



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۹  
پاییز ۱۳۹۶، صفحات ۲۸۷-۲۷۱

محمد علی زنگنه اسدی<sup>۱</sup>  
\*الهه اکبری<sup>۲</sup>  
شهرام بهرامی<sup>۳</sup>  
بهروز پوراسکندر<sup>۴</sup>

## بررسی تاثیر عوامل جغرافیایی در نوسان آب زیرزمینی دشت پارس آباد مغان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۰

### چکیده

در سال‌های اخیر، نوسان و بالا رفتن سطح آب زیرزمینی در دشت پارس آباد مغان منجر به بروز مشکلاتی نظیر زه‌دار شدن و شور شدن زمین‌های کشاورزی و نیز تخریب پی ساختمان‌های شهری و روستایی و نشست جاده‌ها و بناها در این مناطق گردیده است. در این تحقیق با در نظر گرفتن عوارض جغرافیایی و نحوه تاثیر آن بر نوسان سطح آب زیرزمینی از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روند آن مدل‌سازی شده که با تغییر در نحوه سیستم آبیاری در منطقه می‌توان تاثیر این فرآیند را به حداقل رساند. برای پایش نوسان سطح آب زیرزمینی از آمار ۳۰ حلقه چاه مشاهده‌ای به صورت برداشت‌های ماهانه، داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک و منابع ارضی و داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. با استفاده از این داده‌ها که متعلق به دوره آماری ۹۲-۸۱ می‌باشند، روند نوسان سطح آب زیرزمینی و هیدروگراف تراز رسم گردید. سپس ارتباط بین عوامل مختلف جغرافیایی و نوسان سطح آب زیرزمینی بررسی شده است. در این راستا همبستگی پیرسون و مدل رگرسیون چند متغیره بین

E-mail: ma.zanganehasadi@hsu.ac.ir

۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.

\*۲- مربی سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسئول).

۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری.

عوامل موثر در نوسان آب زیرزمینی و تراز آب زیرزمینی به دست آمد که معیارهای عملکرد ( $R^2=0/97$ ) و ( $RMSE=0/07$ ) در دوره آزمون نیز حاکی از کارایی این مدل می‌باشند. نتایج به دست آمده نشان دهنده افزایش روند سطح آب زیرزمینی در این دشت می‌باشد که جریان آب زیرزمینی از جنوب به سمت شمال و خصوصاً شمال شرقی می‌باشد. در این میان عوامل ارتفاع، شیب، جنس زمین (تخلخل و قابلیت انتقال) با تاثیرگذاری بیش‌تر و نفوذپذیری، بارش و تبخیر با تاثیرگذاری کم‌تر و عمق آب زیرزمینی نیز بی‌تاثیر در نوسان آب زیرزمینی شناسایی شده‌اند. با اعمال زهکشی‌های مداوم در اکثر نقاط دشت و تغییر سیستم آبیاری از سنتی به مکانیزه می‌توان از شور شدن خاک‌های مزروعی و نشست برخی منازل جلوگیری نمود.

**کلید واژه‌ها:** نوسان سطح آب زیرزمینی، مدل رگرسیون چند متغیره، عوارض جغرافیایی، GIS.

#### مقدمه

منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش به‌سزایی داشته باشد (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۳۳). کاهش حجم آب‌های زیرزمینی از یکسو و فعالیت‌های انسان از سوی دیگر، موجب کاهش کیفیت منابع آب‌های زیرزمینی و تخریب اراضی با گذشت زمان می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۱). همزمان با افزایش جمعیت در جهان، نیاز به آب سالم و قابل شرب نیز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر منابع آب‌های زیرزمینی به دلیل آلودگی‌ها و تغییرات آب‌وهوایی در حال کاهش هستند، در نتیجه نگاه‌ها به سوی منابع آب‌های زیرزمینی که منابع حیاتی آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند سوق یافته است. به عقیده رجایی (به نقل از جوانی و جباری، ۱۳۸۸: ۵۲) نهشته‌های آبرفتی محتوی آب زیرزمینی به چرخه ژئومورفولوژی تعلق دارند؛ و به عقیده سلبای<sup>۵</sup> (۱۹۸۷: ۶۰۸) در تشکیل آبخوان، شیب توپوگرافی، طول و پهنای بستر رودخانه به‌عنوان متغیرهای ژئومورفولوژی تا حد زیادی دخالت دارند.

در بیش‌تر مسایل هیدرولوژیک و مطالعات منابع آب زیرزمینی، در دسترس بودن آمار و اطلاعات آب زیرزمینی اهمیت بسیاری دارد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۱۸). در این راستا بررسی نوسان‌های سطح آب زیرزمینی از جمله مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریتی است که می‌تواند در این مورد مفید و موثر واقع شود. برنامه‌ریزی برای توسعه و مدیریت منابع آب بایستی دربرگیرنده تمامی کاربردها و فعالیت‌های مربوط به آب در یک منطقه باشد (نادریان‌فر و انصاری، ۱۳۹۰: ۲)؛ به نحوی که بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اکتشافات ژئوفیزیکی می‌توان به مطالعه در مورد رفتار آب زیرزمینی پرداخت.

در این راستا، چوپرا و شارما<sup>۶</sup> (۱۹۹۳) نقش لند فرم‌های مختلف ژئومورفولوژی را در پتانسیل آب‌های زیرزمینی در هند مورد بررسی قرار دادند. بررسی آن‌ها نشان داد که لندفرم‌هایی مانند مجاری رودخانه‌ای قدیمی، مئاندرهای رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی دارای آبخوان‌های خوب و با کیفیت بالا می‌باشند. جوانی و جباری (۱۳۸۸) در تحقیقی شاخص‌های ژئومورفولوژی در شناسایی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت اهر) را به روش توصیفی و تحلیلی آینده‌نگر با استفاده از GIS مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تعداد چاه‌ها در دامنه‌های جنوبی دشت اهر بیش‌تر و آبدهی آن‌ها نیز متوسط تا زیاد می‌باشد. ولی در دامنه‌های شمالی تعداد چاه‌ها و آبدهی آن‌ها کم‌تر می‌باشد که این موضوع با ژئومورفولوژی دشت رابطه مستقیم دارد. هو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، با تکنیک زمین آمار کریجینگ معمولی نقشه‌های هم‌تراز سطح آب زیرزمینی را برای شمال دشت چین تهیه کردند. یافته‌های این تحقیق، افت سفره آب زیرزمینی به میزان ۶ متر در مقایسه با سال ۱۹۹۰ را نشان می‌دهد. بعلاوه ایزدی و همکاران (۱۳۸۷)، در پژوهشی نشان دادند که مدل داده‌های ترکیبی با اثرات مشترک بهترین نتیجه را برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی داشته است. بعلاوه این نتایج با نتایج به‌دست آمده از کاربرد شبکه عصبی مصنوعی نیز مقایسه و برتری نسبی آن مورد تأیید قرار گرفته است. اکبری و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش درونیابی و تهیه نقشه‌های خطوط هم‌پتانسیل و پهنه‌بندی افت سطح آب زیرزمینی نشان دادند که سطح آب زیرزمینی در بخش‌های مرکزی و غربی آبخوان دشت مشهد تا سی متر کاهش داشته است. نتایج پژوهش نشان دهنده کارایی مدل پیشنهادی به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در مقایسه با مدل‌های شبکه عصبی استاتیکی می‌باشد. آدینه و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله‌ای تأثیر ویژگی‌های ژئومورفولوژی و تغییرات بارش بر آب زیرزمینی دشت گزیر شهرستان بندر لنگه را با استفاده از روش تجربی و تحلیلی مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج بررسی به افزایش افت سطح آب زیرزمینی در نواحی شرق دشت و ارتباط مستقیم آن با فراوانی چاه‌های حفر شده و همچنین خشک‌سالی‌های چند سال اخیر اشاره می‌کند. سکوتی اسکوتی و همکاران (۱۳۹۰)، در کاربرد زمین‌آمار برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت ارومیه به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ، نیم تغییر نمای تجربی با مدل کروی مناسب‌تر بوده و ضریب همبستگی برای مدل برازش داده شده برابر ۰/۹۳۸ محاسبه شده است.

