هیدروژئولوژی، سال هشتم، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۲
Hydrogeology, Volume 8, No. 2, Winter 2024

پایش شبکه کمی آبهای‌زیرزمینی دشت کرند با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی

مطلّب بایزیدی[1]*، وفا رضایی[2]، ساسان صالحی[3]

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، سنندج، ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، سنندج، ایران.
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب گرایش منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، سنندج، ایران.
* نویسنده مسئول: m.byzedi@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۸

چکیده

محاسبه دقیق بیلان آب زیرزمینی گام مهمی برای دست‌یابی به مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی بیلان آب زیرزمینی دشت کرند واقع در استان کرمانشاه و تعیین چاه‌های معرف با استفاده از شبکه‌های کمی و کیفی است. بنابراین از مشخصات اصلی چاه‌های بهره‌برداری از جمله نوع آبخوان و نوع آبرفت، عمق چاه و عمق سطح آب، نوع مصرف، میزان آبدهی و ساعت کارکرد برای تعیین درست چاه‌های معرف با طول دوره‌ی آماری (۱۳۷۴-۱۳۹۵) استفاده شد. پس از تعیین مشخصه‌های اصلی چاه‌های بهره‌برداری گروه‌بندی چاه‌ها بر اساس امتیازبندی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام و درنهایت شبکه سنجش کمی دشت کرند تهیه گردید. برای صحت‌سنجی شبکه سنجش به‌دست آمده با استفاده از چاه‌های موجود و چاه‌های معرف محاسبه بیلان دشت کرند انجام و باهم مقایسه گردید. همچنین با استفاده از پارامترهای کیفی EC، pH و کلر به ارزیابی و پایش کیفی شبکه پرداخته شد. برای رسیدن به اهداف پژوهش از داده‌های ۴۶ چاه بهره‌برداری، که توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه در سال ۱۳۸۷ حفر شده بود، استفاده شد. نتایج محاسبه بیلان براساس شبکه‌بندی ۱۲ چاه معرف و مقدار بیلان به‌دست آمده برای کل چاه‌ها در محدوده آبخوان کرند به‌ترتیب ۰/۲۲- و ۰/۵۵- میلیون مترمکعب بوده است و تفاوت این دو بیلان ۰/۳۳ میلیون مترمکعب است که نسبت به کل دشت این میزان خیلی قابل‌ملاحظه نمی‌باشد و میزان نشان‌دهنده انتخاب درست چاه‌های معرف دشت کرند می‌باشد. در نهایت ارزیابی شبکه جدید با پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته و نسبت جذب سدیم نشان داد که پراکندگی مناسب چاه های انتخابی، می‌تواند به‌عنوان شبکه کیفی نیز مفید واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: بیلان، تحلیل سلسله مراتبی، دشت کرند، چاه‌های بهره‌برداری، شبکه سنجش.

مقدمه

برای استمرار یا توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، برای انواع مصارف و اهداف مختلف و همچنین ایجاد هرگونه سازه آبی، لازم است از مجموعه ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های ذیربط اطلاعات کافی جمع‌آوری، ذخیره، تحلیل و نتیجه‌گیری شود. رسیدن به هدف مذکر، تنها با انجام عملیات رفتارسنجی (کمی و کیفی) آب‌های زیرزمینی امکان‌پذیر می‌شود. به‌طور کلی، رفتارسنجی[1]؛ که به معنای دیگر «نظاره کردن و پایش رفتار» است؛ در تمامی علوم می‌تواند کاربرد داشته باشد. در دانش آب‌شناسی، این کلمه به پایش یا سنجش رفتار کمی و کیفی منابع آب، تحت تأثیر عوامل طبیعی یا مصنوعی اتلاق می‌شود. اهداف پایش متأثر از اهداف مطالعه و تحقیق می‌باشد که مسلما برای نیل به آن اهداف باید از کلیه

[1] Monitoring

عوامل و ابزارهای ذیربط بهره گرفت و داده‌ها جمع‌آوری، کنترل، ذخیره و پردازش شود. اهداف شبکه پایش کمی شامل دو سطح مدیریتی و فنی است و هدف پایش کیفی به‌صورت کلی تعیین ویژگی‌های عمومی منابع آب جهت مشخص کردن وضعیت واقعی و پتانسیل استفاده از آبخوان یا حوضه باشد، و یا ممکن است به صورت کلی تعیین ویژگی‌های عمومی آب زیرزمینی و سطحی جهت مشخص کردن وضعیت واقعی و پتانسیل استفاده از آن‌ها باشد و یا ممکن است یک هدف خاص و مشخص‌تر مانند انجام مطالعات کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی تحت تأثیر آلودگی باشد و یا اقدامات اصلاحی را دنبال کند.

