی با توان ۲			عکس فاصله وزنی با توان ۳			عکس فاصله وزنی با توان ۴			عکس فاصله وزنی با توان ۵		
		RMSE	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMSE	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMSE	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMSE	$Z(\bar{x}_i)$	GSD
		۶۸	۱۶۹۶/۶۵	۳۵	۳۱	۰۱۲	۱۹۱	۵۰	۰۱۰	۱۹۱	۶۴	۰۰۹	۵۴	۵۰	۰۰۹	۴۹
۷۲	۱۶۸۵/۵۵	۱۹	۱۶۸۵	۰۱۵	۲۳	۲۴	۰۱۴	۱۵	۷۹	۰۱۴	۵۱	۹۰	۰۱۴	۷۶	۸۷	۰۱۵
۷۸	۱۶۷۹/۷۴	۳۸	۱۶۷۷	۰۱۶	۹	۹۰	۰۱۵	۹۴	۹۵	۰۱۵	۵۳	۵۵	۰۱۵	۹۳	۲۱	۰۱۵
۸۵	۱۶۷۳/۸۸	۹۲	۱۶۷۲	۰۲۰	۳۶	۱۰۸	۰۱۹	۵۹	۱۶۷۵	۰۱۹	۵۲	۳۳	۰۱۹	۶۵	۴۲	۰۱۹

RMSE- ریشه مجذور مربعات: $Z(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای: GSD= انحراف استاندارد عمومی:

۳- ادامه جدول

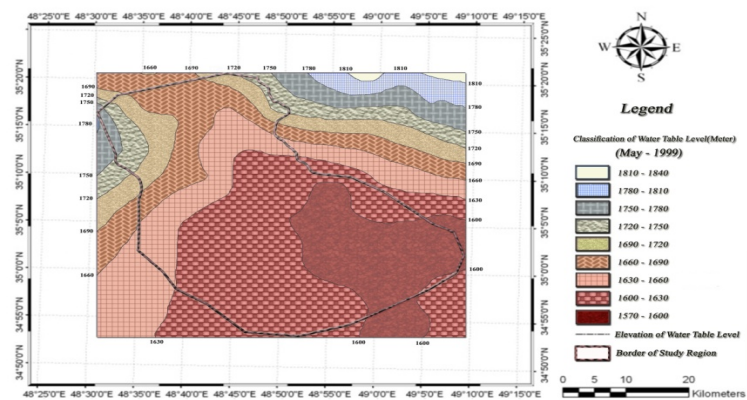
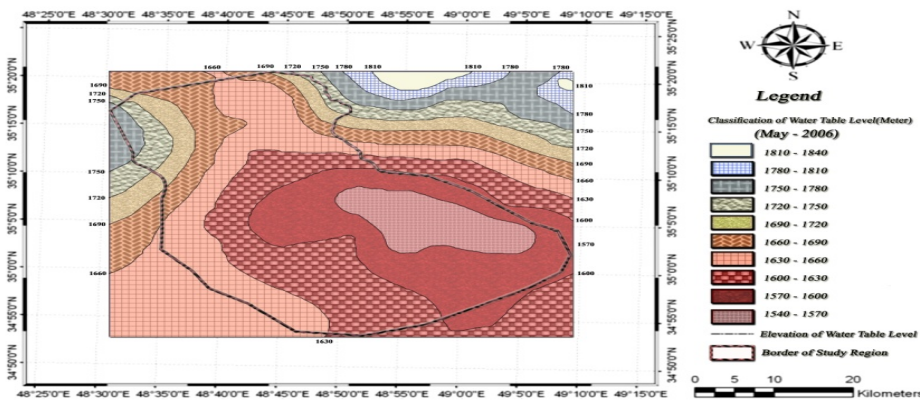
سال آماری	میانگین نمونه‌های مشاهده‌ای (متر)	کوکرچینگ			کریچینگ عمومی			کریچینگ ساده			چندریعی معکوس			چندریعی			نواری کم ضخامت		
		RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD	RMS E	$Z(\bar{x}_i)$	GSD
۶۸	۱۶۹۶/۶۵	۱۲/۵۵	۱۶۹۶/۶۸	۰/۰۰۷	۱۳/۳۸	۱۶۹۶/۷۷	۰/۰۰۸	۱۴/۴۲	۱۶۹۶/۲۹	۰/۰۰۸	۱۳/۴۹	۱۶۹۷/۳۱	۰/۰۰۸	۱۲/۱۷	۱۶۹۶/۵۰	۰/۰۰۷	۸/۱۹	۱۶۹۶/۶۷	۰/۰۰۵
۷۲	۱۶۸۵/۵۵	۲۶/۰۱	۱۶۸۶/۵۷	۰/۰۱۵	۲۲/۹۷	۱۶۸۶/۲۲	۰/۰۱۴	۲۲/۵۵	۱۶۸۵/۰	۰/۰۱۳	۲۳/۲۸	۱۶۸۷/۵۴	۰/۰۱۴	۲۳/۱۸	۱۶۸۷/۳۴	۰/۰۱۴	۹/۵۵	۱۶۸۶/۸۰	۰/۰۰۶
۷۸	۱۶۷۹/۷۴	۲۴/۸	۱۶۷۹/۶۶	۰/۰۱۵	۲۲/۷۲	۱۶۷۸/۹۸	۰/۰۱۳	۲۳	۱۶۷۸/۳۳	۰/۰۱۴	۲۱/۸۶	۱۶۷۹/۸۴	۰/۰۱۳	۲۱/۹۱	۱۶۷۹/۷۱	۰/۰۱۳	۱۱/۸۸	۱۶۷۸/۹۵	۰/۰۰۷
۸۵	۱۶۷۳/۸۸	۳۴/۰۷	۱۶۷۴/۵۲	۰/۰۲۰	۳۱/۲۶	۱۶۷۳/۸۹	۰/۰۱۹	۳۱/۷۲	۱۶۷۳/۸۹	۰/۰۱۹	۳۱/۲۵	۱۶۷۵/۰۱	۰/۰۱۹	۳۱/۰۴	۱۶۷۴/۰۳	۰/۰۱۸	۱۱/۱۲	۱۶۷۳/۹۲	۰/۰۰۷