دشت پارس‌آباد مغان از نظر فرم و ساختار ژئومورفیکی جزو دشت‌های پست و هموار کشور محسوب می‌شود و به لحاظ شیب توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا، رسوبات جوان کواترنری، پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید و مخروط افکنه که این دشت را پوشانده، سطح آب زیرزمینی نوسان زیادی داشته است. به طوری که در سال‌های اخیر این نوسان روندی مثبت را در پیش گرفته است. بنابراین تراز آب زیرزمینی در نقاطی از دشت نزدیک به سطح زمین رسیده و مشکلات زیادی را برای مردم به‌وجود آورده است. از آن جمله می‌توان به زه‌دار شدن و شور شدن

6- Chopra &amp; Sharma

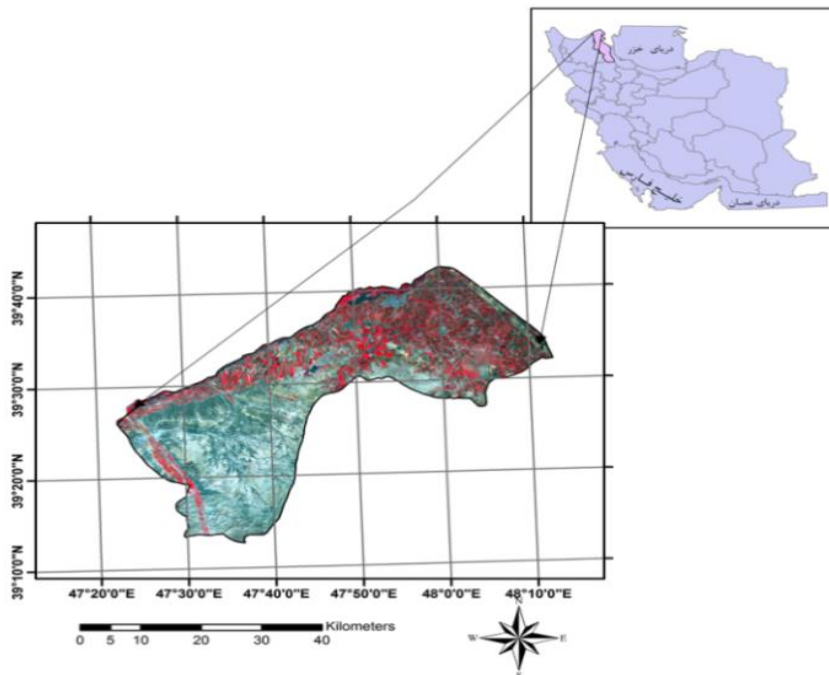
7- Hu

زمین‌های کشاورزی، تخریب پی ساختمان‌های شهری و روستایی و نشست جاده‌ها و بناها اشاره نمود. برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود. با پیش‌بینی دقیق نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در برنامه‌ریزی تأمین آب قابل اعتماد و نیز در مدیریت منابع آب استفاده نمود. برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی به علت پیچیده بودن ماهیت آن و عدم قطعیت در مولفه‌های مربوطه نیاز به مدل‌های پیچیده‌ای می‌باشد (نایاک<sup>۸</sup>، ۲۰۰۶: ۷۷). پژوهش‌های ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی به دلیل ارائه‌ی شاخص‌هایی برای اکتشافات آب زیرزمینی و هدایت سریع پژوهشگران برای کشف مناطق دارای منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. مطالعات و پژوهش‌هایی که در رابطه با عوارض جغرافیایی و تاثیر آن بر سطح آب زیرزمینی در منطقه انجام گرفته، بیش‌تر به صورت توصیفی بوده است. بر همین اساس در این تحقیق سعی بر آن است که میزان ارتباط بین عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی دشت مغان و منابع آب زیرزمینی آن مشخص و نیز روند نوسان سطح آب زیرزمینی به صورت کمی مدل‌سازی شود.

#### محدوده مورد مطالعه

شهرستان پارس‌آباد با مساحتی بالغ بر ۱۵۵۴ کیلومترمربع حدود ۸/۶ درصد از مساحت استان اردبیل را به خود اختصاص داده و شمالی‌ترین شهرستان استان می‌باشد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۳۹° و ۱۲° تا ۳۹° و ۴۲° عرض شمالی و ۴۷° و ۳۱° تا ۴۸° و ۱۳° طول شرقی واقع شده که به صورت دشت هموار در شمال شرقی فلات مرتفع آذربایجان جای گرفته است. این دشت از غرب به رودخانه دره رود و از شمال به رودخانه ارس ختم می‌شود که مرز مشترک بین ایران و آذربایجان می‌باشد. همچنین از طرف شرق نیز با این جمهوری هم مرز می‌باشد و از جنوب نیز کوه‌های خروسلو آن را احاطه کرده‌اند. شیب عمومی منطقه از جنوب رو به شمال می‌باشد و در رنج ارتفاعی ۲۰ تا ۷۶۰ متر قرار می‌گیرد. حداکثر دمای ثبت شده متعلق به تیرماه با ۴۲/۶ درجه سانتی‌گراد است. در مقابل حداقل دمای ثبت شده در ایستگاه پارس‌آباد مربوط به دی و بهمن ماه با ۱۶/۵- و ۱۶- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش سالانه دوره ۴۰ ساله (۱۳۸۷-۱۳۴۸) ایستگاه پارس‌آباد ۲۹۵ میلی‌متر است. از نظر زمین‌شناسی، بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه در دوره اولیگوسن از دوران سوم تا دوران چهارم (عصر حاضر) تشکیل شده است. رسوبات نئوژن منطقه به حوزه رسوب‌گذاری البرز شمالی، یعنی پنتوکاسپین تعلق دارد. واحدهای زمین‌شناسی کواترنری دارای گستردگی بسیار وسیعی در منطقه هستند، به طوری که ۱۴۴۳/۳ کیلومتر از منطقه را (۹۲/۳۹ درصد) پوشانده‌اند. از عوارض ژئومورفولوژی موثر در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌توان به الف) واحد ژئومورفیک فرسایش تراکمی: پادگانه آبرفتی قدیم و جدید، دشت‌های سیلابی، مخروط‌افکنه و تپه‌های لسی، ب) واحد ژئومورفیک فرسایش کاوشی: فرسایش صفحه‌ای، شیاری، خندقی، فرسایش بر اثر گسترش کشت دیم، چرای بیش از حد دام‌ها در مراتع، فرسایش در اثر کندن بوته‌های مرتعی و فرسایش مئاندری اشاره کرد. میزان نوسان آب

