

بررسی سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل

هاشم رستم زاده، استادیار اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز.

اسماعیل اسدی، استادیار مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

جعفر جعفرزاده^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز.

پذیرش نهایی: ۹۳/۱۲/۱۳

دریافت مقاله: ۹۳/۶/۲۰

چکیده

آب‌های زیرزمینی منبع بسیار مهمی برای تأمین آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب دشت اردبیل است. از این رو، بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار این منابع اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش، هدف سطح‌بندی وضعیت دهستان‌های موجود در دشت اردبیل به لحاظ بحران آب زیرزمینی و تغییرات آن طی سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۹۱ است. بنابراین، از اطلاعات ۳۹ چاه پیژومتری موجود در سطح دشت اردبیل (اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای) استفاده شد. با استفاده از تکنیک وزن‌دهی جمعی ساده‌ی فازی و روش‌های درون‌یابی، سطح ایستابی پیژومترها درون‌یابی و نحوه‌ی تغییرات سطح ایستابی آن‌ها طی این دو دوره نمایش داده شدند. سپس، نقشه‌ی نهایی فازی شده و وزن‌دار از دو نقشه‌ی سال ۶۰ و ۹۱ تهیه گردید. نتایج تحلیل، کاهش تقریباً ۴۷ درصدی سطح ایستابی را در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۶۰ نشان می‌دهد. سرانجام، با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده می‌توان گفت که دهستان‌های شرقی، ویلکیج مرکزی و فولادلوی شمالی بیشترین تغییرات را به لحاظ افت سطح آب زیرزمینی داشته‌اند که قسمت شرق و جنوب شرق دشت را شامل می‌شوند. همچنین، دهستان‌های شمالی دشت نیز به سمت بحران پیش می‌روند که، با توجه به نقشه‌ی سطح کشت و تراکم چاه عمیق، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی را در این ناحیه می‌توان عامل اصلی بحران قلمداد کرد.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاری فازی، آب زیرزمینی، سطح ایستابی، تحلیل فضایی، دشت اردبیل.

مقدمه

آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب شرب برای بسیاری از مردم در سراسر جهان مخصوصاً در مناطق روستایی است. با توجه به اهمیت و دسترسی ساده به منابع آب زیرزمینی (به‌خصوص در چند دهه‌ی گذشته)، استحصال بدون برنامه‌ریزی این منابع سبب افت شدید سطح ایستابی در بسیاری از دشت‌های کشور از جمله دشت اردبیل شده است. به‌گونه‌ای که اکنون آثار منفی آن در شرق آبخوان کاملاً مشهود است (شمسی‌سوسه‌هاب و ستاری، ۱۳۹۳). در شرایطی که برداشت بی‌رویه‌ی آب زیرزمینی دشت اردبیل در سال‌های اخیر به مسئله‌ی بزرگ منطقه‌ای تبدیل شده است، مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی این دشت امری مهم و ضروری است. دانشور و ثوقی و دین پژوه (۱۳۹۰) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که افت معنی‌دار تراز آب در همه‌ی ماه‌های سال برای دشت اردبیل ناشی از خشک‌سالی یا کاهش بارش نیست، بلکه به‌علت افزایش معنی‌دار درجه‌ی حرارت و نیاز آبی گیاهان همچنین برداشت بی‌رویه‌ی آب از چاه‌های عمیق، نیمه‌عمیق و دستی است که سبب کاهش تراز آب زیرزمینی در دشت شده است. شمسی‌سوسه‌هاب و ستاری (۱۳۹۳) در پژوهشی تخمین سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل را با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی بررسی کردند. استفاده از مدل‌های گوناگون درون‌یابی اساس کار بسیاری از محققین برای بررسی وضعیت تغییرات زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی است. درباره‌ی انتخاب بهترین حالت درون‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله، می‌توان از شاخص‌های توان درون‌یابی و از قطاع‌بندی سیستم^۱ (Watson and Philip, ۱۹۸۲) و، سرانجام، از گزینه‌ی ریشه‌ی دوم خطای میانگین RMSE^۲ بهره جست که هرچه این مقدار کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی کارایی بهتر روش مورد نظر است (غریب‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱؛ Azpurua and Dos, ۲۰۱۰). یوسان و همکاران به مقایسه‌ی سه روش میان‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه‌ی شعاعی^۳ و کریجینگ^۴ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین در شمال چین پرداختند (۲۰۰۹ YueSun et al). مک‌کنا در ایالت کلرادوی امریکا برای بالابردن دقت در تخمین و شبیه‌سازی داده‌های مؤثر بر جریان آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آماری استفاده کرد (McKenna, ۲۰۰۲). صادق نیکبخت و معصومه دلبری (۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های زمین‌آماری به برآورد سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی دشت زاهدان پرداختند.

برتری و اشکال‌های هر روش شدیداً به خصوصیات و مشخصات مجموعه‌ی داده‌ها بستگی دارد. ممکن است روشی که به‌خوبی بر مجموعه‌ی داده‌های برازش داده می‌شود، برازش آن بر مجموعه‌ی دیگری نتایج ضعیفی داشته باشد. بنابراین، ضوابط و معیارهایی برای انتخاب مناسب‌ترین روش باید بیان شود (Apaydin et al, ۲۰۰۴). رابینسون و متمیچ برای انتخاب بهترین توان در مدل وزن‌دهی عکس فاصله، از چولگی پایین داده‌ها و کمترین مقدار خطای RMS استفاده کرده‌اند (Robinson and Metternicht, ۲۰۰۶).

هدف از پژوهش حاضر تعیین تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره و بررسی ارتباط بین میزان برداشت آب زیرزمینی و وضعیت سطح ایستابی آن برای دهستان‌های سطح دشت اردبیل است. آنچه در این پژوهش صورت گرفته ترکیب مدل‌های مختلف درون‌یابی و وزن‌دار کردن آن‌ها با توجه به میزان دقت مدل‌ها و تهیه‌ی نقشه درون‌یابی جدید با استفاده از هر چهار مدل درون‌یابی است.