RMSE- ریشه مجذور مربعات: $Z(x_i)$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای: GSD= استاندارد عمومی: انحراف



شکل ۸- پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۷۲

شکل ۷- پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۶۸



شکل ۱۰- پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۵

شکل ۹- پهنه‌بندی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۷۸

بحث

فراکافت زمین آماری سطح آب زیرزمینی نشان داد که مناسب ترین واریوگرام اختصاص داده شده به ساختار داده ها در ابتدای دوره (سال ۱۳۶۸) مدل Spherical، در میان دوره (سال های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۸) مدل Circular و در پایان دوره (سال ۱۳۸۵) مدل Pentaspherical است. فراکافت روش های درون یابی پیراسنجه سطح آب زیرزمینی به کمک روش اعتبارسنجی حذفی نیز نشان داد که در همه سال های مورد بررسی روش کوکریجینگ در مقایسه با سایر روش های میان یابی کمترین خطای تخمین را دارد و مناسب ترین روش است. لازم به ذکر است که در روش کوکریجینگ از متغیر H (ارتفاع نقطه نشانه) به عنوان متغیر کمکی استفاده شده است؛ بدین ترتیب اختلاف میانگین داده های مشاهده ای و داده های تخمین زده شده در روش کوکریجینگ نسبت به سایر روش ها کمتر است و این نتیجه با نتایج حاصل از پژوهش های مشعل و همکاران (۱۳۸۶) و همچنین یافته های صفری (۱۳۸۱) مطابقت دارد.

بررسی نقشه های پهنه بندی مکانی سطح آب زیرزمینی دشت نشان داد که جهت جریان های آب زیرزمینی در تمامی قسمت ها به سمت مرکز دشت بوده و در نهایت از قسمت جنوب شرقی منطقه تخلیه می گردد. بیشترین تغذیه سفره در نتیجه گسترش آهک های کرتاسه و الیگومیوسن در شمال منطقه است و در مقابل در قسمت غربی بواسطه وجود سنگ های غیر قابل نفوذ شیستی و مارنی، تغذیه آبرفت بسیار ناچیز است.