منابع آب زیرزمینی تنها چگونه مصرف کردن آب نیست بلکه پایش مستمر منابع آب و به‌ویژه آلودگی‌های طبیعی یا انسان-زاد از موارد استراتژیکی است که باید برای شناخت آن داده‌های کافی داشت. برنامه‌های پایش آب زیرزمینی باید بتواند اطلاعات مفیدی همچون میزان نیاز و دسترسی به آب در هر زمان و مکان برای برنامه‌های دقیق و توسعه و مدیریت منابع آب را در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. هدف اصلی سنجش کمی آبهای‌زیرزمینی، بررسی و تعیین میزان اثرات عوامل مختلف مؤثر در رفتار آبخوان‌ها است که به‌صورت تغیرات سطح آب‌زیرزمینی از نظر زمانی و مکانی ظاهر می‌شود. این تغییرات یا ناشی از عوامل طبیعی و اقلیمی است و یا متأثر از تنش‌های مصنوعی وارد بر آبخوان‌ها (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۳).

با استفاده از سنجش منابع آب‌زیرزمینی می‌توان به اطلاعاتی از قبیل خصوصیات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیک آبخوان، توزیع بارهیدرولیکی در زمان و مکان، میزان جریان آب-زیرزمینی، کیفیت آب، جهت جریان، میزان ماده آلوده‌کننده و خصوصیات منبع آلوده‌کننده دست یافت. تحلیل نتایج بدست آمده از مجموع بررسی‌ها، علاوه بر تعیین وضعیت کنونی آبخوان از لحاظ کمی و کیفی، واکنش آبخوان را در مقابل تنش‌های مختلف طبیعی و مصنوعی مشخص کرده و بر اساس این نتایج نقش هرکدام از عوامل تأثیرگذار تعیین می‌شود که در نهایت در پیش‌بینی رفتار آتی آبخوان و مدیریت آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. دست‌یابی به این مهم تنها از طریق طراحی یک شبکه سنجش کمی و کیفی علمی و قابل اجرا میسر می‌باشد.

از انواع شبکه‌های پایش می‌توان به شبکه‌های باران‌سنجی، آب‌های زیرزمینی و شبکه ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه‌ها اشاره کرد. روش‌های آماری و بهینه‌سازی در بررسی انواع شبکه‌های پایش در پژوهش‌های مختلف به‌کار برده شده است. مراحل تعیین شبکه پایش به اهداف مورد نظر بستگی دارد اما به‌طور کلی مراحل انجام به این صورت است: تعیین هدف انجام شبکه پایش، جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، بررسی نواقص آماری و دستگاه‌ها و تجهیزات و در نهایت استفاده از یکی از روش‌های آماری یا بهینه‌سازی جهت برآورد صحیحی از وضعیت سامانه‌های منابع آبی موجود در منطقه.

در این زمینه نیز محققان داخلی و خارجی بسیاری انجام داده-اند که می‌توان به تعدادی از این تحقیقات اشاره نمود.

Ayvaz and Elci, (2018) شبکه پایش بهینه کیفی آب‌های زیرزمینی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک شناسایی کردند. آن‌ها یافتن یک شبکه پایش بهینه با کمترین تعداد چاه و در عین حال پراکندگی مناسب جهت پوشش کافی کیفیت آب زیرزمینی منطقه را هدف قرار دادند. بهینه‌سازی را در دو مرحله به حداکثر رساندن توزیع داده‌های کیفی آب زیرزمینی و به حداقل رساندن تعداد چاه‌های مشاهده‌ای (نمونه‌برداری) در شبکه طراحی انجام دادند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش تعداد چاه‌های نظارتی با کمترین انحراف از توزیع فضایی مقادیر می‌شود و همچنین شبکه پایش بهینه طراحی شده نقاط نمونه‌برداری از مناطق با غلظت آلاینده بالاتری را در برمی‌گیرد.

سامانی (۱۳۹۹) نظام شبکه پایش آب زیرزمینی در ایران را بررسی و با شبکه پایش در برخی از کشورهای دنیا مقایسه کرد. بعد از مقایسه آن‌ها پیشنهاد نمود: ۱) مدیریت اطلاعات مرتبط با شبکه پایش آب زیرزمینی از طریق شناخت کامل که آن نیاز به اطلاعاتی شبکه، طراحی، راه‌اندازی و اجرای سامانه یکپارچه مدیریت اطلاعات آب و بروزرسانی تجهیزات و فناوری‌های ایستگاه‌های اندازه‌گیری متناسب با استانداردهای جهانی، ۲) نیروی انسانی و مشترکت مردمی، ۳)مدیریت

ساختار سازمانی کشور، ۴)مدیریت توان مالی نظام مطالعات منابع آب کشور.

