

تعیین مناطق فرونشست احتمالی دشت اردبیل با استفاده از GIS

ابوالقاسم امیراحمدی^۱
نسیم معالی اهری^۲
طیبه احمدی^۳

چکیده

دشت اردبیل با مساحت تقریبی ۱۰۹۷/۲۳ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ۳۸°۲۷' تا ۳۸°۵' عرض شمالی و ۴۸°۹' تا ۴۸°۳۷' طول شرقی، یک دشت میانکوهی محسوب می‌شود، که طی سال‌های اخیر با افت چشم‌گیر آب‌های زیرزمینی مواجه شده است. جهت بررسی تغییرات به‌وجود آمده در حجم آبی آبخوان و میزان افت آب‌های زیرزمینی در کل دشت از داده‌های آماری چاه‌های مشاهده‌ای استفاده و با بهره‌گیری از فزار ARCGIS، نقشه‌های ایزوپیز و پهنه افت در منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. نقشه‌های ترسیمی نشان دادند که بیشترین میزان افت آب، در قسمت جنوب و جنوب‌شرقی منطقه اتفاق افتاده است. بر اساس نقشه پهنه‌بندی تهیه شده، ۱۴ درصد از مساحت دشت در پهنه خیلی زیاد افت، ۲۹/۷۳ درصد در پهنه زیاد، ۲۶/۶ درصد در پهنه متوسط، ۱۷/۳۸ درصد در پهنه کم و ۱۲/۲۹ درصد در پهنه خیلی کم افت قرار می‌گیرد. با تلفیق لایه‌های میزان بارش، شیب، هیدروژئولوژی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی و عوامل انسانی در محیط GIS، نقشه پیش‌بینی مناطق افت آب‌های زیرزمینی در آینده به روش کوکریجینگ نقطه‌ای تهیه گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین احتمال فرونشست دشت اردبیل در آینده به دلیل برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی در قسمت جنوب‌شرق و غرب اتفاق خواهد افتاد.

واژگان کلیدی: دشت اردبیل، سوپیدانس، پهنه‌بندی افت، ARC GIS.

1- Email: amirahmadi1388@gmail.com.

2- Email: nasimmoalياهو.com.

3- Email: ahmaditayebe39@yahoo.com.

۱- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری.

۲- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

۳- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

مقدمه

بنابه تعریف یونسکو فرونشست یا سوبسیدانس^۱ عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ و کوچک روی می‌دهد. به‌طور معمول این اصطلاح به حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد، گفته می‌شود (طاهری تیزرو، ۱۳۸۷: ۸۷). می‌توان گفت فرونشینی فرآیندی است طبیعی که یکی از مخاطرات محیطی و از پدیده‌های مخاطره‌آمیز زمین‌شناسی می‌باشد، و بیشتر در اثر فعالیت‌های انسانی همچون تخلیه درازمدت آب، نفت و گاز از مخازن زیرزمینی و یا استخراج از معادن زیرزمینی تشدید می‌شود (وانگ، ۲۰۰۸ و آل‌خمس و همکاران، ۱۳۸۵؛ خالدی، ۱۳۸۰). استخراج مایعات به‌ویژه آب و نفت از مهم‌ترین علل فرونشینی سطح زمین است (کوک و همکار، ۱۳۷۷: ۲۴۸). هنگامی که سفره آبدار تحت بهره‌برداری قرار می‌گیرد، نیروهای متعادل‌کننده سفره آبدار در اثر تخلیه آب زیرزمینی دچار تغییر می‌گردند و زمین نشست می‌کند و سرانجام فرونشست رخ می‌دهد (آل‌خمس و همکاران، ۱۳۸۵). افزایش روزافزون برداشت از منابع آب زیرزمینی، علی‌الخصوص از حوضه‌هایی که با رسوبات تحکیم نیافته آبرفتی یا نهشته‌های کم‌عمق دریایی انباشته شده‌اند منجر به فرونشست سطح زمین و یا به عبارتی نشست عمومی زمین می‌گردد (حسین‌زاده و همکار، ۱۳۹۰: ۹۷). این پدیده در اکثر دشت‌های کشور به دلیل افت شدید و چشمگیر آبخوان‌ها مشاهده می‌شود، که از یک طرف، بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان‌ها منجر به پایین رفتن سطح ایستابی شده و از طرف دیگر منجر به ایجاد فرونشست منطقه‌ای در برخی از مناطق ایران گردیده، و خسارت‌های مالی و جانی راهم در مناطق مسکونی و هم در زمین‌های زراعی منجر شده است. از جمله محققانی که پدیده فرونشست را در ایران مورد بررسی قرار داده‌اند می‌توان به پژوهش‌های: زارع‌مهرجردی (۱۳۹۰)، شریف‌زاده و همکاران (۱۳۸۹)، رضایی و همکاران (۱۳۸۸)، توفیق و همکاران (۱۳۸۸)، یمانی و همکاران (۱۳۸۸)، مجدی و همکاران (۱۳۸۵)، امیری (۱۳۸۴)، طالب بیدختی (۱۳۸۳) و... اشاره نمود. در انتها الیه خاوری فلات آذربایجان و در بطن توده‌های کوهستانی تالش، سبلان و بزغوش چاله زمین‌ساختی هموار و