۱. Sector type

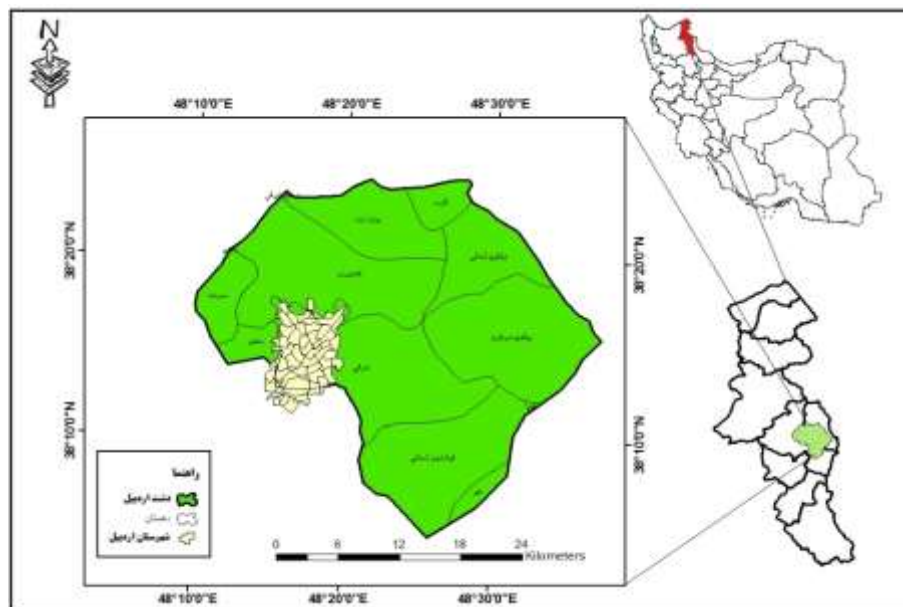
۲. Root-Mean-Square Error

۳. Radial Basis Function

۴. Kriging

داده‌ها و روش کار

دشت اردبیل در ناحیه‌ی شمال غرب ایران بین عرض شمالی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است. محدوده از نظر تقسیم کشوری به استان اردبیل تعلق دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط اراضی کشاورزی حدود ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. وسعت آن حدود ۸۲۰ کیلومترمربع است و جزئی از حوضه‌ی آبخیز رود قره‌سو به‌شمار می‌رود. دشت اردبیل متشکل از ۸۸ واحد روستایی، ده واحد دهستان و ۲ واحد شهری (اردبیل و آبی بیگلر) است. شهر اردبیل مرکز استان اردبیل در غرب این دشت واقع شده است. در محدوده‌ی دشت اردبیل تعداد ۲۲۴۳ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق، ۲۰ دهنه‌ی چشمه و ۱۸ رشته قنات وجود دارد که به مصارف کشاورزی اختصاص دارند. از سال ۱۳۵۰، برداشت آمار سطح ایستابی دشت اردبیل با ۱۱ ایستگاه پیزومتری در محدوده‌ی دشت شروع شد و در سال‌های اخیر به ۵۴ حلقه چاه رسید. این امر خوشبختانه پراکندگی مناسبی دارد، اما به جهت این‌که دقت کافی در برداشت یا ارائه‌ی آمار ماهیانه و سالانه از تراز سطح ایستابی چاه‌های موجود صورت نمی‌گیرد، عملاً فقط داده‌ها و اطلاعات ۳۱ چاه از ۵۴ چاه موجود در این پژوهش استفاده شده است.

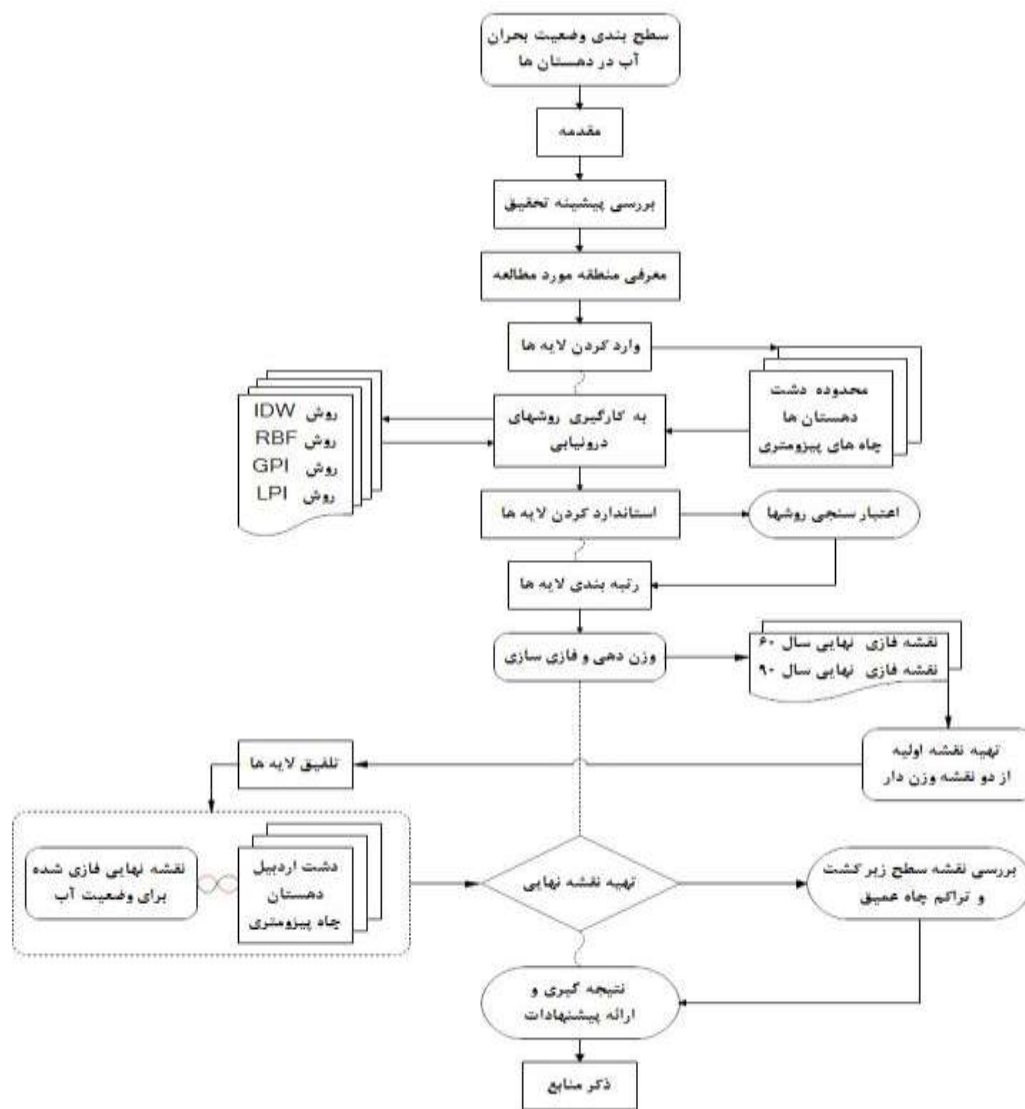


شکل ۱: موقعیت دشت اردبیل در سطح استان اردبیل.