زیرزمینی در دشت پارس آباد مغان در مناطق شمالی و نواحی نزدیک رود ارس به مراتب بیش تر از مناطق جنوبی دشت می باشد، به طوری که در نزدیک رود ارس این میزان به ۵ متری سطح زمین می رسد. (شکل ۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش ها

یکی از مهم ترین رویکردها در برنامه ریزی مدیریت منابع آب به دست آوردن مدل مناسبی جهت پیش بینی رفتار منابع آب با در نظر گرفتن متغیرهای موثر بر این پدیده می باشد. از متغیرهای موثر می توان به شیب توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا، ضریب تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت انتقال، بارش و تبخیر و تعرق منطقه اشاره نمود. لذا در انجام این پژوهش از آمار و اطلاعات چاه های مشاهده ای، آمار هواشناسی سازمان هواشناسی کشور، داده های زمین شناسی، نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، تصویر ماهواره ای ETM+ تهیه شده توسط سازمان فضایی کشور استفاده شده است. رسوبات خوب جور شده<sup>۹</sup> دارای مقادیر تخلخل بالاتری هستند؛ زیرا ذرات به صورت یکنواخت دانه بندی شده اند و ذرات ریزتر منافذ درشت تر را پر نمی کنند. عکس این موضوع در مورد تخلخل رسوبات بد جور شده<sup>۱۰</sup> صادق است. دانه های خوب گرد شده<sup>۱۱</sup> دارای تخلخل کمتری نسبت به ذرات زاویه دار می باشند؛ زیرا به صورت بسته در کنار هم قرار می گیرند.

9- Weii sorted  
10-Poorly sorted  
11-Well-rounded

$$\alpha = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

بنا به تعریف، تخلخل ( $\alpha$ ) عبارتست از درصد حجم فضاهای خالی موجود در یک نمونه سنگ یا خاک ( $V_v$ ) به حجم کل آن نمونه ( $V_t$ ). ( $V_v$ ) را می‌توان حجم آب لازم برای پر کردن تمام منافذ نمونه در نظر گرفت (صدقات، ۱۳۷۲: ۲۱). در این تحقیق، میزان تخلخل منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و مطابق (جدول ۱)، محاسبه و برای هر یک از چاه‌های موجود در دشت اعمال شده است.

جدول ۱- حدود تغییرات تخلخل در چند نمونه از رسوبات و سنگ‌ها (صدقات، ۱۳۷۲: ۲۲)

| درصد تخلخل | رسوب یا سنگ                             |
|------------|---|
| ۵۰-۶۰      | لای ورس                                 |
| ۴۰-۵۰      | ماسه دانه ریز                           |
| ۳۵-۴۰      | ماسه دانه متوسط                         |
| ۲۵-۳۵      | ماسه دانه درشت                          |
| ۲۰-۳۰      | گراول                                   |
| ۱۰-۳۰      | مخلوط ماسه و گراول                      |
| کم‌تر از ۱ | سنگ‌های متراکم                          |
| ۲-۱۰       | سنگ‌های آذرین درز و شکافدار و هوازده    |
| ۲-۵        | بازالت‌های جدید نفوذپذیر                |
| ۱۰-۵۰      | گدازه‌های حفره‌دار                      |
| ۳۰         | توف‌ها                                  |
| ۵-۳۰       | ماسه‌سنگ                                |
| ۱۰-۲۰      | سنگ‌های کربناته با منافذ اولیه و ثانویه |

یکی از ویژگی‌های مهم رسوبات و سنگ‌ها از نظر حرکت آب زیرزمینی و تشکیل لایه‌های آبدار، ضریب نفوذپذیری آن‌هاست. در رسوبات تحکیم نیافته هر چه میانگین<sup>۱۲</sup> اندازه ذرات و درجه جورشدگی افزایش یابد،  $K$  نیز افزایش می‌یابد. هوازده‌گی و گسیختگی می‌تواند نفوذپذیری سنگ‌ها را دو یا چهار درجه بزرگی<sup>۱۳</sup> افزایش دهد.

$$K = V \cdot \frac{dh}{dt} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادله همان گرادیان هیدرولیک است.  $V$  هم سرعت داری می‌باشد. ضریب نفوذپذیری یک ماسه‌سنگ به علت سیمان‌شدگی خیلی کم‌تر از ماسه‌های سخت نشده‌ای است که اندازه دانه‌های آن مشابه ماسه‌سنگ

می باشد (صداقت، ۱۳۷۲: ۷۲). در این تحقیق با در دست داشتن نوع و جنس سازندهای منطقه مورد مطالعه و با استفاده از میانگین ضرایبی که در (جدول ۲) برای نفوذپذیری سازندها وجود دارد، عدد مورد نظر برای منطقه در مدل لحاظ شده است.

جدول ۲- حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری در برخی از رسوبات و سنگها (صداقت، ۱۳۷۲: ۷۳)

| رسوب یا سنگ                              | حدود تغییرات ضریب نفوذپذیری (متر بر روز) |
|--|--|
| خاکهای رسی (سطحی)                        | ۰/۰۱-۰/۲                                 |
| لایه‌های رسی عمیق                        | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱-۰/۰۰۱                         |
| ماسه دانهریز                             | ۱-۵                                      |
| ماسه دانه متوسط                          | ۵-۲۰                                     |
| ماسه دانه درشت                           | ۲۰-۱۰۰                                   |
| گراول                                    | ۱۰۰-۱۰۰۰                                 |
| مخلوط ماسه و گراول                       | ۵-۱۰۰                                    |
| مخلوط رس، ماسه و گراول                   | ۰/۰۰۱-۰/۱                                |
| ماسه سنگ                                 | ۰/۰۰۱-۱                                  |
| سنگهای آهکی با تخلخل ثانویه              | ۰/۰۱-۱                                   |
| شیل                                      | ۰/۰۰۰۰۰۰۰۱                               |
| سنگهای آتش فشانی                         | ۰-۱۰۰۰                                   |
| سنگهای خرد شده و هوازده (لایه آبدار)     | ۰/۰۰۱-۱۰                                 |
| سنگهای خرد شده و هوازده (مغزه‌های حفاری) | ۰-۳۰۰                                    |

آبگذری، قابلیت انتقال آب توسط سازند در شرایطی است که اختلاف هد وجود داشته باشد. آبگذری را می‌توان به صورت میزان جریان در سطح عرضی واحد سازند، وقتی گرادیان هیدرولیکی واحد اعمال شود نیز تعریف کرد (طاهری تیزرو، ۱۳۸۴: ۸۰). با استفاده از نقشه تراز آب زیرزمینی منطقه می‌توان آبگذری یا قابلیت انتقال (T) را محاسبه نمود. از آن جایی که اندازه‌گیری این ضرایب معمولاً با استفاده از آزمون‌های پمپاژ چاه‌ها صورت می‌گیرد و آزمون پمپاژ در تمام چاه‌ها عملی نیست، بنابراین با استفاده از منحنی تراز آب زیرزمینی (سطح ایستابی یا پیژومتریک) می‌توان مقادیر T را برای نقاطی که مورد آزمون پمپاژ قرار نگرفته‌اند تخمین زد. اگر مقدار T در یکی از قطعات معلوم باشد (مثلاً با استفاده از آزمون‌های پمپاژ) می‌توان مقادیر T را در دیگر قطعات آن با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ به دست آورد.