1- subcidence

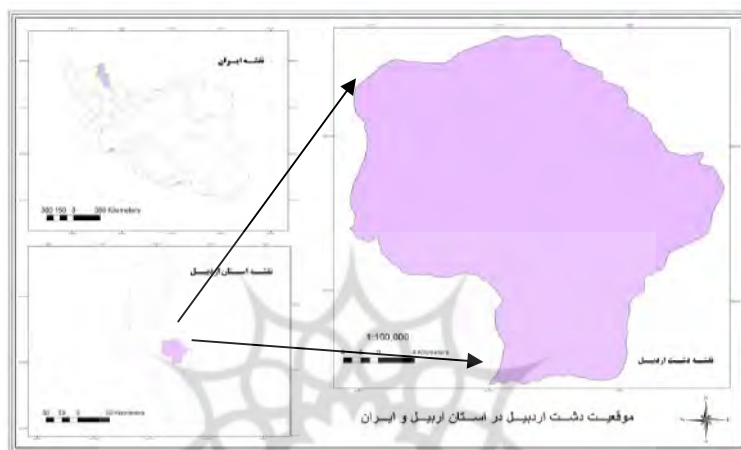


مرتفعی با عنوان دشت اردبیل جای‌گزیده که از ویژگی‌های مرفولوژیکی منحصر به فردی برخوردار است (صمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۵) این دشت با مساحت حدود ۱۰۰ هزار هکتار از نقاط حاصل‌خیز ایران به‌شمار می‌آید و بزرگ‌ترین دشت حاصل‌خیز حوضه آبخیز قره‌سو می‌باشد که با داشتن منابع آبریززمینی غنی و خاک مرغوب، در نیم‌قرن اخیر همواره مورد توجه بوده و محل مناسبی جهت تأمین آب شرب و کشاورزی بوده است. در این دشت قبل از دهه ۵۰ و ۶۰ تعداد چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق محدود، و چاه‌های عمیق نیز در مقایسه با چاه‌های دستی یا نیمه‌عمیق انگشت‌شمار بوده‌اند. در نتیجه برداشت از منابع آب زیرزمینی در حد محدود انجام می‌گرفت. با رونق کشاورزی از دهه ۶۰ به بعد، و به تبع آن افزایش بی‌رویه برداشت از سفره مذکور از سال ۶۳، منبع یاد شده شروع به افت نموده و تداوم این وضعیت طی سال‌های بعدی باعث بحرانی‌تر شدن این دشت گردید. به‌طوری که در سال ۱۳۶۸ حدود دو سوم دشت و سپس در سال ۱۳۸۷ به‌منظور کنترل روند قسمتی از افت ایجاد شده، کل دشت از سوی وزارت نیرو ممنوع اعلام گردید (گزارش سازمان آب منطقه‌ای اردبیل، ۱۳۸۸: ۹). این روند احتمال فرونشست را در این دشت شدت بخشیده است به‌خصوص این‌که افزایش جمعیت و تراکم شهرنشینی نیز عاملی دیگر بر شدتبخشی این پدیده به‌حساب می‌آید. در این پژوهشبه شناسایی مناطق فرونشینی دشت و مستعد فرونشینی در آینده و تعیین عوامل مؤثر بر آن جهت استفاده پایدار از منابع آب و خاک پرداخته شده است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دشت اردبیل با مساحت تقریبی ۱۰۹۷/۲۳ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی $5^{\circ} 38'$ تا $27^{\circ} 38'$ عرض شمالی و $9^{\circ} 48'$ تا $37^{\circ} 48'$ طول شرقی، به‌عنوان دشت میان‌کوهی در شمال غربی ایران و در شرق فلات آذربایجان جای گرفته است (شکل ۱). این دشت در قسمت میانی استان اردبیل قرار دارد و توسط ارتفاعات بلند محصور گشته و تنها راه خروجی آن از طرف شمال غربی دشت و از طریق رودخانه قره‌سو می‌باشد. ارتفاع کلی دشت بین ۱۵۰۰-۱۳۰۰ متر و میزان شیب در این دشت بین ۰ تا ۶۰ درصد متغیر است. کمترین درصد شیب منطقه را قسمت‌های میانی دشت دربرمی‌گیرد که بین ۰ تا ۲ درصد بوده و به‌سمت اطراف

بر میزان شیب آن افزوده می‌شود. متوسط بارش سالانه در این منطقه در حدود ۲۹۶ میلی‌متر و دمای بیشینه و کمینه ثبت شده در آن بین $+40$ تا -38 درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل

دشت اردبیل به لحاظ ساختمان زمین‌ساختی جزئی از واحد زمین‌ساختی البرز غربی - آذربایجان به‌شمار می‌آید. سازندهای مربوط به ائوسن، میوسن و پلیوسن به صورت محدودی در حاشیه دشت برونزد یافته‌اند و بیشترین قسمت آن را رسوبات دوره کواترنری به صورت پادگانه‌های قدیمی، آبرفت‌های پادگانه‌ای، کوهپایه‌های هموار، رسوبات آبرفتی جوان و مخروط افکنه‌هایی با ضخامت ۱۲۰ متر پوشانده است (باباخانی و همکار، ۱۳۶۷).

مواد و روش‌ها

مواد: جهت مطالعه پدیده سوبسیدانس احتمالی از مواد زیر استفاده شد.

- آمار میزان عمق و سطح تراز آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل در دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۸۸ مربوط به سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل.

- آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اردبیل در دوره آماری ۲۶ ساله (۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵).



- نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، شیت‌های اردبیل، نمین، کیوی، نیر، آستارا.
- نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، شیت‌های اردبیل و آستارا.
- نقشه‌های پوشش گیاهی و خاکمربوط به اداره کل منابع طبیعی استان اردبیل.
- نقشه پراکنش صنایع مربوط به استانداری اردبیل.

جهت تهیه نقشه‌های ایزوپیز از روش کریجینگ (kriging) استفاده گردید، که در آن داده‌های سطح آب زیرزمینی به صورت پرونده‌های XYZ مورد استفاده قرار گرفت؛ x و y مختصات صفحه‌ای نقاط اندازه‌گیری (چاه‌های مشاهده‌ای) و z ارتفاع سطح ایستابی یا پتانسیومتری نسبت به یک سطح مبنا (معمولاً میانگین سطح دریا) در نظر گرفته می‌شود. بعد از طبقه‌بندی سال‌های مورد نظر در نرم‌افزار EXCEL، داده‌ها وارد محیط GIS شد و با روی هم انداختن مکان قرارگیری چاه‌ها به‌رویی متحده مورد نظر براساس سطح آب چاه‌های پیژومتری درون‌یابی صورت گرفت، نقشه ایزوپیز دشت اردبیل برای سال‌های ۵۷-۶۷ و ۷۷ و ۸۷ تهیه و در محیط GIS با تلفیق این نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل به‌دست آمد. AHP یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصی است. این فن را توماس ال. ساعتی (T.L.Saaty) در دهه ۷۰ میلادی بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی ارائه کرد (ساعتی، ۱۹۸۰). همان‌گونه که از نام این تکنیک بر می‌آید، مسأله تصمیم‌گیری از طریق تشکیل یک سلسله‌مراتب حل می‌شود. که از سه سطح تشکیل می‌شود؛ سطح اول هر درخت بیان‌کننده هدف تصمیم‌گیرنده است. که در این پژوهش هدف، بررسی و تعیین نقاطی از دشت اردبیل می‌باشد که بر اثر برداشت آب زیرزمینی دچار فرونشست شده و در آینده با آن مواجه می‌شوند. سطح آخر هر درخت نیز بیان‌کننده گزینه‌هایی است که با همدیگر رقابت می‌کنند و مقایسه می‌شوند و هدف تصمیم‌گیرنده در نهایت تعیین اهمیت نسبی این گزینه‌ها به‌صورت وزن‌های عددی می‌باشد. سطح میانی این درخت که مهم‌ترین سطح آن می‌باشد؛ نشان‌دهنده معیارهای است که بر اساس آن‌ها گزینه‌های رقیب مقایسه می‌شوند، این سطح می‌تواند

خود از چندین لایه تشکیل شود. فرآیند AHP مستلزم مقایسات زوجین گزینه‌ها بوده و این مقایسات نیز بر اساس ارائه یک جدول مقایسات صورت می‌گیرد. شاخص‌ها یا سنجه‌های تصمیم‌گیری در این پژوهش به‌ترتیب شامل: هفت شاخص هیدرولوژی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و عوامل انسانی به‌عنوان عوامل سطح ۱ در نظر گرفته شده‌اند و عوامل سطح ۲ (زیرشاخص‌ها) را شاخص‌هایی چون آبراهه‌های اصلی و فرعی؛ سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آتشفشانی؛ اشکال تراکمی و فرسایشی، خاک‌های عمیق و کم‌عمق، اراضی کشاورزی، جنگل و مرتع، چاه‌ها و صنایع شهری را شامل می‌شوند. جهت عملیات وزن‌دهی فاکتورها بعد از بازدید میدانی از منطقه، وزن هر کدام از عوامل مؤثر بر فرونشست زمین در دشت اردبیل را با توجه به درجه اهمیت آنها بر اساس روش AHP تعیین گردید. پس از تعیین اولویت هر یک از شاخص‌های سطح ۱ و ۲؛ مراحل زیر انجام شد.