برای انجام این تحقیق، از داده‌های آماری مربوط به چاه‌های پیزومتری استفاده گردید که در سطح دشت اردبیل پراکنده شده‌اند. داده‌ها از طریق سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل جمع‌آوری شد. همچنین از لایه‌های سطحی و نقطه‌ای مربوط به دشت اردبیل و تقسیمات سیاسی دهستان‌ها و میانگین سطح زیرکشت هر دهستان و نیز موقعیت چاه‌های پیزومتری برای تهیه‌ی نقشه‌های نهایی استفاده گردید.

مراحل انجام تحقیق در شکل شماره ۲ آورده شده است. اولین گام برای بررسی هر فرآیند هیدرولوژیکی جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز است، از قبیل موقعیت مکانی چاه‌های مشاهده‌ای و مختصات آن‌ها. برای این منظور اطلاعات منابع آب زیرزمینی مربوط به سال‌های ۶۰ و ۹۱ تهیه گردید و در پژوهش حاضر استفاد شد که ملاک عمل و برنامه‌ریزی داده‌های

اخذ شده از مدیریت منابع آب شهرستان اردبیل است. پس از بررسی آمار و انتخاب داده‌هایی که برای تمام چاه‌های انتخابی کامل و موجود بودند، برداشت‌های ماهیانه‌ی چاه‌های پیژومتری موجود در محدوده‌ی دشت اردبیل برای سال‌های آماری ۶۰ و ۹۱ و تغییرات سطح ایستایی تعداد ۳۹ چاه پیژومتری از ۵۴ چاه پیژومتری موجود انتخاب شد. سپس، متوسط سالیانه برای هر چاه پیژومتری داخل در محدوده و پیرامون آن وارد محیط نرم‌افزاری ArcGIS گردید.



شکل ۲: نمودار مراحل انجام کار

از روش‌های زمین‌آمار^۱ IDW (قهرودی تالی و بابایی، ۱۳۸۴: ۹۸؛ فرجی و عزیزی، ۱۳۸۵؛ Magnus and Clyde, ۲۰۱۰)، GPI^۲ (Yan, ۲۰۰۹)، LPI^۳ (Johnston et al, ۲۰۰۱) و RBF^۱ (عیوضی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Johnston et al, ۲۰۱۰).

^۱. Inverse Distance Weight

^۲. Global Polynomial Interpolation

^۳. Local Polynomial Interpolation

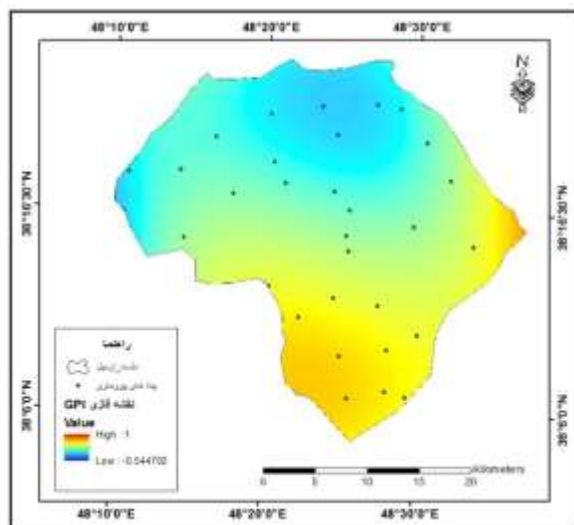
(۲۰۰۱) در محیط نرم افزار ArcGIS درون یابی همه‌ی داده‌های موجود انجام گردید و افت سطح ایستابی در محدوده‌های استاندارد به صورت کلاس‌های ده‌گانه (رستری) در محدوده‌ی ممنوع دشت اردبیل مشخص گردید. پس از به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی اولیه، به استانداردسازی و فازی کردن لایه‌ها با استفاده از تقسیم بر مقدار حداکثر شده اقدام گردید. برای اعتبارسنجی و رتبه‌بندی روش‌های درون‌یابی از ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (Srivastava and Isaaks, ۲۰۰۸) به این صورت، مدلی که دارای کمترین میزان RMSE باشد، دارای بیشترین رتبه است. معادله‌ی کلی ریشه‌ی میانگین مربع‌های خطا به صورت زیر است:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z^*(X_i) - Z(X_i))^2}{n}} \quad \text{معادله‌ی ۱}$$

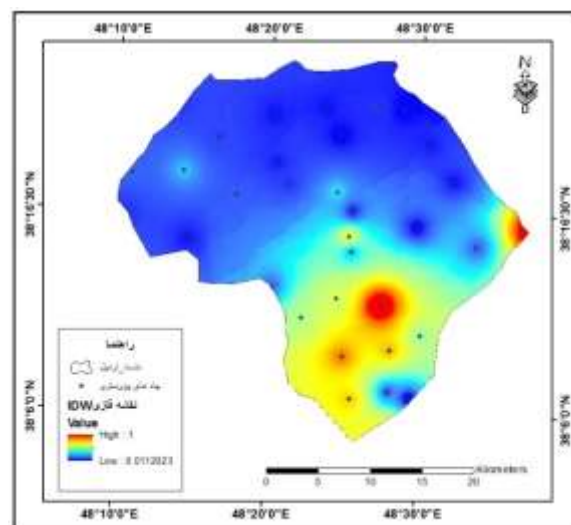
در این معادله، $Z(X_i)$ و $Z^*(X_i)$ مقدار تخمین زده شده و واقعی متغیر Z در نقطه X_i هستند. سپس، براساس میزان جذر میانگین مربعات خطا، که معیاری برای سنجش دقت روش‌های درون‌یابی است، رتبه‌بندی مستقیم و وزن‌دهی با روش‌های گفته شده صورت گرفت. سرانجام، با استفاده از روش وزن‌دهی جمعی ساده (پرهیزگار و غفاری، ۱۳۹۰: ۲۱۲؛ اصغرپور، ۱۳۹۲: ۲۳۲)، لایه‌ها وزن دار شده و لایه‌های اطلاعاتی افت سطح ایستابی برای سال‌های ۶۰ و ۹۰ به دست آمده است. برای به دست آوردن نقشه‌ی نهایی افت سطح ایستابی، دو لایه‌ی مذکور از هم کسر شد و نقشه‌ی نهایی افت سطح ایستابی دشت اردبیل (به صورت فازی) به دست آمد.