$$q_A = T_A W_A \frac{\Delta H_A}{L_A} \quad \text{معادله (۳)}$$

$q_A =$  جریان در قطعه A (متر مکعب بر روز)

$T_A =$  ضریب آبدگزی در قطعه A (متر مربع بر روز)

$W_A =$  عرض متوسط قطعه

$L_A =$  طول متوسط قطعه

$\Delta H_A =$  افت تراز آب زیرزمینی (سطح ایستابی یا پیزومتریک) در طول قطعه به همین ترتیب جریان در قطعه B نیز محاسبه می‌شود.

$$q_B = T_B W_B \frac{\Delta H_B}{L_B} \quad \text{معادله (۴)}$$

با تقسیم این دو معادله،  $T_B$  محاسبه می‌شود. با تکرار این فرآیند، می‌توان توزیع T را در کل قطعات و منطقه محاسبه کرد (صداقت، ۱۳۷۲: ۱۰۳). پس از محاسبه مقادیر تخلخل، ضریب نفوذپذیری و قابلیت انتقال، با استفاده از مدل زمین‌آماري کریجینگ، داده‌های موجود درون‌یابی شده است.

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز سطح ایستابی آب زیرزمینی از روش‌ها و مدل‌هایی نظیر درون‌یابی<sup>۴</sup>، محاسبات رستری<sup>۵</sup>، مدل رقومی زمین<sup>۱۶</sup> (DEM)، رگرسیون خطی چند متغیره و همپوشانی<sup>۱۷</sup> استفاده شده است. درون‌یابی به روش کریجینگ بر اساس تخمین مدل‌های آمار فضایی صورت می‌گیرد، فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم به‌دست آورد.

$$Z_V^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{V_i} \quad \text{معادله (۵)}$$

$Z_V^*$  پارامتر تخمینی،  $\lambda_i$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $i$  ام و  $Z_{V_i}$  پارامتر معلوم می‌باشد (قهروردی تالی، ۱۳۸۱: ۹۷-۹۶). روش مذکور روشی ژئواستاتیک است که در آن واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

- تئوری مدل رگرسیون خطی چند متغیره

از بین روش‌های تخمین ترکیبی؛ اثرات مشترک<sup>۱۸</sup>، ثابت<sup>۱۹</sup> و تصادفی<sup>۲۰</sup>، روش اثرات مشترک با داده‌های این تحقیق انطباق دارد. این روش بر این فرض مبتنی است که عرض از مبدأ توابع ( $\alpha_i$ ) برای کلیه واحدها (مکان-سری زمانی

- 
- 14- Interpolation
  - 15- Raster Calculator
  - 16- Digital Elevation Model
  - 17- Overlay
  - 18- Common Effects
  - 19- Fixed Effects
  - 20- Random Effects



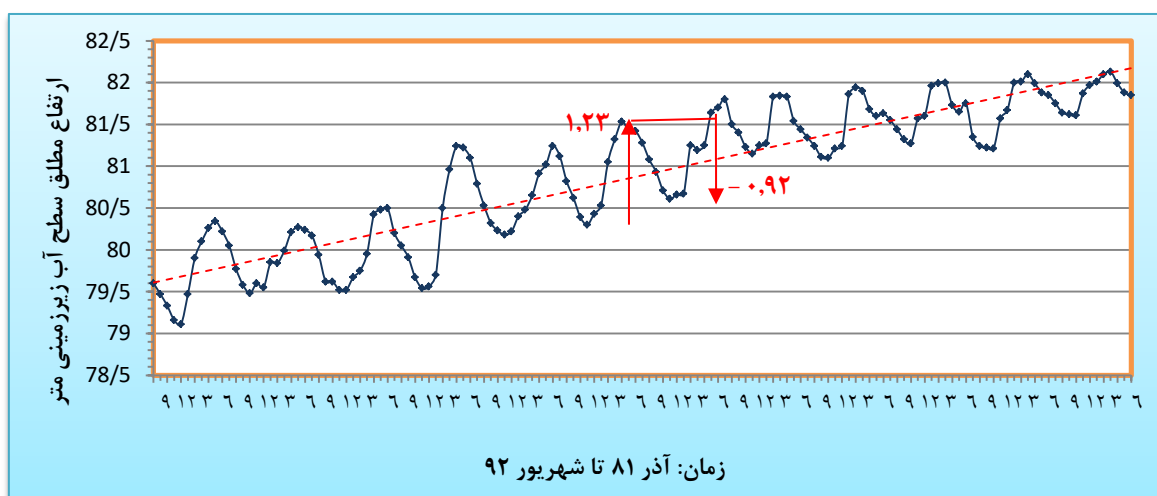
یک پیژومتر) ثابت بوده و با هم برابرند ( $\alpha_i = \alpha$ ). این مدل با ترکیب داده‌ای مقطعی و سری زمانی به وسیله حداقل مربعات معمولی تخمین زده می‌شود. به عبارت دیگر تخمین معادله زیر (معادله ۶) با استفاده از  $n.T$  مشاهده انجام می‌شود:

$$Y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \varepsilon_{it}; \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن،  $n$ : تعداد مقاطع (تعداد پیژومترها)،  $T$ : طول سری زمانی (طول دوره آماری)،  $Y$ : متغیر وابسته (تراز سطح آب زیرزمینی)،  $X$ : متغیرهای مستقل،  $\beta$ : ضرایب متغیرهای مستقل و  $\varepsilon$ : جمله اختلال (ایزدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۳۶-۱۳۷) است. برای بررسی کارایی مدل نیز در از روش برآورد حداقل مربعات معمولی استفاده می‌شود.