- مقایسات زوجی: در این مرحله، وزن‌دهی به جفت جفت شاخص‌ها صورت می‌گیرد و دو به دو مورد مقایسه قرار می‌گیرند. مقایسه‌های زوجی در یک ماتریس $K \times K$ (در مورد مثال ما 7×7) ثبت می‌شود. مقایسه زوجی به‌صورت ارزش‌گذاری عنصر سطر نسبت به عنصر ستون صورت می‌گیرد و برای ارزش‌گذاری نیز معمولاً از یک مقیاس فاصله‌ای از ۱ تا ۹ استفاده می‌شود. هر چه مقدار ارزش داده شده بیشتر باشد نشان‌دهنده اهمیت و ارجحیت بیشتر عنصر سطری به عنصر ستونی است. به‌طوری که ارزش ۹ بیانگر کاملاً مهم‌تر و ارزش ۱ بیانگر ارجحیت و اهمیت یکسان است (جدول ۱). البته ماتریس مقایسه‌ای AHP یک ماتریس معکوس (Reciprocal matri) است. یعنی اگر ارزش مقایسه‌ای عنصر سطری a نسبت به عنصر ستونی b ، معادل ۹ باشد، ارزش مقایسه‌ای عنصر سطری b نسبت به عنصر ستونی a برابر $1/9$ خواهد بود (کرم، ۱۳۸۷: ۴۴). جدول شماره ۲ موضوع را بهتر نشان می‌دهد.

- وزن‌دهی به گزینه‌ها: پس از تشکیل ماتریس که در جدول شماره ۲ ارائه شده باید وزن نسبی شاخص‌ها تصمیم‌گیری شود برای این‌کار میانگین وزنی سطرهای جدول شماره ۳ محاسبه گردید: در جدول شماره ۴ شاخص‌های مربوط به سطح ۲ مانند شاخص‌های سطح ۱ محاسبه شده و وزن نسبی هر شاخص مطابق جدول شماره ۵ به‌دست آمد. جدول ۶ مربوط به ماتریس سطح سوم می‌باشد که یک ماتریس دآوری بوده و میزان تأثیر را بر



اساس خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم نشان می‌دهد. در جدول شماره ۷ نیز وزن نسبی ماتریس سطح سوم محاسبه شده است.

– **به دست آوردن وزن عمومی لایه‌ها:** در این مرحله از مجموعه محاسباتی استفاده می‌شود که به نام اصل ترکیب سلسله‌مراتبی ساعتی معروف است. نتیجه این محاسبات یک «بردار اولویت» در اختیار می‌گذارد که تمام داورهای کلیه سطوح سلسله‌مراتب را در بردارد. با در دست داشتن وزن شاخص‌ها و وزن بلوک‌ها در جداول شماره ۲ تا ۷ وزن «اولویت ترکیبی» هر یک از مناطق به دست می‌آید. بنابراین وزن عمومی هر یک از بلوک‌ها طبق جدول شماره ۸ محاسبه شد و در نهایت وزن‌های نهایی هر معیار در محیط GIS در هر یک از لایه‌های نقشه‌ای اعمال و در مرحله بعد با عملیات همپوشانی، امتیازهای همه لایه‌های نقشه‌ای با هم جمع شده و نقشه نهایی مجموع امتیازها تهیه گردید. در مرحله آخر نقشه نهایی به پنج طبقه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شد. همچنین جهت تهیه نقشه فرونشست احتمالی در آینده ابتدا لایه‌های مربوط به افزایش یا تأثیر پدیده‌های: لایه تراکم زهکشی، لیتولوژی، ژئومورفولوژی، گسل، خاک، پوشش گیاهی، نقاط شهری و صنعتی در محیط GIS تهیه گردید و به روش AHP به هر کدام از عناصر و پدیده‌ها با توجه به درجه اهمیت و میزان تأثیراتشان وزن داده شد. بیشترین وزن به لایه‌ای تعلق گرفت که بیشترین نقش را در فرونشست حوضه داشته است (عظیم‌پور و همکاران به نقل از قهرودی، ۱۳۸۸: ۷۷).

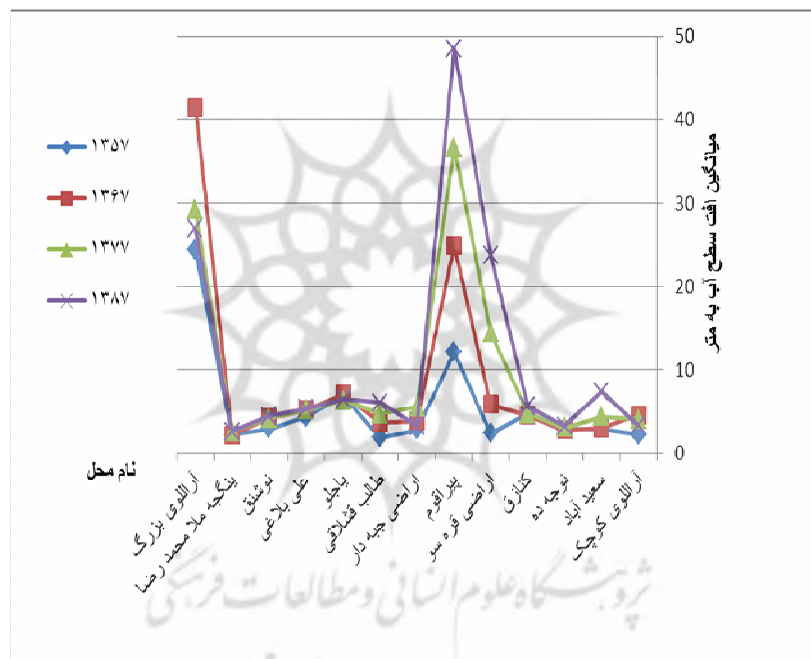
جدول (۱) نحوه ارزش‌گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی

| مقدار ارزش (امتیاز) | درجه اهمیت در مقایسه زوجی |
|---------------------|------------------------------|
| ۱ | با اهمیت و ارجحیت یکسان |
| ۳ | کمی مرجح یا کمی مهم تر |
| ۵ | ارجحیت زیاد |
| ۷ | ارجحیت خیلی زیاد |
| ۹ | کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر |

ارقام مابین امتیازهای فوق ارزش بینایی دارند. مأخذ: (قدسی‌پور، ۱۳۸۱: ۱۴)

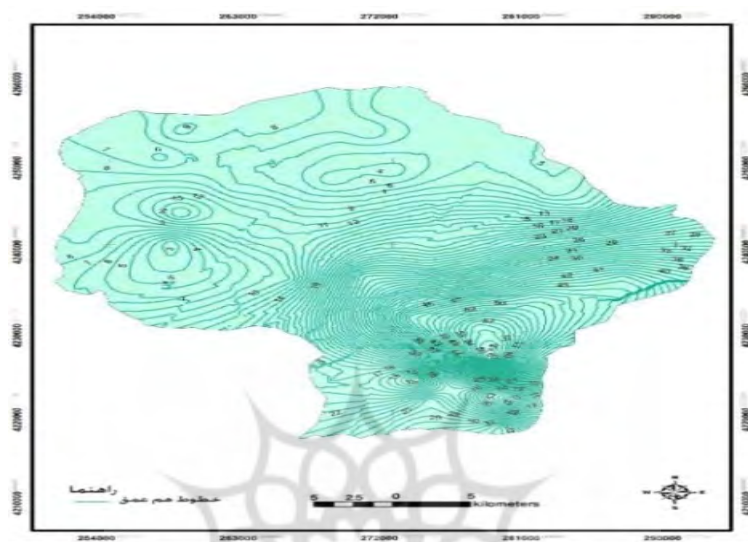
بحث

این نقشه‌ها براساس داده‌های آماری سازمان آب منطقه‌ای اردبیل، برای سال‌های ۵۷، ۶۷، ۷۷ و ۸۷ روی نقشه پراکنش چاه‌های پیژومتریک منطقه مورد مطالعه و به کمک روش کریجینگ، درون‌یابی صورت گرفت و خطوط هم‌عمق برای سال‌های آماری ترسیم گردید (شکل ۳).

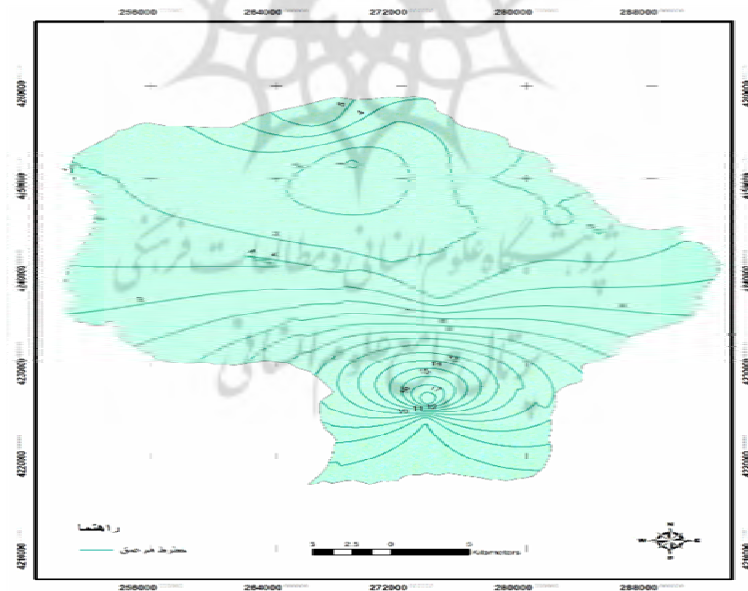


شکل (۲) نوسانات سطح آب چاه‌های پیژومتریک دشت اردبیل در دوره آماری

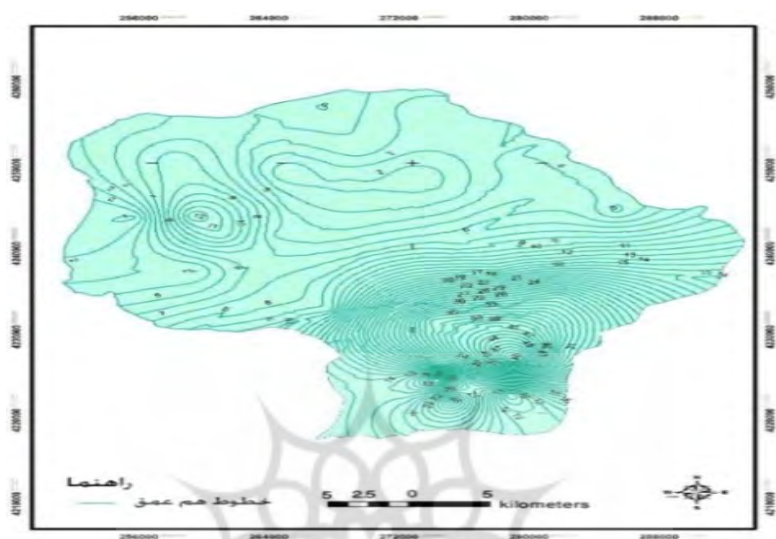
میزان نوسانات سطح آب چاه‌های پیژومتریک نشان‌دهنده این امر است که میزان نوسانات سطح آب در چاه‌های محدوده پیراقوم و آراللوی بزرگ در قسمت جنوبی دشت فوق‌العاده زیاده بوده است، به طوری که در پیراقوم میزان افت سطح آب از ۱۲/۱۳ متر در سال ۵۷ به ۴۸/۵۳ متر در سال ۸۷ رسیده است (شکل ۲).



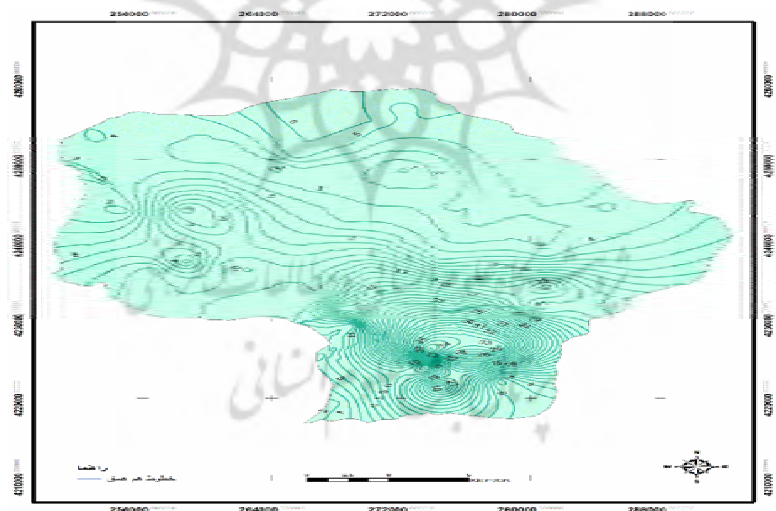
(۱۳۵۷)



(۱۳۶۷)