شرح و تفسیر نتایج

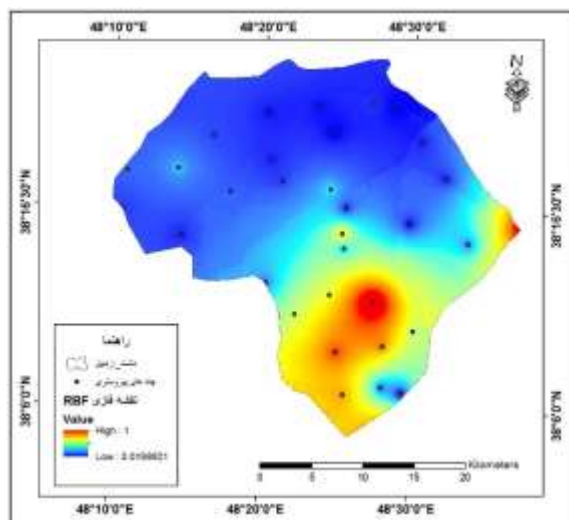
اشکال شماره ۳ تا ۱۰ نقشه‌های درونیابی شده با استفاده از نرم افزار را برای دشت اردبیل با استفاده از مدل‌های ارائه شده و برای دو سال‌های ۶۰ و ۹۰ نشان می‌دهد. هر یک از این اشکال با استفاده از چهار روش درونیابی که در روش کار توضیح داده شد، انجام شده و هم چنین برای هر دو سال آبی ۶۰ و ۹۰ این چهار روش به کار برده شده است.



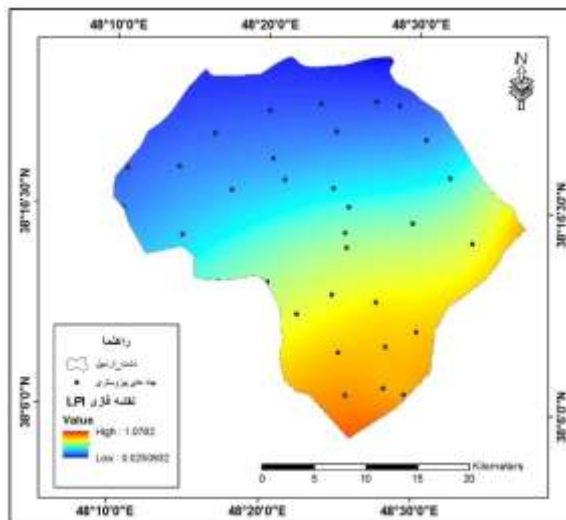
شکل ۴: نقشه‌ی فازی به روش GPI برای سال آبی ۱۳۶۰.



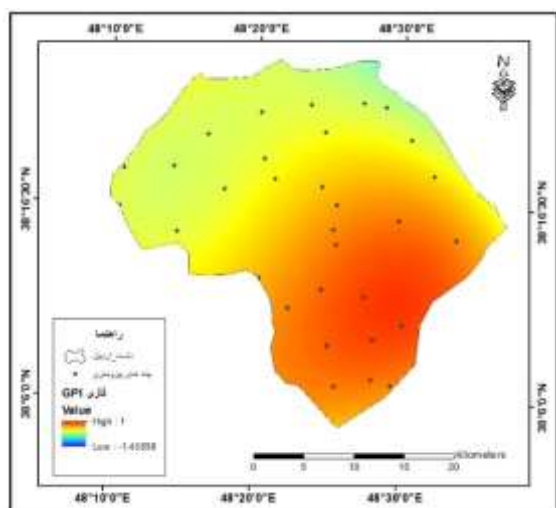
شکل ۳: نقشه‌ی فازی به روش IDW برای سال آبی ۱۳۶۰.



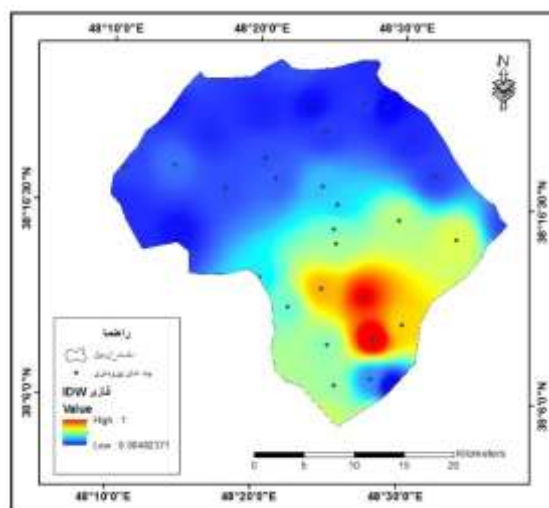
شکل ۶: نقشه‌ی فازی به روش RBF برای سال آبی ۱۳۶۰.



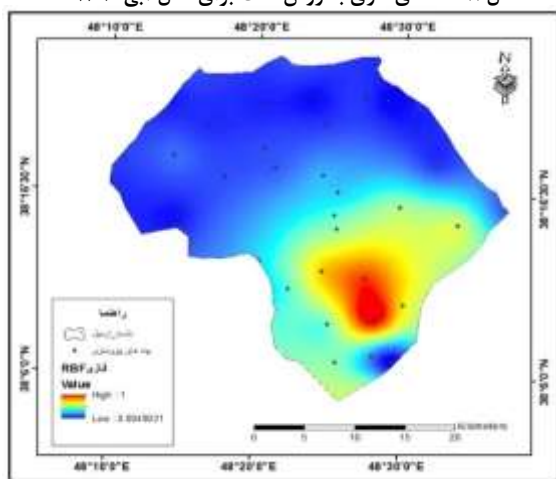
شکل ۵: نقشه‌ی فازی به روش LPI برای سال آبی ۱۳۶۰.



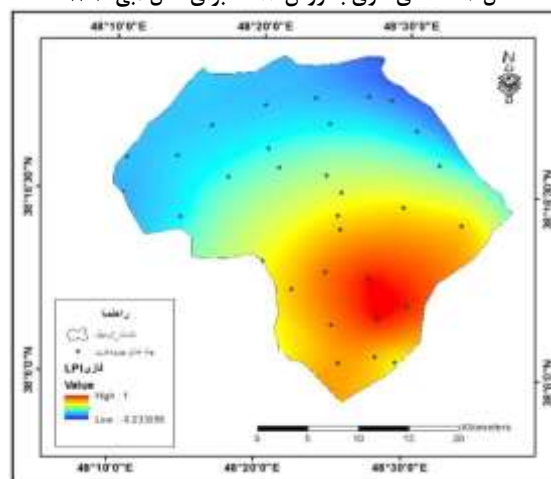
شکل ۸: نقشه‌ی فازی به روش GPI برای سال آبی ۱۳۹۰.



شکل ۷: نقشه‌ی فازی به روش IDW برای سال آبی ۱۳۹۰.



شکل ۱۰: نقشه‌ی فازی به روش RBF برای سال آبی ۱۳۹۰.



شکل ۹: نقشه‌ی فازی به روش LPI برای سال آبی ۱۳۹۰.