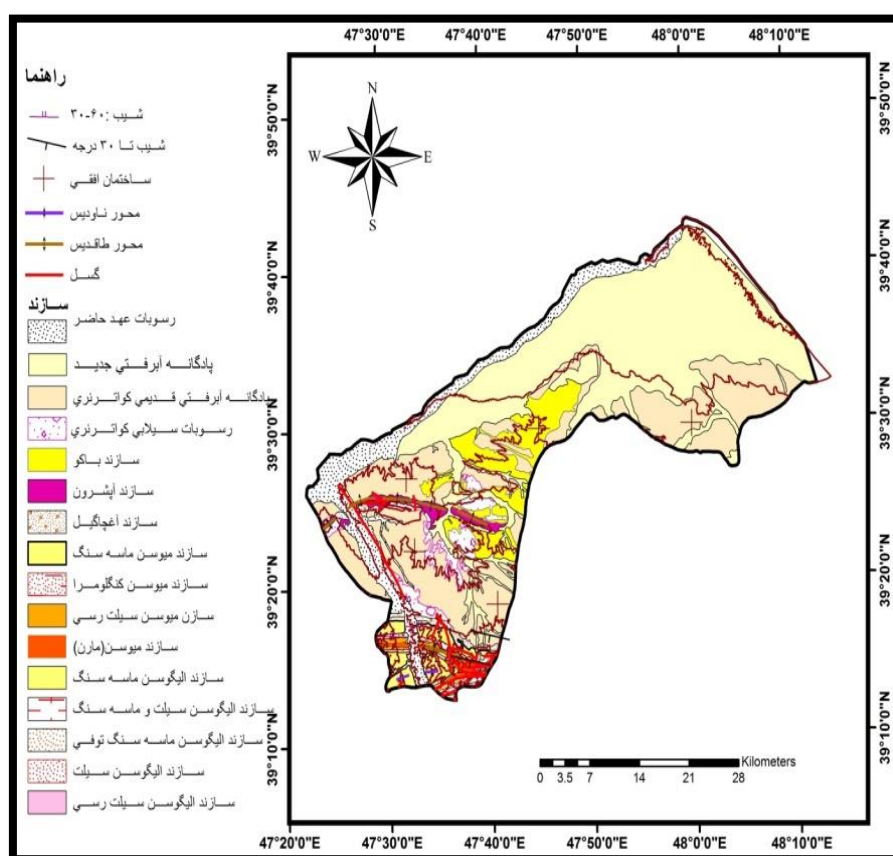
### یافته‌ها و بحث

به منظور بررسی متوسط نوسانات سطح آبخوان و تعیین دوره‌های مرطوب و خشک و همچنین اندازه‌گیری تغییرات دوره‌ای و سالانه، مبادرت به محاسبه و ترسیم هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت پارس آباد مغان شده است. در این بررسی‌ها ابتدا با استفاده از موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و به روش درون‌یابی، مناطق تحت تاثیر و یا سطح نمایندگی هر یک از چاه‌ها با ترسیم چندضلعی‌های تپسن در محدوده مورد بررسی، مشخص و سپس با تعیین سطح آب هر یک از پلیگون‌ها و ارتفاع مطلق سطح آب چاه مشاهده‌ای نظیر، رقوم متوسط سطح آب برای ماه‌های مختلف محاسبه و بدین ترتیب متوسط وزنی سطح آب دشت برای ماه‌های مختلف به دست آمده است. نتایج به دست آمده از این روش در (شکل ۲) ارائه شده است. بر اساس این نمودار، ملاحظه می‌گردد که سطح آبخوان همواره روندی صعودی داشته ضمن آنکه دوره‌های مرطوب در این منطقه، منطبق بر دوره تابستانه یا دوره آبیاری می‌باشد. بنابراین بر اساس نمودار ارائه شده، افزایش سطح آب آبخوان دشت مغان طی سال ۱۳۸۷ (حد فاصل اسفند ۸۶ تا اسفند ۸۷) حدود ۰/۳۱ متر بوده، در حالی که از سال ۸۱ تا شهریور ۹۲، حدود ۳ متر افزایش سطح آب حادث شده است.

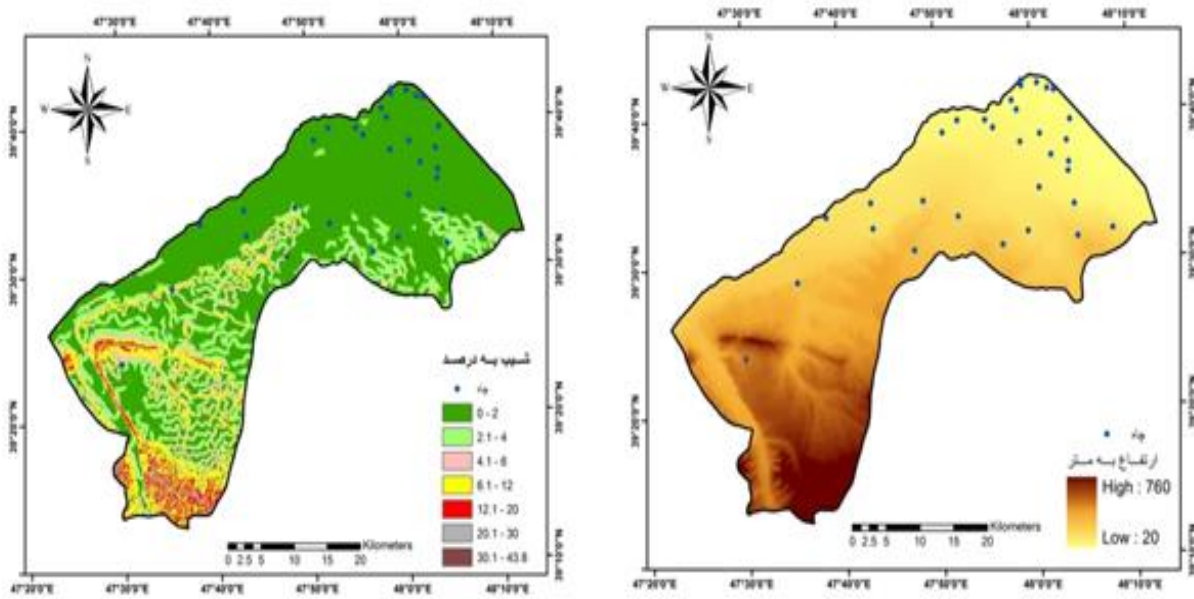


شکل ۲: هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت مغان (آذر ۸۱ تا شهریور ۹۲)

نقشه‌های عوامل ارتفاع، شیب، تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت انتقال، بارش و تبخیر در محیط GIS به ترتیب از طریق مدل رقومی ارتفاع و کریجینگ تهیه شده است. برای محاسبات نقشه‌های تخلخل، قابلیت انتقال و نفوذپذیری از نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۳) بهره گرفته شد. برای بررسی نحوه تاثیر عوارض جغرافیایی بر نوسان سطح آب زیرزمینی، میزان همبستگی پیرسون بین عوامل با نوسان سطح آب زیرزمینی به دست آمده است. با توجه به (جدول ۳) عوامل شیب، ارتفاع، قابلیت انتقال و تخلخل در سطح معنی‌داری بالای همبستگی با نوسان سطح آب زیرزمینی قرار دارند؛ اما عوامل نفوذپذیری، بارش و تبخیر در سطح معنی‌داری پایین همبستگی با تراز سطح آب زیرزمینی هستند. همچنین بین عمق آب زیرزمینی با تراز آب زیرزمینی همبستگی معنی‌داری وجود ندارد، بنابراین بر نوسان سطح آب زیرزمینی تاثیر ندارند و از دخالت دادن آن در مدل رگرسیون چند متغیره صرف نظر شده است. نحوه اثرگذاری مستقیم یا غیرمستقیم عوامل محیطی در نظر گرفته شده بر نوسان سطح آب زیرزمینی نیز با واقعیت مطابقت نشان می‌دهد. به نحوی که با افزایش میزان درصد شیب، ارتفاع، قابلیت انتقال و تبخیر و تعرق، تراز آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. همچنین تخلخل، نفوذپذیری و بارش در منطقه با سطح آب زیرزمینی رابطه مستقیم دارند، یعنی افزایش این پارامترها باعث افزایش سطح آب زیرزمینی می‌شود. (شکل‌های ۴ و ۵)، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و درصد شیب دشت پارس‌آباد مغان را نشان می‌دهند.