یوسفی و کرد (۱۳۹۹) بهینه‌سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی دشت دهگلان اعتبارسنجی کردند. آن‌ها ابتدا بهترین واریوگرام را بین مدل‌های موجود در ArcGIS براساس کمترین اثر قطعه‌ای، بیشترین شعاع تأثیر و کمترین سقف انتخاب و برآن برازش دادند. نتایج نشان داد که در زمان‌های مختلف، پیزومترهای قابل حذف از ماهی به ماه دیگر متفاوت‌اند و در بازه زمانی بلند مدت نمی‌توان از داده‌برداری هیچ یک از پیزومترها صرف نظر کرد. همچنین دریافتند که حذف پیزومترها در اولین دوره تنش آبی مشکل خاصی را به وجود نمی‌آورد اما در تنش آبی بعدی که کاهش سطح آب زیرزمینی در طول زمان سبب خشک شدن برخی از پیزومترها و خارج شدن آن‌ها از شبکه داده‌برداری شده باعث گردید اعتبار و پایایی نتایج بهینه‌سازی رد گردد. Mclean et al., (2019) دو روش مکانی و مکانی-زمانی در تجزیه و تحلیل داده‌های کیفی آب زیرزمینی به کار بردند و ارزیابی دقت آن‌ها با هم مقایسه کردند. هدف آن‌ها پاسخ به این سؤال بود که آیا می‌توان داده-های جمع‌آوری شده را ضمن حفظ سطح دقت کاهش داد یا خیر. نتایج مقایسه دو روش نشان داد که روش مکانی-زمانی با حجم نمونه کمتر و سطح دقت یکسان کاربردی‌تر از روش مکانی است.

Samani and Kardan Moghaddam, (2022) بهینه‌سازی شبکه‌های پایش سطح آب زیرزمینی با پیچیدگی هیدروژئولوژیکی و روش‌های فازی برای آبخوان ورامین انجام دادند. آن‌ها طراحی بهینه شبکه‌های آب زیرزمینی را در پنج مرحله درک ویژگی‌های آبخوان، ایجاد لایه‌های هیدرولوژیکی در محیط GIS (هدایت هیدرولیکی، ضخامت اشباع و غیراشباع، نوسانات سطحآب زیرزمینی)، میزان تغذیه و تخلیه، گرایان هیدرولیکی، فاصله چاه‌های بهره‌برداری، فاصله رودخانه و فاصله گسل)، طراحی نقشه اولویت‌بندی به روش فازی با عملگر گاما، طراحی شبکه ایده‌آل با گسسته‌سازی فضایی براساس نقشه اولویت بندی در مرحله قبل و قرار دادن یک چاه مشاهده در مرکز هر سلول بدون در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی و شبکه فعلی موجود و در نهایت بهینه‌سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی موجود براساس شبکه ایده‌آل و پایش سطح آب زیرزمینی موجود. نتایج نشان داد که شش حلقه چاه پایش موجود حذف و ۲۳ حلقه چاه مشاهداتی جدید به ۶۵ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود اضافه گردد.

Kavusi et al., (2020) به طراحی بهینه شبکه پایش آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش ترکیبی کریجینگ انتخابی پرداختند. آن‌ها از اطلاعات ۱۱۰ حلقه چاه مشاهداتی در دشت نیشابور در ایران از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ استفاده کردند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ترکیبی Election-Kriging استفاده و از نمودار پارتو برای تعیین عدد و مکان بهینه در دو سناریوی اول تعیین محل بهینه چاه‌ها در میان چاه‌های موجود منطقه و دوم تعیین محل بهینه چاه‌ها برای پایش سطح آب‌های زیرزمینی در سراسر دشت انجام دادند. آن‌ها حداقل و حداکثر تعداد چاه شبکه نظارتی را به ترتیب ۳۰ و ۸۵ مورد انتخاب کردند. براساس نتایج بدست آمده، روش دقیق برای محل مناسب چاه‌ها در سناریوی اول مقدار مجذور مربعات خطا برای تعداد چاه‌ها در محدوده ۷۱ تا ۳۴/۲ متر بود که قابل قبول بودند. در سناریوی دوم مقدار مجذور ربعات خطا بین ۱/۰۴ تا ۲/۸۹ متر بدست آوردند و آن را مناسب دانستند. همچنین دریافتند توزیع چاه‌های انتخاب شده در حداکثر تعداد براساس سناریوی دوم یکنواخت و دارای دقت خوبی است.

طاهری و همکاران (۱۳۹۵) طراحی شبکه کیفی آب زیرزمینی آبخوان اسلام‌آباد با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS انجام دادند. آن‌ها برای این کار از ۸ معیار شامل: تراکم چاه‌های بهره‌برداری، تخلیه آب زیرزمینی از چاه‌ها، عمق چاه-های آب، کیفیت آب زیرزمینی بر مبنای EC ، جهت جریان، افت سطح آب زیرزمینی، بهره‌برداری از آب زیرزمینی و دسترسی به راه‌های اصلی و فرعی را بر اساس تجارب کارشناسی استفاده کردند. علاوه بر این عوامل، دو عامل محدودکننده ساختمان چاه و نیز رضایت مالک خصوصی برای همکاری را نیز درنظر گرفتند. آن‌ها دریافتند که این بررسی نشان داد بجز برخی محدودیت‌ها مانند تعیین قطعی چاه‌ها از روش AHP می‌توان برای زون‌های مناسب برای پایش کیفی استفاده کرد و تعیین نهایی محل چاه‌ها را می‌توان با اعمال محدودیت‌ها و نظرات کارشناسی یا روش‌های آماری تعیین کرد.