در جدول شماره ۱ انواع مدل‌های به‌کار رفته برای درون‌یابی به همراه مدل سمی واریوگرام و توان‌های بهینه‌شده و نیز مقادیر خطای RMS و میزان بیشینه و کمینه هر مدل آورده شده است. از مقادیر بیشینه برای به‌دست‌آوردن لایه‌ی استاندارد فازی استفاده شده است. در جدول شماره ۲، مشخصات چاه‌های پیزومتری به همراه میزان سطح ایستابی آن‌ها برای سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۹۰ آورده شده است.

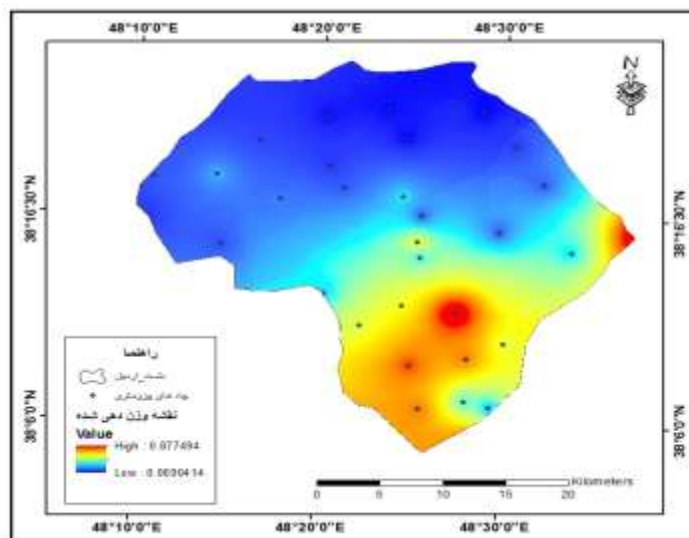
جدول ۱: نوع مدل به‌کار رفته برای درون‌یابی به همراه ویژگی‌های آن

| وزن استاندارد | وزن اولیه | رتبه‌ی مستقیم | Min | Max | خطای RMS | توان بهینه‌شده | مدل سمی واریوگرام | سال آبی | مدل به‌کار رفته برای درون‌یابی |
|---------------|-----------|---------------|-------|--------|----------|----------------|-------------------|---------|--------------------------------|
| ۳۶۵۸۶ | ۳ | ۲ | ۰/۳۴۳ | ۷۱/۰۱۰ | ۱۰/۷۸۵ | ۲/۹۵ | -- | ۱۳۹۰ | IDW |
| ۳۶۶۱۷ | ۴ | ۱ | ۰/۵۱۳ | ۴۵/۷۱۵ | ۹/۹۳۵ | ۱/۶۸ | -- | ۱۳۶۰ | |
| ۳۶۵۲۶ | ۱ | ۴ | ۰/۳۰۱ | ۶۱/۶۹۷ | ۱۳/۹۰۹ | ۳ | سه جمله‌ای | ۱۳۹۰ | GPI |
| ۳۶۵۲۶ | ۱ | ۴ | ۰/۵۴۲ | ۵۰/۳۵۹ | ۱۱/۷۵۰ | ۲ | دوجمله‌ای | ۱۳۶۰ | |
| ۳۶۶۱۷ | ۴ | ۱ | ۰/۳۰۶ | ۷۳/۲۱۹ | ۱۰/۲۹۳ | ۰/۰۰۱۲ | کرنل | ۱۳۹۰ | RBF |
| ۳۶۵۸۶ | ۳ | ۲ | ۰/۹۰۴ | ۴۵/۴۵۸ | ۹/۹۸۸ | ۰/۰۰۶۲ | کرنل | ۱۳۶۰ | |
| ۳۶۵۵۷ | ۲ | ۳ | ۰/۳۴۴ | ۲۵۵۶۹ | ۱۳/۲۸۸ | ۱ | یک جمله‌ای | ۱۳۹۰ | LPI |
| ۳۶۵۵۷ | ۲ | ۳ | ۰/۶۴۲ | ۲۷/۵۷۵ | ۱۰/۵۵۷ | ۲ | دوجمله‌ی | ۱۳۶۰ | |
| ۱ | ۱۰ | | | | | | | | مجموع |

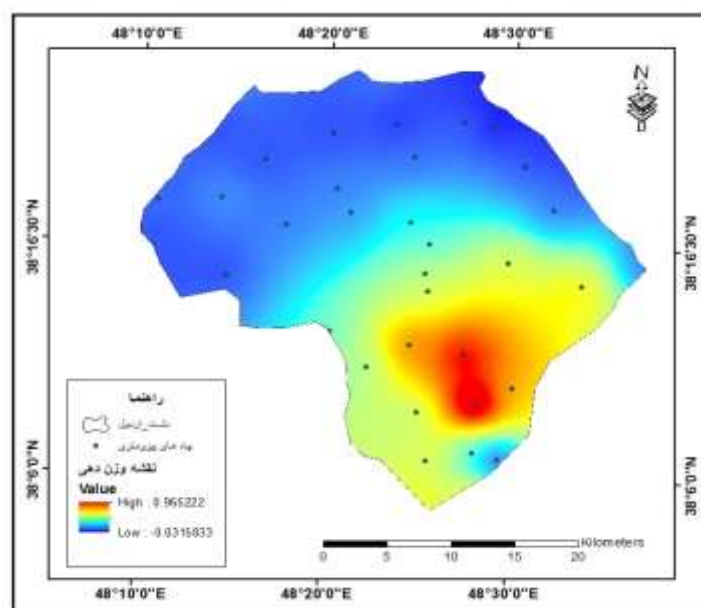
جدول ۲: مشخصات چاه‌های پیزومتری به‌همراه میزان سطح ایستابی (متر) برای سال‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۹۰