مقایسه نقشه های تراز آب زیرزمینی در طول دوره آماری مورد بررسی نیز نشان دهنده روند کاهش سطح تراز آب زیرزمینی در سطح آبخوان است، به طوری که پایین ترین میزان سطح آب زیرزمینی که در ابتدای دوره (سال ۱۳۶۸) بطور متوسط ۱۶۱۲ متر بوده، در انتهای دوره (سال ۱۳۸۵) به طور متوسط به ۱۵۵۷ متر رسیده و ۵۵ متر کاهش داشته است.

بررسی ها نشان می دهد که قسمت هایی از دشت که سطح

تراز آب در آنها کاهش یافته است در طول دوره بررسی، از نواحی شرقی به سمت نواحی مرکزی دشت گسترش یافته است و در انتهای دوره مورد بررسی (سال ۱۳۸۵) در مناطق مرکزی و غربی دشت، پایین ترین سطح تراز آب زیرزمینی ایجاد شده است.

نقشه های پهنه بندی مکانی سطح آب زیرزمینی نیز نشان دهنده این واقعیت است که در ابتدای دوره (سال ۱۳۶۸) سمت حرکت آب زیرزمینی از بخش های مختلف منطقه به سمت جنوب شرقی دشت و خروجی حوزه بوده و شیب کلی آب زیرزمینی نیز از جهت شمال و شمال شرق نسبت به جهات دیگر تندتر بوده است و کمینه تراز سطح آب زیرزمینی ۱۵۹۵ متر ثبت شده است. در میان دوره (سال ۱۳۷۲) جهت حرکت آب و جهت شیب بیشینه، نسبت به سال ۱۳۶۸ حفظ شده و تغییر آنچنانی نکرده است ولی محدوده تراز کمینه آب زیرزمینی کاهش یافته و به ۱۵۹۰ متر رسیده است و محدوده تحت تأثیر ترازهای پایین تر توسعه یافته اما این توسعه یافتگی در جهت شمال غربی منطقه محسوس تر است.

روند مشابه سال ۱۳۷۲ در سال ۱۳۷۸ نیز تکرار شده است. در ضمن تراز کمینه سطح آب زیرزمینی به محدوده داخلی دشت توسعه یافته است و سرانجام در پایان دوره مورد بررسی (سال ۱۳۸۵) محدوده کمینه تراز سطح آب زیرزمینی به ۱۵۴۴ متر رسیده و در قسمت میانی دشت متمرکز گردیده است که این امر ناشی از برداشت بی رویه از سفره های آب زیرزمینی در قسمت های مرکزی دشت بخصوص بعد از سال ۱۳۷۲ است. این ناحیه محل تمرکز واحدهای صنعتی منطقه از جمله نیروگاه حرارتی شهید مفتاح (در عرض شمالی $35^{\circ}07'$ و طول شرقی $48^{\circ}50'$) و شهرک صنعتی ویان (در عرض شمالی $35^{\circ}06'$ و طول شرقی $48^{\circ}48'$) با تعداد زیادی چاه های عمیق برداشت آب صنعتی و همچنین تعداد بسیار زیادی چاه های غیرمجاز بهره برداری آب کشاورزی منطقه است که به طور عمده به کشت علوفه با نیاز آبی بالا اختصاص دارد.