جنت رستمی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی شبکه پایش فعلی محدوده مورد مطالعه با توجه به نتایج شبیه سازی مدل-های MODFLOW و MT3D، ارزیابی و سپس شبکه پایش را با توجه به چاه‌های موجود در منطقه و با روش بهینه‌سازی توسعه یافته طراحی کردند. نتایج نشان داد با توجه به بزرگتر بودن مقادیر TDS بهینه از میانگین مقادیر TDS مشاهده‌ای، شبکه بهینه طراحی شده داده‌های کیفی آب زیرزمینی مناطق آلوده‌تر را فراهم کرده است.

مؤیدیان و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی را با عنوان شناسایی شبکه بهینه پایش کیفی آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع (مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور)، جهت یافتن شبکه‌های نماینده پایش بهینه با کمترین تعداد چاه که پوشش کافی برای شناخت کیفیت آب زیرزمینی در یک منطقه ایجاد کند را انجام داده‌اند. در این تحقیق با الگوریتم جستجوی ممنوع چاه‌های مازاد در شبکه شناسایی و از منابع انتخابی شبکه پایش حذف شده است. نتایج حاصل نشان داد مدل بهینه‌سازی توانسته است شبکه‌های نماینده پایش را بین ۳۴ تا ۷۵ درصد بهینه کند.

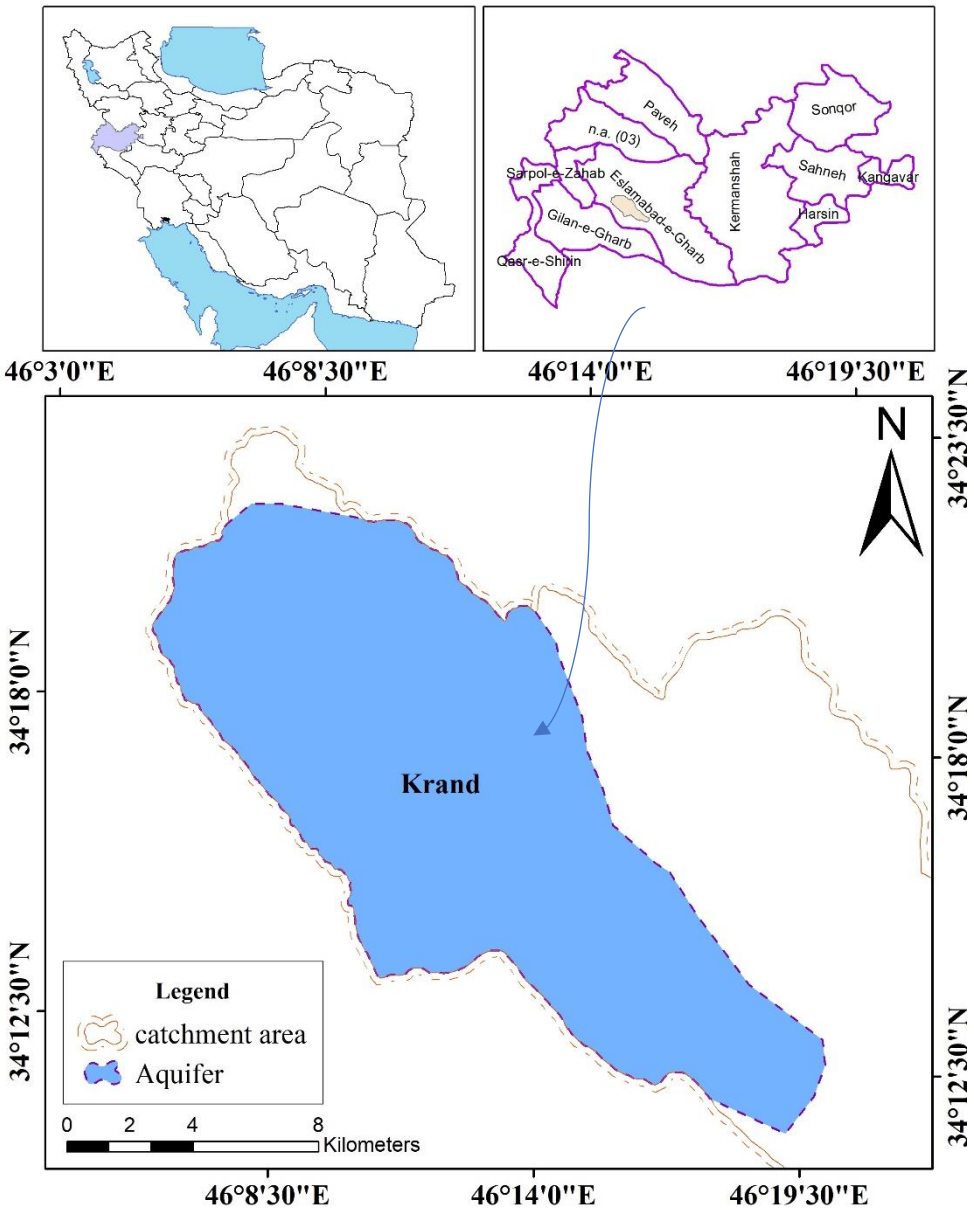
همان‌طورکه در بررسی سوابق مطالعاتی دیده می‌شود، تحقیقات انجام گرفته در زمینه شناخت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی مربوط به انتخاب یا بهینه‌سازی مکان چاه‌های مشاهداتی می‌باشد و هدف آن‌ها بررسی سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی بوده، اما در زمینه چاه‌های بهره برداری و انتخاب چاه‌های معرف برای نظارت مستمر بر بررسی کمی و کیفی هر ساله از چاه‌های بهره‌بردای طبق شناخت ما تا کنون تحقیق جدی و حائز اهمیتی انجام نگرفته است.