| نوشهر | میرزا رحیم‌لو | مرنی | کرکوق | آقاباقر | رضی آباد | خلیل آباد | حسن باری | جبه دار | آرالوی بزرگ | نام چاه پیزومتری |
|-------|-----------------|-------------|----------|-------------|--------------|------------|---|-----------------|-------------|------------------|
| ۴۲۰۸۸ | ۲/۹۷ | ۶/۲۴ | ۴۲۰۰۷ | ۲۳/۷۳ | ۱۷/۹۰ | ۶۶/۱۶ | ۲/۸۹ | ۳/۳۶ | ۲۹/۵۹ | سال آبی ۱۳۶۰ |
| ۳۰/۱۴ | ۱۹/۷۲ | ۳۸ | ۷/۹۲ | ۲۶/۸۳ | ۴۲۱۸۱ | ۱۶۶۸۱ | ۳/۲۰ | ۳/۲۳ | ۴۲۲۶۷ | سال آبی ۱۳۹۰ |
| | خلیفه لو | تپراقلو | تازه کند | پیراقوم | آقازمان کندی | ایمیتچه | انزاب پایین | اغبالغ رستم خان | کرکان | نام چاه پیزومتری |
| ۱/۶۷ | ۴۵/۷۹ | ۴/۷۳ | ۴۲۱۴۴ | ۶/۳۱ | ۴۲۱۵۹ | ۴۲۱۲۸ | ۲/۷۴ | ۹/۷۷ | ۵/۲۱ | سال آبی ۱۳۶۰ |
| ۳۳/۲۳ | ۶۲/۹۹ | ۴/۹۲ | ۱۷۹۵۸ | ۶/۸۲ | ۴۲۱۳۲ | ۴۲۱۵۹ | ۴۲۱۵۹ | ۳۱/۴۲ | ۱۳/۴۲ | سال آبی ۱۳۹۰ |
| | کلخوران فولادلو | کلخوران شیخ | قره لر | طالب قشلاقی | مهماندوست | سلطان آباد | سعيد آباد | سربند | خلیل آباد | نام چاه پیزومتری |
| ۰/۳۲ | ۴۲۱۰۰ | ۱۲/۱۴ | ۵/۸۲ | ۶/۳۱ | ۴/۱۵ | ۲/۷۵ | ۲/۷۶ | ۱/۷۹ | ۲۶/۶۹ | سال آبی ۱۳۶۰ |
| ۰/۳۴ | ۷/۹۷ | ۱۷/۵۹ | ۱۰/۸۸ | ۲۱/۴۸ | ۹/۱۹ | ۶/۳۸ | ۲/۷۳ | ۵/۹۵ | ۲۵۹۳۴ | سال آبی ۱۳۹۰ |
| | بریس | صومعه | پینگجه | یاچلو | هیر | نوشهر | نوران | گلی جدید | کنارک | نام چاه پیزومتری |
| | ۱۲ | ۱۰/۶۰ | ۱/۹۳ | ۴۲۲۵۴ | ۳۴/۸۸ | ۲۲/۱۶ | ۴۲۱۶۰ | ۲/۹۷ | ۴۲۲۱۲ | سال آبی ۱۳۶۰ |
| | ۷ | ۱۰/۹۷ | ۲/۲۱ | ۴۲۲۲۱ | ۳۹/۷۴ | ۳۵/۴۵ | ۴/۷۱ | ۴/۵۲ | ۵/۴۵ | سال آبی ۱۳۹۰ |
| ۱۰/۴۰ | | | | | | | میانگین سطح ایستابی کل چاه‌ها (متر) برای سال آبی ۱۳۶۰ | | | |
| ۱۸/۷۴ | | | | | | | میانگین سطح ایستابی کل چاه‌ها (متر) برای سال آبی ۱۳۹۰ | | | |

هم چنین در شکل شماره ی ۱۱ و شکل شماره ی ۱۲ هم چنان که در روش کار توضیح داده شد، تمامی لایه های درونیایی شده و وزن دار شده با استفاده از مدل وزن دهی جمعی ساده تلفیق شده و نقشه نهایی برای سال آبی ۱۳۶۰ (شکل ۱۱) و سال آبی ۱۳۹۰ (شکل ۱۲) تهیه شد. همان طور که از شکل های درونیایی شده مشخص است، افزایش مساحت سطوح مختلف کلاس های ارتفاعی ارائه شده از سال ۶۰ به سال ۹۰ گواه افزایش افت در دشت خصوصاً در قسمت شرق و جنوب شرق دشت اردبیل است. همچنین، با توجه به دو شکل ۱۱ و ۱۲، گسترش ناحیه ی مشخص شده به رنگ قرمز در شکل ۱۲ از شکل ۱۱ گواه گسترش منطقه ی افت سطح ایستابی در این دو دوره ی آماری است.

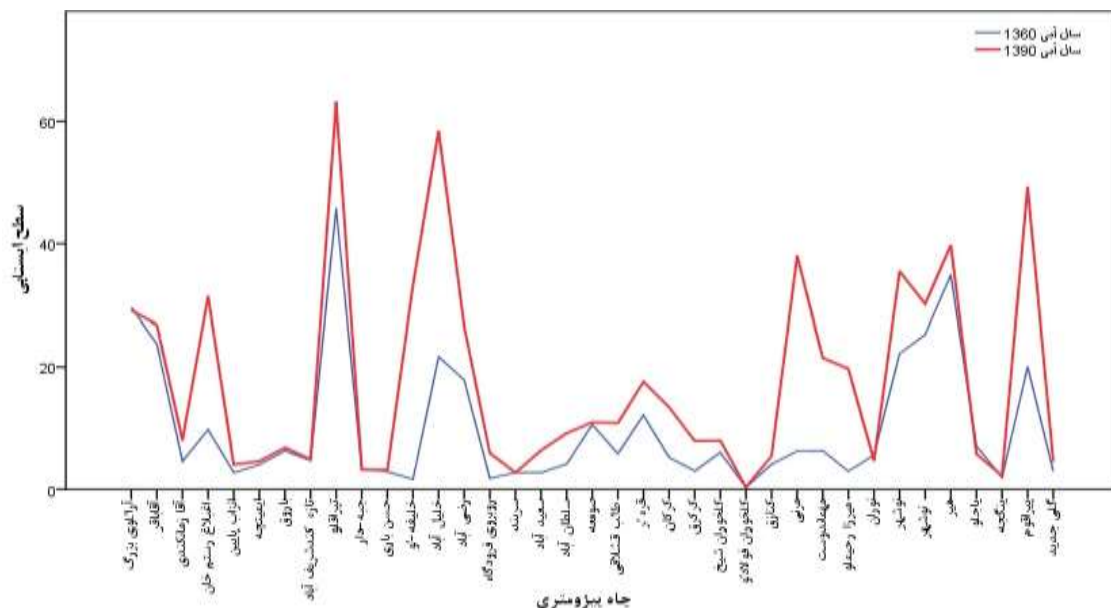


شکل ۱۱: نقشه ی نهایی افت سطح ایستابی برای سال آبی ۱۳۶۰.