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی دشت پارس‌آباد مغان



شکل ۵: نقشه درصد شیب دشت

شکل ۴: نقشه مدل رقومی ارتفاعی

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون

| تبخیر   | بارش   | نفوذپذیری | تخلخل   | قابلیت انتقال | ارتفاع   | هم عمق | شیب      |                 |         |
|---------|--------|-----------|---------|---------------|----------|--------|----------|-----------------|---------|
| -۰/۳۵۴* | ۰/۳۴۶* | ۰/۲۰۵*    | ۰/۶۰۱** | -۰/۶۳۶**      | -۰/۷۶۶** | -۰/۰۴۹ | -۰/۴۹۲** | همبستگی پیرسون  | تراز آب |
| ۰/۰۴۷   | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۸۹     | ۰/۰۰۰   | ۰/۰۰۰         | ۰/۰۰۰    | ۰/۷۸۹  | ۰/۰۰۴    | Sig. (2-tailed) |         |
| ۳۲      | ۳۲     | ۳۲        | ۳۲      | ۳۲            | ۳۲       | ۳۲     | ۳۲       | N               |         |

پس از تعیین عوامل موثر بر نوسان سطح آب زیرزمینی، روند سطح آب زیرزمینی برای کل دشت با در نظر گرفتن این عوامل بر طبق مدل رگرسیون خطی چند متغیره با اثرات مشترک پیش‌بینی شده است. در (جدول ۴) که به جدول تحلیل واریانس (ANOVA) موسوم است، مجموع مربعات، درجه آزادی، میانگین مربعات، آماره فیشر و سطح معنی‌داری رگرسیون گزارش شده است. مقدار سطح معنی‌داری (Sig) در این جدول برابر ۰/۰۰۰ است، بنابراین فرض «رگرسیون معنی‌دار نیست:  $H_0$ » با اطمینانی بالاتر از ۰/۹۹۹ رد می‌شود.

برای هر یک از عوامل جغرافیایی موثر در نوسان سطح آب زیرزمینی به‌عنوان پارامترهای مدل رگرسیون در (جدول ۵)، ضرایب پارامترها، انحراف معیار برآورد پارامترها، ضرایب استاندارد شده، آماره آزمون و سطح معنی‌داری برآورد پارامترها موجود می‌باشد. در این جدول، مقدار سطح معنی‌داری (Sig) متفاوت می‌باشد، یعنی در برخی پارامترها ۰/۰۰۰ است و در برخی این عدد نزدیک صفر است و  $H_0$  را با اطمینان بالا رد می‌کند. بنابراین طبق مدل بررسی شده ارتباط معکوسی بین عوامل شیب، ارتفاع، قابلیت انتقال، میزان تبخیر و تعرق با عامل تراز آب زیرزمینی وجود

دارد. این بدان معنی است که هر چه میزان این عوامل بیش تر شود، میزان تراز آب زیرزمینی کاهش خواهد یافت. برای مثال هر چقدر میزان شیب کاهش یابد، تراز سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که در دشت مغان این عامل به همراه ارتفاع منطقه نقش بسیاری را در نوسان سطح آب زیرزمینی ایفا می‌کند. از طرف دیگر هر چه میزان بارش، ضریب تخلخل و نفوذپذیری افزایش یابد، در تراز آب زیرزمینی تاثیر مستقیمی گذاشته و میزان آن را افزایش می‌دهد.

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس

| مدل        | مجموع مربعات | درجه آزادی | مربع میانگین | آماره فیشر | سطح معنی داری      |
|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| رگرسیون    | ۴۶۰۰۲/۴۹۶    | ۸          | ۵۷۵۰/۳۱۲     | ۱۱۹/۰۲۴    | ۰/۰۰۰ <sup>a</sup> |
| باقی مانده | ۱۱۱۱/۱۸۳     | ۲۳         | ۴۸/۳۱۲       |            |                    |
| مجموع      | ۴۷۱۱۳/۶۷۸    | ۳۱         |              |            |                    |

جدول ۵- ضرایب رگرسیون خطی چندمتغیره

| مدل           | ضرایب غیراستاندارد |              | ضرایب استاندارد | آماره آزمون T | سطح معنی داری |
|---------------|--------------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|
|               | ضرایب پارامترها    | انحراف معیار |                 |               |               |
| (عدد ثابت)    | ۲۵۴/۳۶۳            | ۱۵۳/۴۳۷      |                 | ۱/۶۵۸         | ۰/۱۱۱         |
| شیب           | -۳/۴۱۹             | ۲/۲۳۹        | -۰/۰۷۵          | -۱/۵۲۷        | ۰/۰۴۰         |
| ارتفاع        | -۰/۸۷۴             | ۰/۰۴۶        | -۱/۲۱۲          | -۱۸/۹۰۴       | ۰/۰۰۰         |
| قابلیت انتقال | -۰/۷۱۹             | ۰/۰۱۶        | -۰/۰۵۷          | -۱/۱۸۸        | ۰/۰۰۰         |
| تخلخل         | ۰/۸۱۹              | ۰/۲۶۹        | ۰/۰۲۷           | ۰/۴۴۱         | ۰/۰۰۰         |
| نفوذپذیری     | ۰/۲۱۷              | ۰/۰۳۰        | ۰/۰۱۴           | ۰/۲۲۴         | ۰/۰۸۲         |
| بارش          | ۵/۸۷۸              | ۳/۱۱۴        | ۱/۸۸۲           | ۱/۸۸۷         | ۰/۰۷۲         |
| تبخیر         | -۶/۸۸۹             | ۳/۷۴۶        | -۱/۸۲۹          | -۱/۸۳۹        | ۰/۰۷۹         |

با استفاده از (جدول ۵) و ضرایب عوامل تأثیرگذار بر نوسان آب زیرزمینی، مدل روند نوسان سطح آب زیرزمینی (معادله ۷) پیش‌بینی شده است. نقشه پیش‌بینی روند نوسان سطح آب زیرزمینی بر اساس مدل حاصل از طریق تحلیل فضایی و همپوشانی رستری تولید گردیده است.

معادله (۷):

$$Y = x_1(-3.419) + x_2(-0.874) + x_3(-0.719) + x_4(0.819) + x_5(0.217) + x_6(5.878) + x_7(-6.889) + 254.363$$

در این معادله:

$Y$  = سطح آب زیرزمینی در هر چاه،  $x_1$  = شیب،  $x_2$  = ارتفاع از سطح دریا،  $x_3$  = میزان قابلیت انتقال،  $x_4$  = میزان تخلخل،  $x_5$  = میزان نفوذپذیری،  $x_6$  = میزان بارش و  $x_7$  = میزان تبخیر و تعرق در محل هر چاه است. برای سنجش میزان کارایی و صحت مدل پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی از مجذور میانگین مربعات خطا (معادله ۸) استفاده شده است. این پارامتر میانگین بزرگی خطا را اندازه‌گیری می‌نماید. یادآوری می‌گردد که در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی حداکثر خطای  $\pm 1$  متر به‌عنوان یک محدوده قابل قبول شناخته می‌شود (کولیبالی<sup>۲۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱: ۸۹۲).

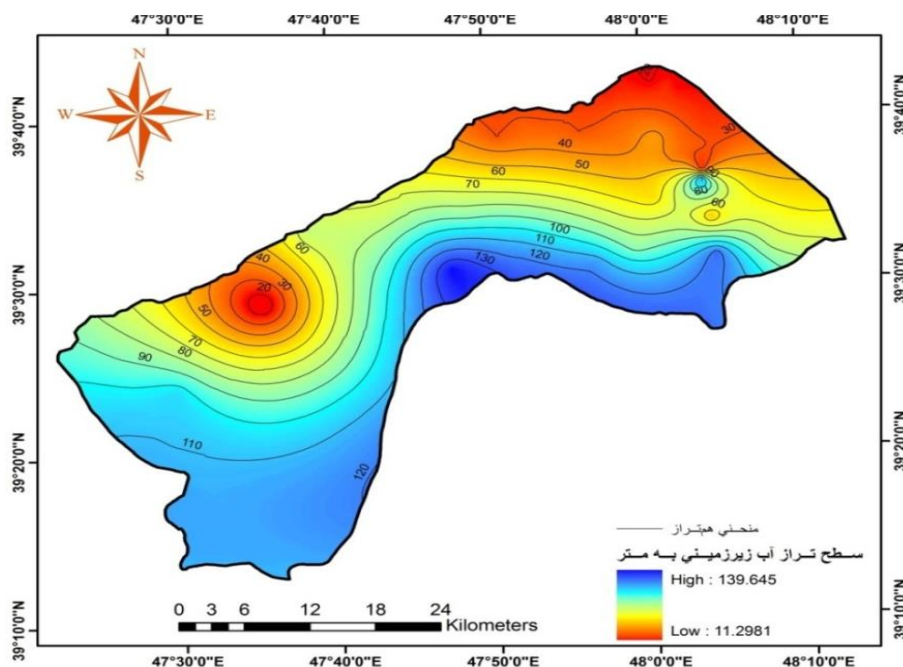
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۸)}$$

در رابطه فوق  $n$  = تعداد چاه‌های نمونه‌برداری شده،  $X_i$  و  $\hat{X}_i$  به‌ترتیب سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌باشند. هر چه خطای ریشه میانگین مربعات به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل قابل اعتمادتر می‌باشد (سثی<sup>۲۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۸). مقدار خطای به‌دست آمده از این معادله برابر است با ۰/۰۷ که نشان‌دهنده بالا بودن کارایی مدل پیش‌بینی می‌باشد. (شکل ۶)، نقشه پیش‌بینی تراز سطح آب زیرزمینی دشت پارس آباد مغان با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره با اثرات مشترک را نشان می‌دهد. این نقشه نیز مؤید روند صعودی تراز سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد. همان‌طور که در (شکل ۶) نیز ملاحظه می‌شود، بیش‌ترین بخش‌هایی که سطح آب زیرزمینی در آن بالا می‌باشد بخش‌های شمال‌شرقی منطقه و ساحل رود ارس هستند. مناطق جنوبی دشت به دلیل محسوب شدن به‌عنوان مناطق تغذیه و نیز با توجه به روند شیب منطقه به سمت شمال، با سطح آب زیرزمینی پایینی مواجه می‌باشند؛ زیرا که حرکت آب زیرزمینی با شیب سطح زمین همسو است. بنابراین در منطقه مورد مطالعه از شمال به سمت جنوب از تراز سطح آب زیرزمینی کم می‌شود؛ به بیان دیگر سطح آب زیرزمینی نسبت به سطح زمین از شمال به سمت جنوب افزایش می‌یابد و ارتفاع و شیب توپوگرافی نیز افزایش می‌یابد. لذا افزایش سطح آب زیرزمینی در دشت مغان در شمال و شمال‌شرقی بیش‌تر مشاهده می‌شود. نواحی که شیب در آن‌ها تقریباً نزدیک

21- Coulibaly

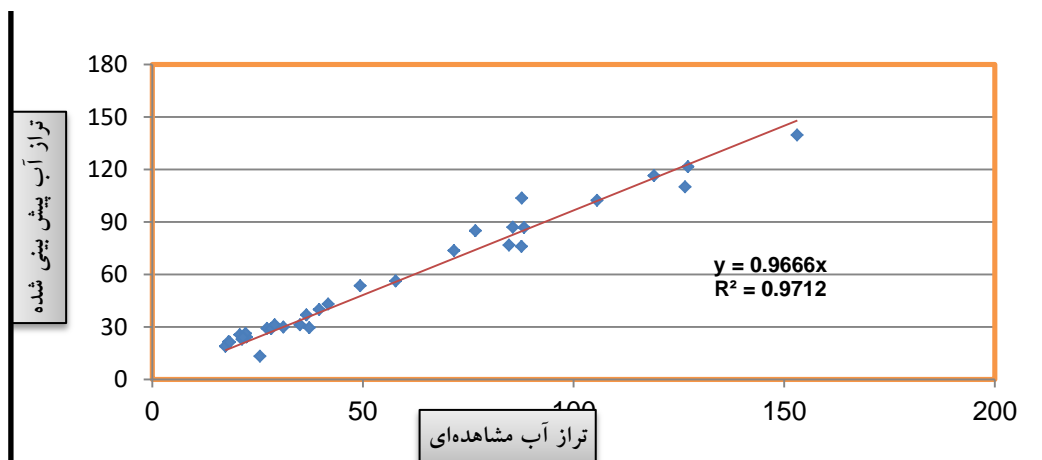
22- Sethi

صفر و ارتفاع از سطح دریا به کم‌تر از ۲۰ متر می‌رسد، از سازند با رسوبات ریزدانه که بیش‌تر سیلت و رس می‌باشند، تشکیل شده‌اند.



شکل ۶: نقشه پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی دشت پارس‌آباد با مدل رگرسیون خطی چندمتغیره

از طرف دیگر برای ارزیابی میزان صحت مدل، ارتباط و ضریب تبیین بین مقادیر تراز آب مشاهده‌ای و میزان تراز آب پیش‌بینی شده براساس مدل در نقاط چاه نمونه به‌دست آمده است (شکل ۷). میزان ضریب تبیین  $0.9712$  نشان‌دهنده صحت بالای مدل می‌باشد.