با توجه به این‌که منابع آب زیرزمینی در دشت کرند شامل چاه‌ها و چشمه‌ها می‌باشند اکثراً وظیفه تأمین آب موردنیاز مصرف کشاورزی و در مناطقی برای شرب روستائیان دارند. طبق آخرین آماربرداری‌های صورت گرفته برداشت از این منابع روز به روز افزایش یافته و کیفیت آن‌ها نیز رو به نزول است. ازاین‌رو لازم است یک شبکه سنجش کمی و کیفی از منابع آبی محدوده مورد مطالعه جهت آماربرداری مستمر سالانه به-منظور کنترل کمی و کیفی این منابع طراحی نمود. در این پژوهش، بررسی روش فعلی و موجود در کشور برای تعیین چاه‌های بهره‌برداری معرف با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد ارزیابی قرار گرفت و با انتخاب درست چاه‌های بهره‌برداری معرف به تخمین بهتری از میزان تخلیه کل چاه‌ها کمک نموده و باعث صرفه‌جویی زمان و هزینه‌های مربوطه می‌گردد. در نهایت با استفاده از نقشه جانمایی چاه-های شاخص میزان بیلان عمومی محاسبه و با میزان بیلان عمومی بدست آمده از کل چاه‌های محدوده دشت کرند مقایسه و همچنین با تهیه نقشه‌ی هم ارزش پارامترهای کیفی (هدایت الکتریکی، pH و کلر) به ارزیابی موقعیت چاه‌های انتخابی در خصوص برآورد درست از سطح آب زیرزمینی و پارامترهای کیفی پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی کرند در غرب ایران و در استان کرمانشاه قرار دارد (شکل۱). این محدوده در غرب شهرستان اسلام‌آباد غرب بین طول‌های جغرافیائی ´۰۶ °۴۶ تا ´۲۲ °۴۶ شرقی و عرض شمالی ´۰۹ °۳۴ تا ´۲۳ °۳۴ واقع شده است. مهم-ترین رودخانه محدوده رودخانه کرند به‌عنوان سرشاخه اصلی رودخانه راوند محسوب می‌گردد. علاوه بر این رودخانه رودهای زمکان، هورو و بریشاه اشاره کرد. براساس تعریف رودخانه کرند تا محل خسروآباد که خروجی محدوده مطالعاتی است، حوزه آبریز محدوده مطالعاتی کرند محسوب می‌گردد و رودخانه کرند از این محل به بعد که وارد محدوده مطالعاتی اسلام‌آباد می-شود، به نام رودخانه اسلام‌آباد و یا راوند نیز شناخته می‌شود. جهت عمومی رودخانه کرند از شمال غرب به جنوب غرب است. بر طبق گزارش شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه مساحت کلی این محدوده مطالعاتی ۲۵۶/۴ کیلومترمربع است که ۰/۵درصد کل حوزه آبریز کرخه را در برمی‌گیرد. حداکثر ارتفاع حوزه از سطح دریا ۲۴۶۹ متر و حداقل ارتفاع ۱۴۰۴ متر و میانگین ارتفاع ۱۶۷۳ متر می‌باشد. ایستگاه هیدرومتری خسروآباد دبی خروجی را برابر ۰/۴۵مترمکعب بر ثانیه حجم رواناب سالانه ۱۴/۲ میلیون مترمکعب در سال نشان می‌دهد. شایان ذکر است دبی این ایستگاه هیدرومتری در طی دوره ۱۰ساله (۱۳۸۹-۱۳۷۹) نسبت به دراز مدت ۴۵ ساله معادل ۵۷ درصد کاهش یافته است.



شکل ۱- موقعیت دشت کرند در ایران و استان کرمانشاه.