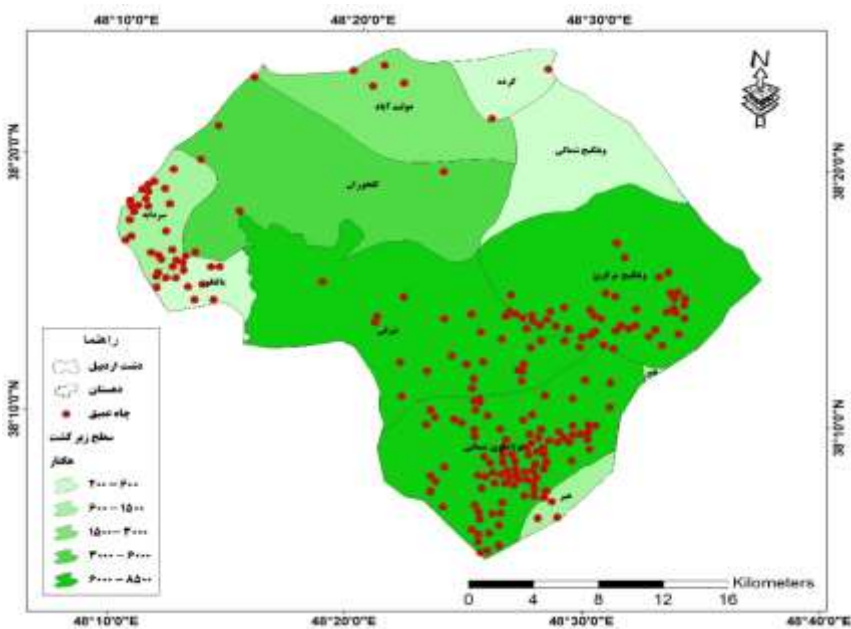
شکل ۱۲: نقشه ی نهایی افت سطح ایستابی برای سال آبی ۱۳۹۰.

شکل شماره ۱۳ با توجه به جدول شماره ۲، تغییرات میانگین سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری دشت را در سال‌های ۶۰ و ۹۱ به وضوح نشان می‌دهد. میانگین افت سطح ایستابی برای دو دوره آماری ۸/۳۴ متر است که در شکل شماره ۱۳ می‌توان افت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت اردبیل را بین دو دوره آماری مشاهده کرد.



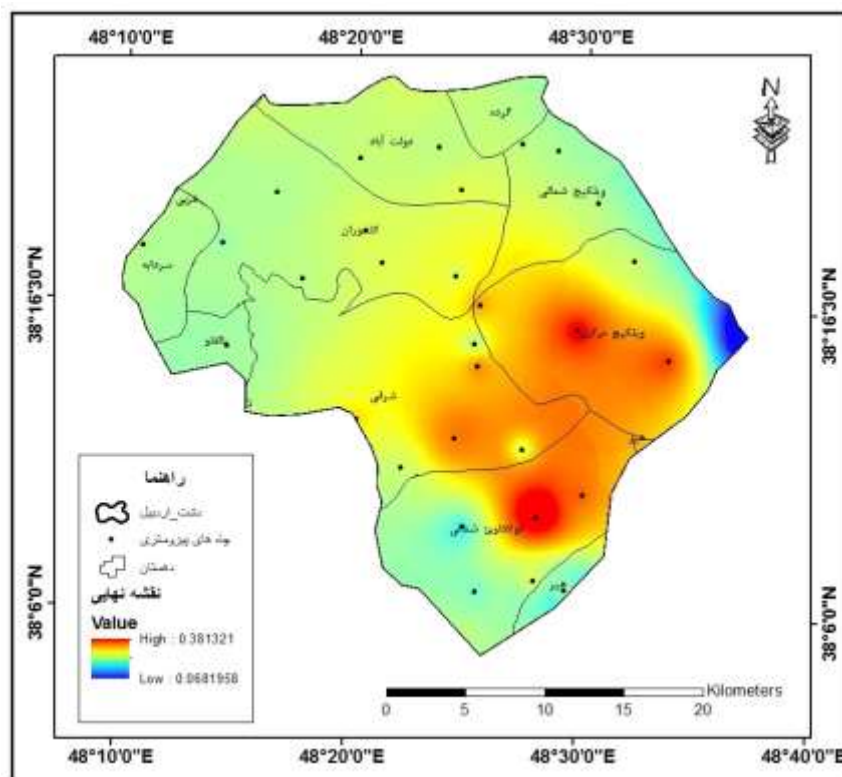
شکل ۱۳: تغییرات میانگین سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری دشت اردبیل.

در ادامه اشکال شماره ۱۴ و ۱۵ آورده شده است. در شکل شماره ۱۴ وضعیت سطح زیر کشت محصولات در محدوده دشت و هم چنین موقعیت چاه‌های عمیق در این محدوده نشان داده شده است.



شکل ۱۴: موقعیت چاه‌های عمیق و سطح زیر کشت محصولات آبی.

شکل شماره ی ۱۵ نقشه نهایی وضعیت سطح ایستایی دشت اردبیل را نشان می دهد.



شکل ۱۵: نقشه‌ی نهایی وضعیت افت سطح ایستایی آب زیرزمینی دشت اردبیل.

همانطور که در توضیحات شکل شماره‌ی ۱۴ گفتیم، این شکل مجموع سطح زیر کشت محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی و علوفه را برای دهستان‌های اردبیل نشان می‌دهد. همچنین، در این شکل، چاه‌های عمیق موجود در سطح دشت اردبیل به نمایش در آمده است. مطابق این شکل، ملاحظه می‌گردد که بیشترین تراکم چاه عمیق به ترتیب در فولادلوی شمالی، ویلیکیج مرکزی و شرقی است. علاوه‌براین، بیشترین میزان سطح زیر کشت مربوط به این سه دهستان است. به تبع وجود این عوامل، میزان برداشت از آب زیرزمینی نیز به شدت بالا می‌رود که خود یکی از عوامل بسیار مهم دخیل در وخامت اوضاع این قسمت از آبخوان دشت است. نقشه‌ی نهایی میزان افت سطح ایستایی دشت اردبیل با استفاده از اعمال روش‌های مختلف درون‌یابی و نیز رتبه‌بندی و وزن‌دهی، پس از کسرکردن و استاندارد و فازی کردن دو نقشه‌ی سطح ایستایی سال ۶۰ و ۹۰ به دست آمد (شکل ۱۵). با توجه به شکل شماره‌ی ۱۵ به خوبی می‌توان میزان افت و محل افت شدید را در سطح ایستایی آب زیرزمینی دشت اردبیل مشاهده کرد. مطابق با شکل شماره‌ی ۱۱ و ۱۲ می‌توان گفت که وضعیت دهستان فولادلوی شمالی و ویلیکیج مرکزی در حالت بحران قرار دارد و دهستان شرقی نیز در آینده‌ای نزدیک به سمت بحران پیش می‌رود. مطابق با شکل شماره‌ی ۱۵ بیشترین افت سطح ایستایی مربوط به دهستان فولادلوی شمالی است.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل، کاهش تقریباً ۴۵ درصدی سطح ایستابی را در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۶۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهند، بیشینه‌ی سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری از ۴۵ متر در سال ۱۳۶۰ به بیش از ۷۰ متر در سال ۱۳۹۰ رسید که حاکی از وخامت اوضاع آبخوان دشت اردبیل است. سرانجام، با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده می‌توان گفت که دهستان‌های شرقی، ویلکیج مرکزی و فولادلوی شمالی بیشترین تغییرات را به‌لحاظ افت سطح آب زیرزمینی داشته‌اند. این نواحی قسمت‌های شرق و جنوب شرق دشت را شامل می‌شود. به‌علت مساعدبودن شرایط کشاورزی و بالابودن سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالا و تراکم چاه‌های عمیق حفرشده، برداشت از آب زیرزمینی فراوان است و میزان افت سطح آب زیرزمینی افزایش در حال کاهش است. دهستان شرقی نیز به سمت بحران پیش می‌رود و، در این بین، دهستان ویلکیج مرکزی (قسمت شرقی دشت) در معرض بیشترین خطر به‌لحاظ افت سطح ایستابی آبخوان نسبت به دو دهستان شرقی و ویلکیج مرکزی است. دهستان فولادلوی شمالی نیز (که دارای بیشترین تراکم چاه عمیق است) در آینده نزدیک با ادامه برداشت‌ها از چاه‌های عمیق موجود، به سمت کاهش شدید منابع آب زیرزمینی خواهد رفت.