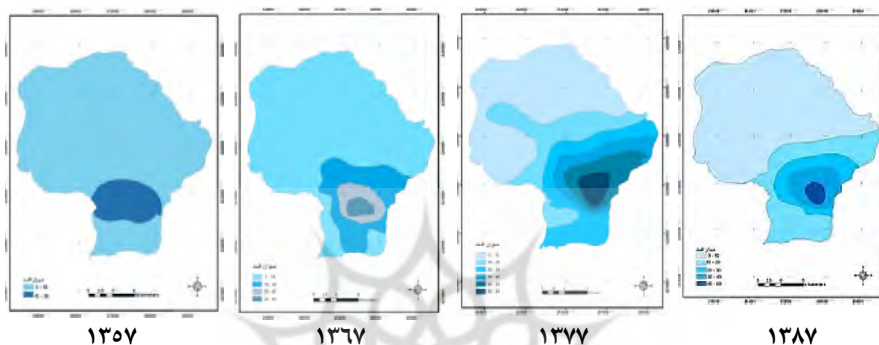
(۱۳۷۷)



(۱۳۸۷)

شکل (۳) نقشه ایزوپیز آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل طی دوره آماری

با ترسیم نقشه‌های ایزویز و مشخص شدن میزان افت آب‌های زیرزمینی (شکل ۳)، نقشه وضعیت افت آب‌های زیرزمینی ترسیم گردید که در آن میزان افت آب‌ها را بر اساس سال‌های انتخابی نشان می‌دهد (شکل ۴).



شکل (۴) وضعیت افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل طی دوره آماری

مقایسه نقشه‌ها نشان می‌دهد که میزان افت آب‌های زیرزمینی در سال ۱۳۵۷ از حداکثر ۲۰ به ۶۰ متر رسیده و بیشترین میزان افت در قسمت جنوب و جنوب‌شرقی منطقه اتفاق افتاده است.

پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل

جدول (۲) ماتریس سطح ۱

| انسانی | زمین‌شناسی | پوشش گیاهی | خاک | ژئومورفولوژی | لیتولوژی | هیدرولوژی | عوامل سطح ۱ |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| ۶ | ۵ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | هیدرولوژی |
| ۳ | ۷ | ۶ | ۳ | ۲ | ۱ | $\frac{1}{3}$ | لیتولوژی |
| ۴ | ۶ | ۵ | ۲ | ۱ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | ژئومورفولوژی |
| ۵ | ۵ | ۴ | ۱ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | خاک |
| ۷ | ۱ | ۱ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3}$ | پوشش گیاهی |
| ۹ | ۱ | ۱ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{5}$ | زمین‌شناسی |
| ۱ | $\frac{1}{9}$ | $\frac{1}{7}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4}$ | $\frac{1}{5}$ | انسانی |
| ۳۵ | ۲۵/۱۱ | ۲۰/۱۴ | ۸/۶۵ | ۶/۱۱ | ۵/۴ | ۲/۹۶ | جمع |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-------|-----|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|----|---|---|---|
| اراضی کشاورزی | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| مرتع و جنگل | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| چاه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| شهر و صنایع | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| جمع | ۵/۴ | ۱۲/۱۷ | ۹/۷ | ۲۲/۶ | ۲۶/۰۲ | ۲۶/۲ | ۳۱/۳ | ۲۸/۰۲ | ۲۶/۷۶ | ۳۵/۳۴ | ۵۸/۵ | ۵۳ | | | |

جدول (۵) محاسبه وزن نسبی عوامل سطح (۲)

| عوامل سطح ۲ | آبراهه اصلی | آبراهه فصلی | سنگ‌های رسوبی | سنگ‌های دگرگونی و آتشفشانی | اشکال تراکمی | اشکال فرسایشی | خاک عمیق | خاک کم عمق | اراضی کشاورزی | مرتع و جنگل | چاه | شهر و صنایع | وزن نسبی |
|----------------------------|-------------|-------------|---------------|----------------------------|--------------|---------------|----------|------------|---------------|-------------|-------|-------------|----------|
| آبراهه اصلی | ۰/۱۸ | ۰/۵۷ | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۱۱ | ۰/۱۹ | ۰/۰۳۱ | ۰/۲۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۲۸ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۷ |
| آبراهه فصلی | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۸۲ | ۰/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۲۶ | ۰/۱۵ | ۰/۲۵ | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۷۴ | ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵۶ | ۰/۳۱ |
| سنگ‌های رسوبی | ۰/۱۸ | ۰/۰۱۶ | ۰/۱ | ۰/۳۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۱ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۱ | ۰/۰۲۸ | ۰/۱ | ۰/۱۵ | ۰/۳۱ |
| سنگ‌های دگرگونی و آتشفشانی | ۰/۰۲ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۳۴ | ۰/۰۷۶ | ۰/۲۲ | ۰/۰۳۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۹ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۱ |
| اشکال تراکمی | ۰/۰۵ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۰۴۸ | ۰/۰۳۸ | ۰/۳۴ | ۰/۰۳۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۸ | ۰/۰۸۴ | ۰/۱۵ | ۰/۱۳ | ۰/۱ |
| اشکال فرسایشی | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۳۸ | ۰/۲۲ | ۰/۰۷۱ | ۰/۱۱ | ۰/۱۶ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۶ |
| خاک عمیق | ۰/۱۸ | ۰/۰۰۹۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۰۵۳ | ۰/۰۳۱ | ۰/۱۷ | ۰/۱۱ | ۰/۰۵۶ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ |
| خاک کم عمق | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۷۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۰۹ | ۰/۰۵ |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| اراضی کشاورزی | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۷۶ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۸۴ | ۰/۱ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۳ |
| مرتع و جنگل | ۰/۱۸ | ۰/۰۱۳ | ۰/۱ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۶۱ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۰۷۱ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۲۸ | ۰/۱۱ | ۰/۰۹ | ۰/۰۵ |
| چاه | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۴۲ | ۰/۰۰۵۹ | ۰/۰۰۳۹ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۱۷ |
| شهر و صنایع | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۲۶ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۰۵۳ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۵۱ | ۰/۰۰۷۱ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۵۶ | ۰/۰۰۸۵ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱ |

جدول (۶) ماتریس سطح سوم

| | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم |
|-----------|-----------|------|-------|----|
| خیلی زیاد | ۱ | ۵ | ۷ | ۹ |
| زیاد | ۰/۲ | ۱ | ۵ | ۷ |
| متوسط | ۰/۱۴ | ۰/۲ | ۱ | ۵ |
| کم | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ | ۰/۲ | ۱ |
| جمع | ۱/۴۵ | ۶/۳۴ | ۱۳/۲ | ۲۲ |