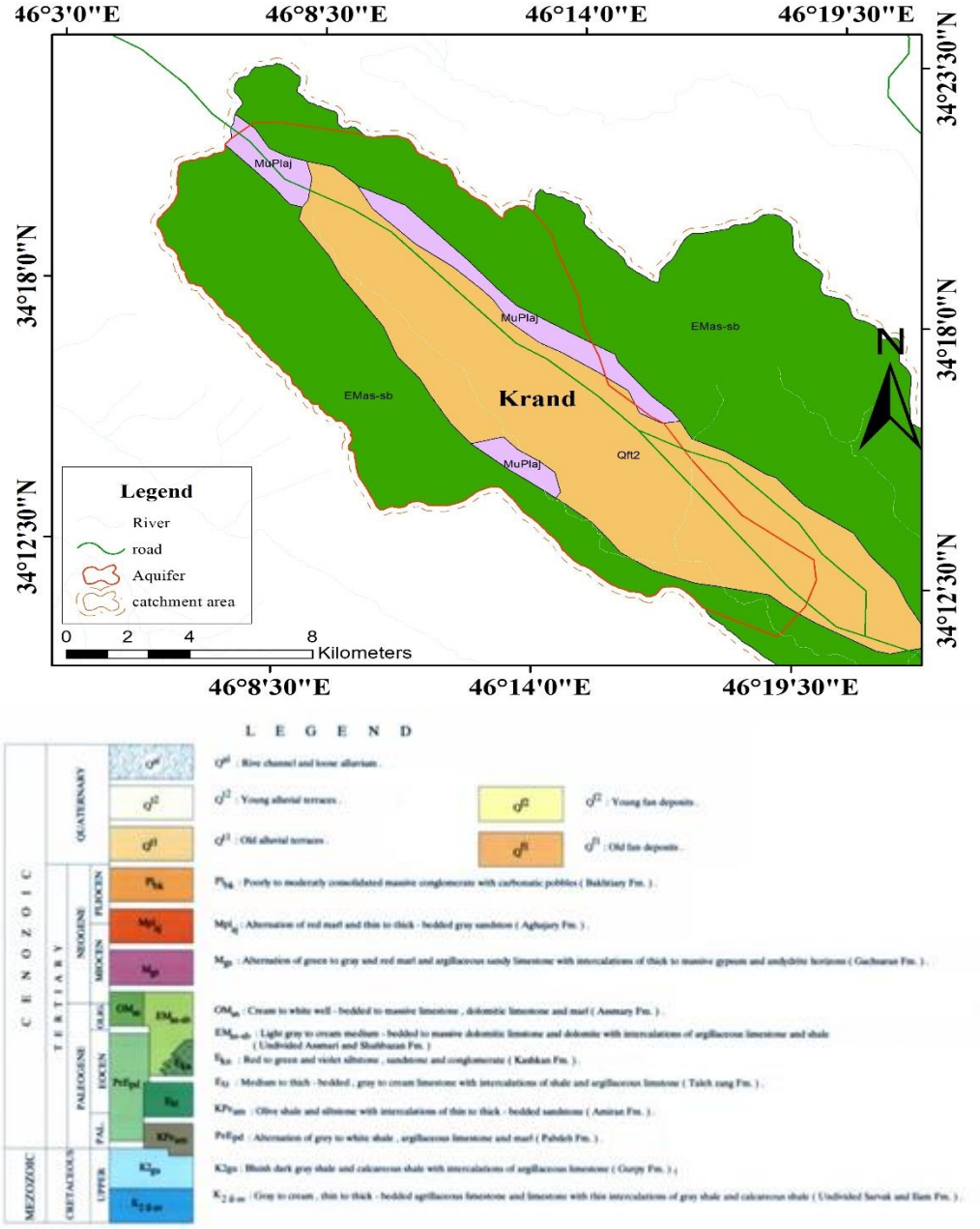
Figure 1- Location of Krand plain in Iran and Kermanshah province.

از نگاه ریخت شناختی، منطقه دارای واحدهای زمین ریختی متفاوتی از کوه و دشت است که در ارتباط مستقیم با ساختارهای زمین شناسی منطقه شکل گرفته‌اند. از این رو راستای آن‌ها نیز با روند عمومی ساختاری‌های منطقه هم‌سویی دارد. تاقدیس‌ها اغلب نقاط بلند و کوه‌های کشیده را شکل داده‌اند. این گونه کوه‌ها بیشتر در بخش‌های جنوب باختری ورقه دیده می‌شوند و ازجمله آن‌ها می‌توان کوه‌های نوا، قلاجه، پیکلاوسی کوزان را نام برد. بلندترین نقطه در ورقه با بلندای ۲۴۵۲ متر در کوه نوا در تاقدیس نوا جای دارد. هسته ناودیس-ها اغلب توسط آبرفت‌ها پوشیده شده و به صورت دشت‌های هموار در بین کوه‌ها دیده می‌شود که دشت کرند یکی از این دشت‌های آبرفتی است. اختلاف فرسایش در واحدهای سنگ چینه‌ای سبب شده تا پاره‌ای از ناودیس‌ها به‌صورت آویخته[2] در آیند و نسبت به تاقدیس‌های مجاور ارتفاع بیشتری داشته باشند. این ریخت‌ها بیشتر در بخش‌های شمال خاوری ورقه دیده می‌شوند و ازجمله آن‌ها می‌توان به کوه گل انجیر، کوه قلعه قاضی، کوه جینه‌بسو و کوه خضرزنده اشاره کرد. کوه‌های