منابع

- اصغری‌پور، محمدجواد. ۱۳۹۲. *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، چ ۱۱.
- حبشی، هاشم؛ سید محمد حسینی و جلال محمدی. ۱۳۸۵. ارزیابی دقت و صحت روش‌های درون‌یابی در تخمین ازت خاک با استفاده از GIS. *سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی*، قشم.
- دانشور وثوقی، فرناز و یعقوب دین‌پژوه. ۱۳۹۰. خشکسالی و تأثیر آن بر روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل در دو دهه‌ی اخیر. *ششمین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران*. سمنان. دانشگاه سمنان.
- شمسی‌سوسهباب، رضا و محمدتقی ستاری. ۱۳۹۳. تخمین سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. *پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران*، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه.
- غفاری، حسین؛ علی رسول‌زاده؛ مجید رئوف و اباذر اسمعیلی‌عوری. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی آبخوان دشت اردبیل طی ده سال آبی دوره‌ی آماری (۸۱-۸۰ تا ۹۰-۸۹)، *دومین کنگره‌ی ملی کشاورزی ارگانیک*، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- غفاری، حسین؛ علی رسول‌زاده؛ مجید رئوف و اباذر اسمعیلی‌عوری. ۱۳۹۲. بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی در تهیه‌ی نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی با استفاده از ArcGIS در آبخوان دشت اردبیل، *دومین همایش ملی توسعه‌ی پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم*. شرکت هم‌اندیشان محیط زیست فردا، همدان.
- عیوضی، معصومه؛ ابوالفضل مساعدی؛ مهدی مفتاح‌هلقی و موسی حسام. ۱۳۸۸. مقایسه‌ی روش‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان گلستان. *دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راه‌کارهای مدیریت آن*، اصفهان.
- عیوضی، معصومه و ابوالفضل مساعدی. ۱۳۹۰. بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آماری. *نشریه‌ی آب و خاک* ۱: ۵۳-۶۴.

غریب‌نیا، فاضل؛ سید یاسر حکیم دوست و یدالله بلیانی. ۱۳۹۱. *راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی شهری، روستایی و محیطی*، چاپ اول، انتشارات آزاد پیم، تهران.

فرجی سبکبار، حسنعلی و قاسم عزیزی. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه‌ی موردی: الگوسازی بارندگی حوزه‌ی کارده‌ی مشهد. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۵۸: ۱-۱۵.

قهرودی‌تالی، منیژه و ام‌سلمه بابایی. ۱۳۸۴. *درآمدی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی*، انتشارات پیام نور، تهران.

مالچوفسکی، یاجک. ۱۳۹۰. *سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری*. ترجمه‌ی اکبر پرهیزگار و عطا غفاری‌گیلانده، چاپ دوم، انتشارات سمت، تهران.

نیکبخت، صادق و معصومه دلبری. ۱۳۹۲. برآورد سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. *نشریه‌ی آب و توسعه پایدار*، ۱: ۴۹-۵۶.

Apaydin H.; Sonmez K. and Yildirim E. ۲۰۰۴. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Journal of Climate Research*, ۲۸: ۳۱-۴۰.

Ben-Jemaa F. and Marino M.A. ۱۹۹۰. Optimization of a groundwater well monitoring network. International Conference on Optimizing the Resources for Water Management. Fort worth, Texas, April ۱۷-۲۱, pp. ۱۰-۱۵.

Cockings S.; P. F. Fisher, and M. Langford. ۱۹۹۷. Parameterization and Visualization of the Errors in Areal Interpolation. *Geographical Analysis*, ۲۹: ۳۱۴-۳۲۸.

Goovaert, P. ۱۹۹۹. Performance Comparison of Geostatistical Algorithms for Incorporating Elevation into the Mapping of Precipitation. *GeoComputation Proceedings*.

Johnston K.; Ver Hoef J.M.; Krivoruchko K. and Lucas N. ۲۰۰۱. Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.

Magnus E.; and M. Clyde. ۲۰۱۰. *Optimal Control, Statistics and Path Planning*. Princeton University Press.

Azpurua, M. and Dos Ramos, K. ۲۰۱۰. Progress in Electromagnetics. *Research Magazine*, ۱۴: ۳۵-۱۴۵.

McKenna S.A. ۲۰۰۲. Simulating geological uncertainty with imprecise data for groundwater flow and advective transport modelling. pp. ۱-۱۵.

Philip, G. M., and Watson D. F. ۱۹۸۲. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. *Australian Petroleum Exploration Association Journal* ۲۲: ۲۰۵-۲۱۲.

Siska, .P. and I-Kuai Hung .(۲۰۰۱). Assessment of kriging Accuracy in the GIS Environment. <http://gis.esri.com/userconf/proc\professional/papers/pap۲۸۰/p۲۸۰.htm>.

Robinson, T.P. and Metternicht, G. ۲۰۰۶. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, ۵(۲): ۹۷-۱۰۸.

Watson, D. F. and Philip, G. M. ۱۹۸۵. A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation. *Geoprocessings*, ۲: ۳۱۵-۳۲۷.

Yan, Xin. ۲۰۰۹. *Linear regression analysis: theory and computing*. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd

YueSun, A. ; Shaozhong, A. ; Kang, F. Li and Zhang L. ۲۰۰۹. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling and Software*, ۲۴: ۱۱۶۳-۱۱۷۰.