جدول (۷) وزن نسبی ماتریس سطح سوم

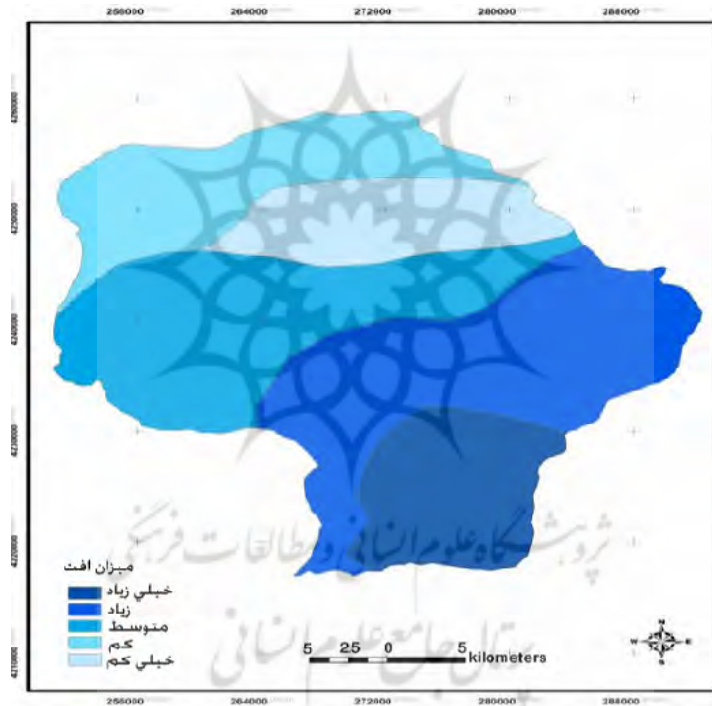
| | خیلی زیاد | زیاد | متوسط | کم | وزن نسبی |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| خیلی زیاد | ۰/۶۸ | ۰/۷۸ | ۰/۴۶ | ۰/۴۰ | ۰/۵۸ |
| زیاد | ۰/۱۳۷ | ۰/۱۵۷ | ۰/۵۳ | ۰/۴۲ | ۰/۲۳ |
| متوسط | ۰/۹۶۵ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۷۵ | ۰/۲۲۷ | ۰/۱ |
| کم | ۰/۰۷۵ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۳۵ |

جدول (۸) محاسبه وزن عمومی

| عوامل سطح ۱ | وزن نسبی | عوامل سطح ۲ | وزن نسبی | عوامل سطح ۳ | وزن نسبی | وزن عمومی |
|-------------|----------|--------------|----------|-------------|----------|-----------|
| هیدرولوژی | ۰/۲۹ | ابراهه فصلی | ۰/۱۳ | بسیار زیاد | ۰/۵۸ | ۰/۰۲۸ |
| | | | | زیاد | ۰/۲۳ | ۰/۰۱ |
| | | | | متوسط | ۰/۱ | ۰/۰۰۴ |
| | | | | کم | ۰/۰۳۵ | ۰/۰۱۷ |
| هیدرولوژی | ۰/۲۹ | ابراهه دائمی | ۰/۱۷ | بسیار زیاد | ۰/۵۸ | ۰/۰۲۸ |
| | | | | زیاد | ۰/۲۳ | ۰/۰۱ |
| | | | | متوسط | ۰/۱ | ۰/۰۰۴ |

| | | | | | | |
|---------|-------|------------|------|-----------------------|------|--------------|
| ۰/۰۰۱۳ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۲۶ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۱۳ | رسوبی | ۰/۳۵ | لیتولوژی |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۴ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۲ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۱ | دگرگونی و آتشفشانی | | |
| ۰/۰۰۰۸ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۳۵ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۱۲ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۱۶ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۱ | اشکال تراکمی | ۰/۲۸ | ژئومورفولوژی |
| ۰/۰۰۶۴ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۲۸ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۹ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۰۹ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۶ | اشکال فرسایشی | | |
| ۰/۰۰۰۳ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۱۶ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۱۴ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۷ | خاک عمیق | ۰/۳۵ | خاک |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۲۴ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۱ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۵ | خاک کم عمق | | |
| ۰/۰۰۰۴ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۶ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۳ | اراضی زراعی | ۰/۲۹ | پوشش گیاهی |
| ۰/۰۰۰۲ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۸۷ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۳ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۰۸ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۵ | جنگل ومرتع | | |
| ۰/۰۰۰۳ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |

| | | | | | | |
|----------|-------|------------|-------|-------------|------|--------|
| ۰/۰۰۰۳ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۱۷ | چاه‌ها | ۰/۳۴ | انسانی |
| ۰/۰۰۰۱۳ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۰۵ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۰۲ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |
| ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۵۸ | بسیار زیاد | ۰/۰۱ | شهر و صنایع | | |
| ۰/۰۰۰۰۷ | ۰/۲۳ | زیاد | | | | |
| ۰/۰۰۰۰۳ | ۰/۱ | متوسط | | | | |
| ۰/۰۰۰۰۱۱ | ۰/۰۳۵ | کم | | | | |

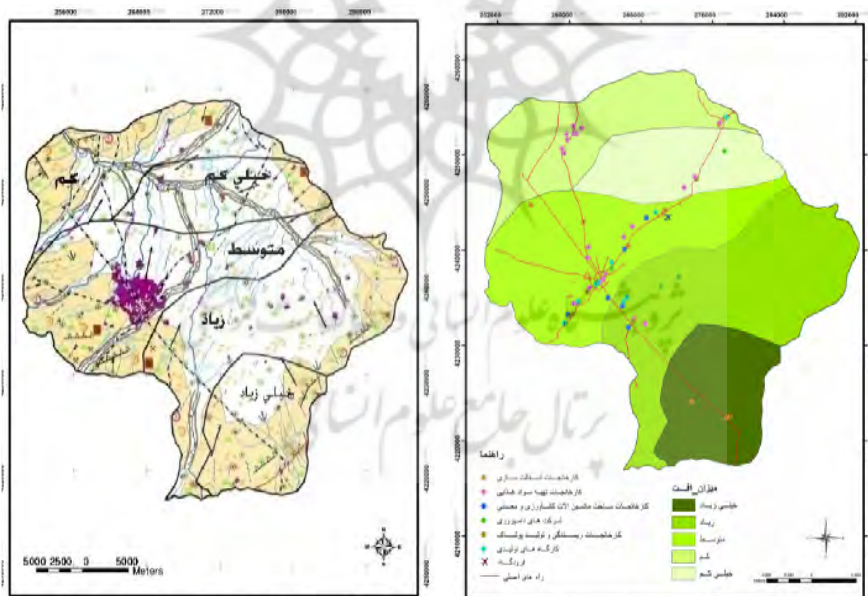


شکل (۶) پهنه‌بندی افت آب‌های زیرزمینی دشت اردبیل

نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد از مجموع $۱۰۹۷/۲۳$ کیلومترمربع وسعت دشت اردبیل، $۱۵۳/۶۵$ کیلومترمربع (۱۴ درصد) در پهنه خیلی زیاد افت، $۳۲۴/۱۴$ کیلومترمربع ($۲۹/۷۳$ درصد) در پهنه زیاد، $۲۹۱/۹۴$ کیلومترمربع ($۲۶/۶$ درصد) در پهنه متوسط، $۱۹۰/۶۹$