[2] Perch

دالاهو در شمال نقشه نیر کم و بیش ریخت مشابهی دارد. کمترین بلندی منطقه در باختر ورقه کمتر از ۹۰۰ متر ارتفاع دارد. واحد تپه ماهور در واحدهای سنگ چینه‌ای نرم فرسا همانند امیران، آغاجاری و گچساران دیده می‌شود. فرسایش در واحدهای کربناتی بیشتر به صورت انحلالی و خردشدگی فیزیکی و در واحدهای نرم فرسا به صورت شیاری و خندقی است.

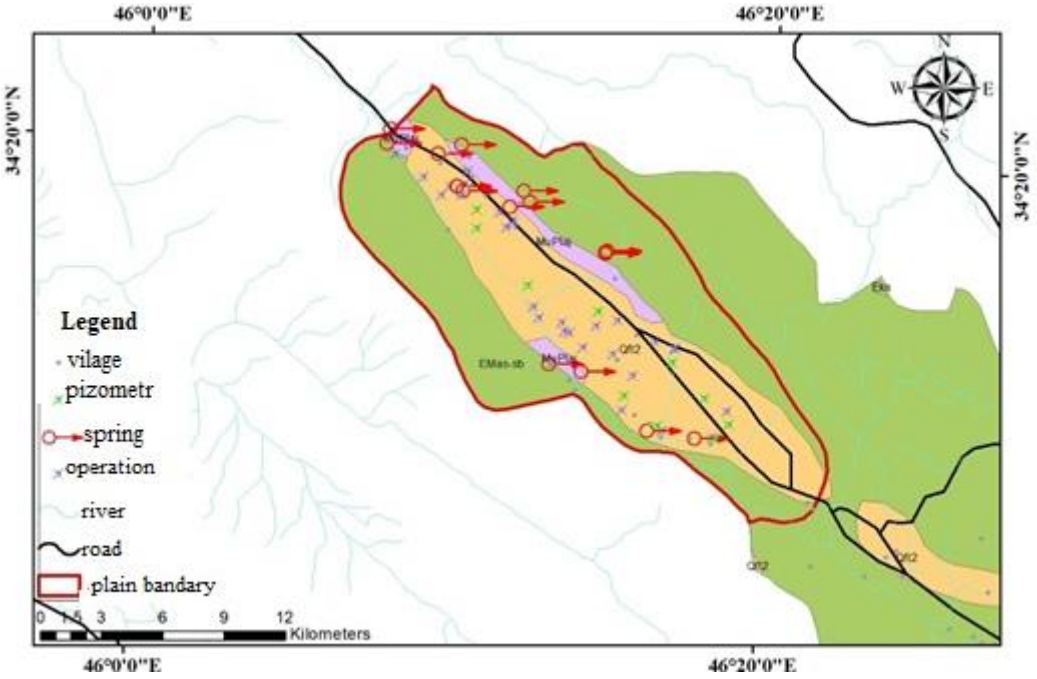
ضریب ذخیره یکی از فاکتورهای مهم هیدرودینامیکی مخزن و بیانگر تغییرات سطح آب در دوره‌های مختلف می‌باشند. تغییرات ذخیره در آبخوان آبرفتی عبارت‌است‌از مجموع ورودی منهای مجموع خروجی که می‌تواند مثبت یا منفی باشد. با استناد به گزارش‌های سازمان آب منطقه‌ای کرمانشاه، ضریب ذخیره (S) و ضریب قابلیت انتقال (T) با استفاده از روش تیسن به‌ترتیب معادل ۰/۰۰۲۷ درصد و ۲۷۷ مترمربع در شبانه روز محاسبه شده است.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دشت کرند.

Figure 2- 1:100000 geological map of Krand Plain.