- Carlson, R. E. and Foley, T. A., 1991. The parameter R_2 in multiquadric interpolation. *Computers & Mathematics with Applications*, 21(9): 29-42.
- Childs, G. and Colin, R., 2004. Interpolating surfaces in Arc\GIS spatial analyst, Arc\GIS User ESRI, Redlands, Canada.
- Dick, J. B. and Gerard, B. M. H., 2006. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma*, 138(2007) 86-95.
- Golmohammadi, G., Marofi, S. and Mohammadi, K., 2009. Regionalization of runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical methods and GIS. *Journal of Sciences and Agriculture Technologies and Natural Resources*, 46: 1-15.
- Kitanidis, P. K., 1993. Geostatistics: 10-20 in: Maidment, D.R. (Eds.). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill Press, New York, 437p.
- Marofi, S., Toranjeyan, A. and Zare Abyaneh, H., 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(2):169-187.
- Mohamadi, S., Salajegheh, A., Mahdavi, M. and Bagheri, R., 2012. An investigation on spatial and temporal variations of groundwater level in Kerman plain using suitable geostatistical method (during a 10-year period). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(1): 60-71.
- Rojas, R. and Dassargues, A., 2007. Groundwater flow modeling of the regional aquifer of the Pampa Del Tamar gal, northern Chile. *Journal of Hydrogeology*, 15: 537-551.
- Theodossiou, N. and Latinopoulos, P., 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modeling & Software*, 21: 991-1000.
- Vijay, K. and Remadevi, S., 2006. Kriging of groundwater levels, a case study. *Journal of Spatial Hydrology*, 6(1): 81-94.
- در مجموع چنین استنباط می‌شود که در رابطه با تخریب منابع آب زیرزمینی، نقش سوءمدیریت و توسعه ناپایدار صنعتی و کشاورزی در وجود آمدن چنین شرایطی بسیار مؤثر بوده‌اند، از این رو راهکار اصلی مقابله با روند کنونی اُفت آب زیرزمینی در این منطقه و مناطق مشابه که دارای شرایط شکننده بوم‌شناختی هستند، اعمال مدیریت صحیح صنعتی و زراعی و همزیستی با شرایط مذکور برای حفاظت از منابع طبیعی موجود در راستای تحقق توسعه پایدار می‌باشد.
- منابع مورد استفاده**
- حسنی پاک، ع.ا.، ۱۳۸۶. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، ایران، ۳۲۵ ص.
- صفری، م.، ۱۳۸۱. تعیین شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روش‌های زمین آماری، مطالعه موردی: دشت چمچمال. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۷۳ ص.
- مشعل، م.، درویشی، ا. و قلیچ ثابت، ح.، ۱۳۸۶. ارزیابی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین آماری در دشت اراک. سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۳۰ شهریور: ۸۸۴-۸۸۸.
- Ahmadi, S. H. and Sedghamiz, A., 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental Monitoring Assessment*, 129(1-3): 277-294.

Determination of groundwater level fluctuations as an indicator of semi-arid land resources degradation using geostatistical methods (Case study: Kaboudrahang-Famenin plain)

M. Ahmadian^{1*}, M. Chavoshian² and M. Darvish³

1*-Corresponding author, Senior Research Expert, Department of Natural Resources, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Hamedan, Iran, Email:Mahdi.ahmadian@gmail.com

2- Lecturer, Hamedan Agricultural Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

3- Research Instructor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

Received:4/7/2013

Accepted:8/11/2013

Abstract

In recent years, the depletion of groundwater resources has been increased by the population explosion and the development of agriculture and industry. In this study, the geo-statistical methods were used to study the spatial and temporal variations in groundwater level in Kaboudrahang-Famenin plain. For this purpose, available data of region including information about piezometers and monitoring wells were collected and then, database was composed. Next, the control of data accuracy was carried out. For comparison of geo-statistical methods, the variograms were plotted respectively and the different interpolation methods such as kriging (simple model), cokriging and Inverse Distance Weight with powers 1 to 5 (IDW) and radial basis functions (Thin Plate Radial Function, Inverse Multi Quadratic and Multi Quadratic) for groundwater zoning were used. The best interpolation method was selected by using two criteria, Root Mean Square (RMSE) and General Standard Deviation (GSD), and finally the zoning map of groundwater level was drawn in Arc-GIS software. The results of spatial statistical analysis indicated that the best variogram models for groundwater level data in the first period (1989), in the middle period (1993&1999) and the last period (2006) were spherical, circular and pentaspherical models, respectively. Evaluation of various interpolation methods with using "cross validation criteria" showed that in the investigation period, cokriging had the lowest estimation error compared with other interpolation methods. Thus, Cokriging was the most suitable interpolation method. The results of interpolated digital maps during the study period showed that the maximum fall of water table in 17 years was recorded to be 55 meters for central east region of plain. This shows the dramatic reduction in groundwater reserves of the region, which would not lead to industrial and agricultural sustainable development.

Keywords: Spatial and temporal variations, ground water table interpolation, land degradation, geostatistics, Kaboudrahang - Famenin plain.