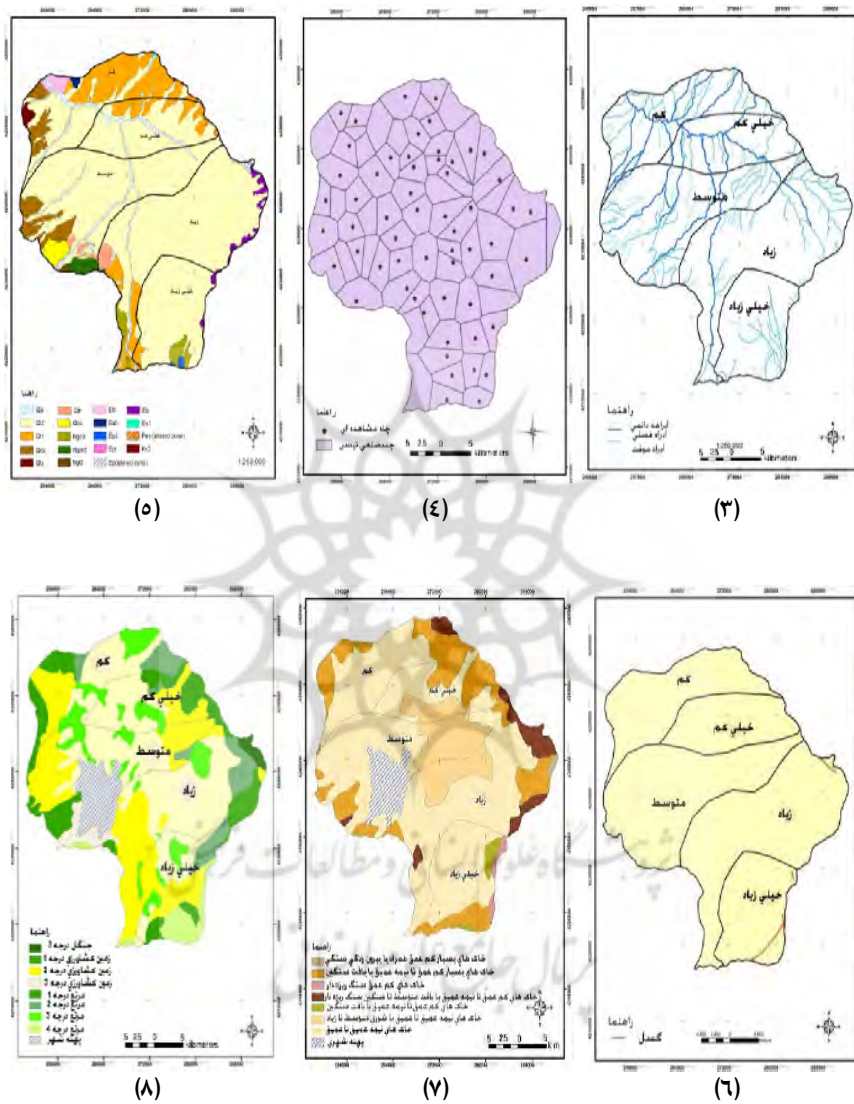
کیلومترمربع (۱۷/۳۸ درصد) در پهنه کم و ۱۳۴/۸۱ کیلومترمربع (۱۲/۲۹ درصد) در پهنه خیلی کم قرار می‌گیرد. مجموع پهنه‌های متوسط تا خیلی زیاد بیش از ۷۷۱/۷۳ کیلومترمربع یعنی در حدود (۷۰/۳۳) درصد وسعت دشت را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین با توجه به موارد مذکور، می‌توان گفت که آبخوان دشت اردبیل در مرحله بحرانی قرار دارد.

براساس بررسی‌های صورت گرفته در دشت اردبیل در حال حاضر در این دشت فرونشستی مشاهده نمی‌شود، اما احتمال وقوع این پدیده در آینده نزدیک با توجه به موارد بیان شده دور از انتظار نمی‌باشد. برای به‌دست آوردن پدیده فرونشست آینده دشت اردبیل لایه پهنه‌بندی را با هر کدام از لایه‌های: هیدرولوژی، زمین‌شناسی، گسل، خاک، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، پراکنش صنایع تلفیق نموده و سپس به تهیه نقشه پهنه‌بندی فرونشست آینده دشت اردبیل اقدام شد (شکل ۸).

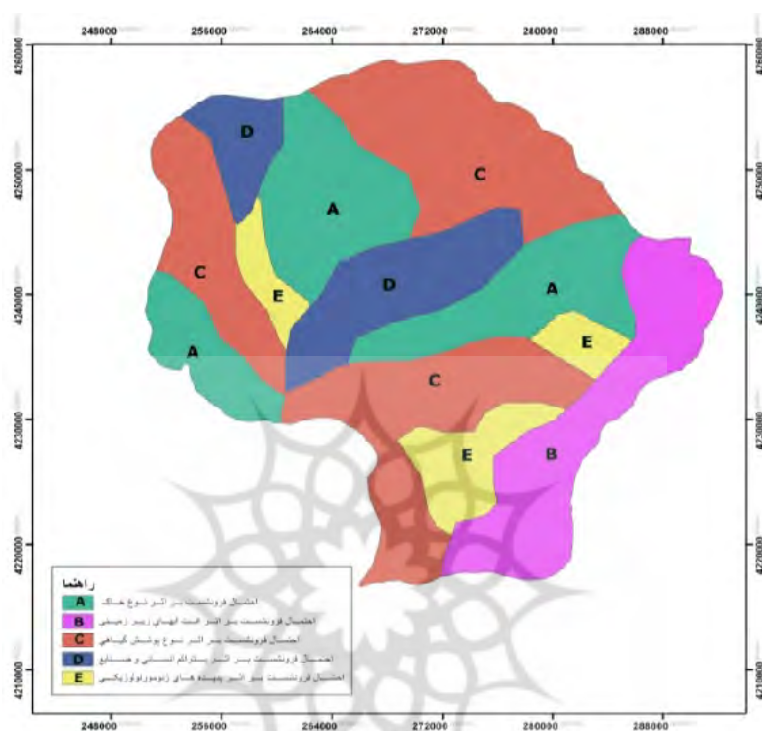


(۲)

(۱)



شکل (۷) همپوشانی لایه پهنه‌بندی افت آب‌ریز زمینی با نقشه‌های پراکنش صنایع (۱)، ژئومورفولوژی (۲) زمین‌شناسی (۳)، چاه‌های مشاهده‌ای (۴)، هیدرولوژی (۵)، خاک (۶)، گسل (۷)، پوشش گیاهی (۸)