شکل ۷: رابطه همبستگی تراز آب مشاهده‌ای و تراز آب پیش‌بینی شده دشت

## نتیجه گیری

با توجه به ویژگی‌های منطقه چنین استنباط می‌شود که عامل شیب و ارتفاع از سطح دریا از بین عوارض جغرافیایی تاثیر گذار بر نوسان سطح ایستابی آب زیرزمینی مورد استفاده در این تحقیق، از فاکتورهای مهم و اثرگذار به شمار می‌روند. از آنجایی که شیب منطقه در بخش‌های شمال شرقی و سواحل رود ارس نزدیک صفر است، بنابراین حرکت آب زیرزمینی در این مناطق بسیار کند بوده (شیب هیدرولیکی نیز با شیب توپوگرافی منطقه مطابقت می‌کند)، از جهت دیگر سازند این مناطق به دلیل رسی و سیلتی بودن جزو خاک‌های سنگین است و باعث کندی بیشتر این حرکت می‌شود. لذا عوارض جغرافیایی از قبیل شیب، ارتفاع و نوع رسوبات (ریزدانه و درشت دانه) عوامل مهم در نوسان آب زیرزمینی می‌باشند؛ اما مهم‌تر از این عوامل، ایجاد شبکه گسترده آب‌رسانی از طریق کانال به مناطق کشاورزی و آبیاری از طریق غرقابی کردن و پخش در سطح زمین می‌باشد. این عامل در سال‌های اخیر با افزایش حدود ۳ متری آب زیرزمینی در بین سایر عوامل از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این تحقیق، طبق تحلیل آماری که در مورد عوارض جغرافیایی و تاثیر متقابل آن بر روی آب زیرزمینی دشت پارس آباد انجام گرفته، همبستگی بالایی بین این عوامل و نوسان آب زیرزمینی مشاهده می‌شود. به طوری که با توجه به رگرسیون خطی چند متغیره مورد ارزیابی قرار گرفته، طبق نتایج (جدول ۴)، مقدار Sig برابر ۰/۰۰ می‌باشد، بنابراین فرض "رگرسیون معنی دار نیست:  $H_0$ " با اطمینانی بالاتر از ۰/۹۹۹ رد می‌شود. با بررسی ارتباط بین تراز آب مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در دشت، میزان همبستگی  $R=0.988$  است که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل و صحت آن می‌باشد. علاوه بر این، با دستیابی به میزان  $RMSE=0.07$ ،  $R^2=0.9712$ ، صحت مدل دوچندان می‌شود. همانند ویژگی منطقه، بر اساس مدل رگرسیون خطی چند متغیره نیز عوامل ارتفاع، شیب و نوع رسوبات بیش از پیش بر نوسان سطح آب زیرزمینی تاثیرگذار هستند.

با بررسی تحقیقات مشابه در زمینه پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی روشن می‌گردد که کم‌تر به عوامل جغرافیایی تاثیرگذار بر این پدیده بها داده شده است، فقط تنها عوامل اقلیمی مدنظر قرار گرفته‌اند. شایان ذکر است که در پتانسیل‌سنجی منابع آب زیرزمینی، عوامل تاثیرگذار در نظر گرفته شده، اما از روش‌های وزن دهی تجربی استفاده گردیده است.

با توجه به فقدان چنین مدل‌هایی در کشور از این تحقیق می‌توان به‌عنوان مقدمه‌ای برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی کننده سطح آب زیرزمینی استفاده نمود. با ارائه این مدل، در صورت محاسبه پارامترهای تأثیرگذار بر تراز آب زیرزمینی، می‌توان به روند سطح آن پی برد؛ بنابراین برای حل مشکل غرقابی بودن دشت بخصوص در شمال و شمال شرقی آن، پیشنهاد می‌شود که در مناطق فاقد زهکشی بخصوص نزدیک شهرها و روستاهایی که سطح آب زیرزمینی بالاست، عملیات زهکشی انجام گردد. علاوه بر این، در بخش جنوبی شبکه آبیاری، شبکه پیزومتری ایجاد شود. استفاده از سیستم آبیاری مدرن در منطقه از قبیل سیستم آبیاری بارانی قطره‌ای و ... به دلیل پتانسیل بالای منطقه از نظر کشاورزی نیز بسیار ضروری می‌باشد.

## منابع

- آدینه، ح؛ یمانی، م؛ انصاری لاری، ا (۱۳۸۹)، «تأثیر ویژگی‌های ژئومورفولوژی و تغییرات بارش بر آب زیرزمینی دشت گزیر مورد مطالعه: شهرستان بندر لنگه»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره ۱۰، صص ۳۱-۱۵.
- اکبری، م؛ جرگه، م؛ مدنی سادات، ح (۱۳۸۸)، «بررسی افت سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد»، *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴، صص ۷۸-۶۳.
- ایزدی، ع. ک؛ داوری، ا؛ علیزاده‌قهرمان، ب (۱۳۸۷)، «کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی»، *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۲، صص ۱۴۴-۱۳۳.
- جوانی، و؛ جباری، ا (۱۳۸۸)، «شناخت زمین ریخت شناسی در شناسایی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت اهر)»، *مجله فضای جغرافیایی*، شماره ۲۵، صص ۷۱-۵۱.
- رجایی، ع (۱۳۸۲)، «کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط»، تهران، نشر قومس.
- دهقانی، ا؛ عسگری، م؛ مساعدی، ا (۱۳۸۸)، «مقایسه سه روش شبکه عصبی، سیستم استنتاجی فازی-عصبی تطبیقی و زمین آمار در میان‌یابی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت قزوین)»، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۱۶، صص ۵۳۶-۵۱۷.
- سکوتی اسکوتی، ر؛ جباری، ع؛ کلاه چی، ع؛ بروشکه، ا (۱۳۹۰)، «کاربرد زمین آمار برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت ارومیه»، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی.
- صداقت، م (۱۳۷۲)، «زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- طاهری تیزرو، ع (۱۳۸۴)، «آب‌های زیرزمینی»، کرمانشاه، انتشارات فن آوران.
- قهروردی‌تالی، م (۱۳۸۱)، «ارزیابی درونیابی به روش کریجینگ»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۴۳، صص ۹۵-۱۱۸.
- مهندسان مشاور مهتاب قدس (۱۳۸۸)، گزارش مطالعات آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مغان.
- محمدی، ص؛ سلاجقه، ع؛ مهدوی، م؛ باقری، ر (۱۳۸۹)، «بررسی تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از روش زمین آماری مناسب (طی یک دوره آماری ۱۰ ساله، ۱۳۷۵-۱۳۸۵)»، *فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره ۱، صص ۷۱-۶۰.
- نادریان‌فر، م؛ انصاری، ح (۱۳۹۰)، «ارزیابی اثرات شدت-مدت خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی گوناگون بر نوسان‌های سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)»، *مجله مهندسی منابع آب*، شماره ۴، صص ۱۶-۱.
- Chopra, R., Sharma, P. K., (1993), "Landform analysis and ground water potential in the Bist Doab area", *International Journal of Remote sensing*, 14 (17): 3221-3229.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Aravena, R., Bobdel, B., (2001), "Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations", *Water Resources Research*, 37 (4): 885-896.
- Hu, K., Huang, Y., Hong, L., Li, B., Chen, D., White, R. E., (2005), "Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain", *Environment International*, 31: 896-903.



- Nayak, P., Satyaji Rao, Y. R., Sudheer, K. P., (2006), "Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network approach", *Water Resources Management*, 2(1): 77-99.
- Selby, M. j., (1985), "*Earth's changing surface, an introduction to geomorphology*", Oxford, Oxford University.
- Sethi, R. R., Kumar, A., Sharma, S. P., Verma, H. C., (2010), "Prediction of water table depth in a hard rock basin by using artificial neural network", *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2 (4): 95-102.