نقشه (۸) احتمال خطر فرونشست در آینده دشت اردبیل

نتیجه گیری

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل هیدروگراف واحد و تغییرات به وجود آمده در حجم ذخیره آبی آبخوان و شواهد آن نشان داد که تراز سطح آب زیرزمینی دشت اردبیل در طی دوره ۳۸ ساله به میزان ۲۷/۵ متر کاهش داشته است (شکل ۲). چنانچه این رقم را سالانه محاسبه کنیم، پایین رفتن سطح آب زیرزمینی به طور متوسط بالغ بر ۰/۲۹ متر در سال خواهد بود. نقشه پهنه بندی افت آب های زیرزمینی دشت بیانگر آن است که ۱۴ درصد از مساحت دشت در پهنه افت خیلی زیاد، ۲۹/۷۳ درصد در پهنه افت زیاد، ۲۶/۶ درصد در پهنه افت متوسط، ۱۷/۳۸ درصد در پهنه افت کم و ۱۲/۲۹ درصد در پهنه افت خیلی کم قرار دارند و پهنه های متوسط تا خیلی زیاد بیش از ۷۰/۳۳ درصد مساحت دشت را به خود اختصاص می دهد (شکل

۶؛ این وضعیت بیانگر شرایط بحرانی به لحاظ افت آب‌های زیرزمینی است که می‌تواند شرایط فرونشینی را تشدید نماید. برداشت بیش از اندازه آب‌های زیرزمینی در قسمت جنوب‌شرقی، تراکم و بارگذاری فزاینده به‌خصوص در سال‌های اخیر به دلیل ساخت و ساز در شمال‌غرب و در محل قرارگیری شهر اردبیل و شهرک‌های صنعتی و وجود سازندهای آبرفتی کواترنری در بخش‌های وسیعی از دشت اردبیل (۸۰ درصد) که با افت آب‌های زیرزمینی و خالی شدن فضای بین رسوبات همراه می‌باشد احتمال فرونشینی در این دشت را در آینده بیشتر خواهد کرد (شکل ۷) شاید تنها راه تثبیت شرایط موجود و جلوگیری از وقوع نشست زمین، توجه مدیران و برنامه‌ریزان به نقشه پهنه‌بندی افت و نقشه مناطق احتمالی فرونشست جهت هرگونه برنامه‌ریزی کشاورزی، مسکونی، صنعتی و... در آینده باشد.

منابع

- ۱- آل خمیص، رضا؛ کریمی نسب، سعید؛ آریانا، فرزاد (۱۳۸۵)، «بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جداره»، *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۶۰
- ۲- آمیغی، معصومه؛ عربی، سیاوش؛ طالبی، علی (۱۳۸۹)، «بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل سنجی راداری و تراز یابی دقیق»، *سال بیستم*، شماره ۷۷، صفحه‌های ۱۵۷۰-۱۶۴.
- ۳- امیری، منوچهر (۱۳۸۴)، «ارتباط بین فروچاله دشت فامنین- کبودرآهنگ- نهاوند با سنگ کف منطقه»، *مجله علوم زمین*.
- ۴- باباخانی و رحیمزاده (۱۳۶۷)، «شرح نقشه زمین شناسی چهار گوش اردبیل»، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۵- باباخانی و رحیمزاده (۱۳۶۷)، «گزارش زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ آستارا»، سازمان زمین شناسی کشور.
- ۶- توفیق، محمد محسن؛ طباطبایی عقدا، سید طاها (۱۳۸۸)، «پیش بینی نشست منطقه‌ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تأثیر نشست بر شبکه فاضلاب»، *آب و فاضلاب*، شماره ۱.
- ۷- حسین زاده، محمد مهدی؛ نوحه گر، احمد (۱۳۹۰)، «بررسی تأثیر خشکسالی‌های دو دهه اخیر بر منابع آب زیرزمینی دشت میناب و وقوع پدیده فرونشینی، *علوم محیطی*، ۹(۱)، پاییز.
- ۸- خالدی، شهریار (۱۳۸۰)، «*بلائی طبیعی*»، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- ۹- زارع، مهرجردی (۱۳۹۰)، «بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد»، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، پاییز.
- ۱۰- سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل (۱۳۸۸)، «گزارش محدوده‌های مطالعاتی و ادامه ممنوعیت آب در دشت اردبیل»، وزارت نیرو.
- ۱۱- شریف زاده، مصطفی؛ عقیقی پور، محمد؛ تسوجی زاده، مهدی (۱۳۸۹)، «تأثیر طول گام و مراحل حفر در روش حفاری مرحله‌ای بر میزان نشست سطح زمین در خط ۴ متروی تهران»، *مجله مهندسی معدن*، دوره پنجم، شماره ۱۰.

- ۱۲- صمدزاده، رسول، خیام، مقصود، حسینی، حسن (۱۳۸۹)، «نگرشی نو بر تکامل ژئومورفولوژیک چاله زمین ساختی اردبیل با رویکرد آمایش سرزمین»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۱، شماره پیاپی ۳۷، شماره ۱، بهار.
- ۱۳- طاهری تیزرو، عبدالله (۱۳۸۷)، «آب‌های زیرزمینی»، انتشارات دانشگاه رازی، چاپ دوم.
- ۱۴- طالب‌بیدختی، علی‌رضا (۱۳۸۳)، «بررسی مکانیزم تشکیل فروچاله‌های حاشیه نیروگاه همدان»، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم.
- ۱۵- عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق، حسن؛ دلال‌اوغلی، علی؛ ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۸)، «ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای»، *فضای جغرافیایی*، سال نهم، شماره ۲۶، تابستان.
- ۱۶- قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۱)، «مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره: فرآیند تحلیل سلسله-مراتبی AHP»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- ۱۷- کوک، آر.یو، دورکمپ، جی.سی. (۱۳۷۷)، «ژئومورفولوژی و مدیریت محیط»، ترجمه شاپور گودرزی، جلد اول، تهران، انتشارات سمت.
- ۱۸- مجدی، عباس؛ قم‌قلعه، آوات (۱۳۸۵)، «پیش‌بینی نشست سطح زمین در اثر استخراج لایه‌های زغال‌سنگ با استفاده از توابع ریاضی»، *نشریه دانشکده فنی*، جلد ۴۰، شماره ۱، اردیبهشت.
- ۱۹- وزارت نیرو (۱۳۶۶)، «مطالعات نیمه تفضیلی منابع آب زیرزمینی و مدیریت بهره برداری».
- ۲۰- یمانی، مجتبی؛ نجفی، اسماعیل؛ عابدینی، محمدحسین (۱۳۸۸)، «ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت قره‌بلاغ استان فارس»، *فصلنامه جغرافیا*، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران مرکز، شماره ۸ و ۹.
- 21- National Coal Board, (1975), “*Subsidence Engineering Hand Book*”, National Coal Board Mining Department London.
- 22- Trinh, M.T, and Fredlund, D.G, (2000), “Modeling Subsidence due to Ground Water in the Hanoi City Area”, *Vietnam, J. Can Geo Tech.*

- 23- Wang, G.Y. & et al, (2008), “Long-term Land Subsidence and Strata Compression in Changzhou”, China, *Engineering Geology*, Elsevier.
- 24- Saaty, T., (1980), “The analytical Hierarchical Process: Planning, Priority Setting Resource Allocation”, New York. McGraw-Hill.