دشت کرند و ارتفاعات آن به‌ترتیب دارای وسعت ۹۴ و ۱۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. آبخوان آبرفتی از نوع آزاد با وسعت ۹۳/۷ کیلومترمربع ۹۹/۷ درصد از گستره دشت را فراگرفته است. با توجه به اطلاعات موجود، مطالعات قبلی و مشورت‌های انجام شده با اداره محترم آب منطقه‌ای، برای مطالعات منابع آب زیرزمینی دشت کرند از منابع چاه، چشمه و قنات، محدوده زمانی ۲۰ ساله بین سال‌های آبی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ در دستور کار قرار گرفت. اطلاعات موجود برای چاه‌های مشاهده‌ای این دشت ابتدا مورد بررسی قرار گرفت تا نواقص و مشکلات آن استخراج شود، سپس با توجه به چاه‌هایی که دارای اطلاعات مناسب‌تری بودند کار ادامه یافت. طبق آمارهای ثبت شده در آماربرداری سال ۱۳۸۷ منابع بهره‌برداری کننده از آب‌های زیرزمینی در این محدوده شامل ۴۵ حلقه چاه با تخلیه سالانه ۳/۲۷۳ میلیون مترمکعب، ۱۷ دهنه چشمه با تخلیه سالانه ۳/۷۹۴ میلیون‌مترمکعب می‌باشد. موقعیت جغرافیایی چاه‌های بهره‌برداری در شکل ۳ ارائه شده است. تعداد منابع آب زیرزمینی در ناحیه آبرفتی دشت کرند شامل ۴۱ حلقه چاه و ۶ دهنه چشمه با تخلیه سالانه ۳/۲۴ میلیون مترمکعب می‌باشد (آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۸۷).



شکل ۳- موقعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی محدوده دشت کرند.

Figure 3- The location of surface and underground water sources in the Karand plain.

بیلان آب زیرزمینی و بیلان عمومی آب دشت کرند

در یک آبخوان بیلان آب زیرزمینی شامل اجزای مشخص می‌باشد برحسب وجود یا عدم وجود در محاسبات منظور می‌گردد. در محاسبه بیلان آب زیرزمینی کلیه عوامل تغذیه و تخلیه از آبخوان در محدوده بیلان درنظر گرفته‌شده و از معادله زیر استفاده شده است (Sokolov and Chapman, 1974).

$$(P+QRin+QGin+QIm)-(QEr+QEs+QEg+QUs+QROut+QGOut+QEx)=\pm(\Delta Vs+\Delta Vg) \quad (1)$$

میزان تغییرات حجم آب زیرزمینی با تفاضل آب‌های ورودی و خروجی به محدوده‌ی مطالعاتی مطابق رابطه ۱ استفاده شد. همانطور که در رابطه مشخص گردیده است داده‌های میزان بارندگی (P)، جریان سطحی در بالادست (QRin)، جریان آب زیرزمینی ورودی به آبخوان (QGin) و آب‌های انتقالی از خارج محدوده (QIm) به عنوان پارامترهای ورودی و میزان تبخیر تعرق حقیقی (QEr)، تبخیر از سطح آزاد آب (QEs)، تبخیر از آب زیرزمینی (QEg)، آب مصرفی کشاورزی، شرب و صنعت (QUs)، جریان سطحی خروجی از محدوده (Qgout)، جریان آب زیرزمینی خروجی (Qgout)، و آب انتقالی داده شده از محدوده به خارج (QEx) به عنوان پارامترهای خروجی هستند.

تعیین چاه معرف

معمولاً تعداد منابع آب‌های‌زیرزمینی هر منطقه زیاد بوده و به دلیل محدودیت منابع مالی و امکانات اداری، بازدید، اندازه‌گیری و آماربرداری هر ساله از کلیه منابع آبی مقدور نبوده و مراجعه صحرایی هر چند سال یکبار صورت می‌گیرد. به‌طوری‌که متوسط فاصله زمانی آماربرداری در سطح دشت-های کشور ۵ سال و در سطح محدوده‌های مطالعاتی حدود ۱۰ سال می‌باشد. اما با توجه به شرایط آب‌وهوایی، متغیر بودن میزان و نحوه ریزش‌های جوی در روزها، ماه‌ها و سال‌های مختلف، و از آنجا که هدف از مطالعات آب‌های زیرزمینی بررسی تغییرات ماهانه و یا حداقل سالانه وضعیت منابع آب-زیرزمینی و محاسبه بیلان منابع آب در سال‌های مختلف می-باشد، لذا این توالی نمونه‌برداری طولانی است. از طرفی همانطور که گفته‌شد نمونه‌برداری هرساله از تمامی منابع آبی غیرممکن و حتی در صورت امکان غیراقتصادی می‌باشد. لذا می‌بایست روشی ارائه نمود که بدون آمارگیری مستقیم از کلیه منابع آبی منطقه بتوان میزان تخلیه و تغییرات آن در زمان‌های معین و کیفیت منابع را با دقت لازم و کافی برآورد نمود. بدین منظور پس از مشخص کردن محدوده مطالعاتی و جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز در مورد آن نظیر موقعیت جغرافیایی منطقه، تعداد کل منابع آبی و مشخصات آن‌ها، شناسایی منابع آلاینده، وضعیت آب‌وهوایی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی و غیره با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی[3] در هر گروه از منابع آبی (چاه، چشمه و قنات) جهت طراحی شبکه بهینه سنجش کمی و کیفی منابع آب‌زیرزمینی استفاده گردید. لازم به ذکر است طراحی شبکه کمی باید بتواند اهدافی همچون برآورد تخلیه و تغییرات آبخوان را بازگو کند. ضمن اینکه شبکه کمی نیز قادر به آشکارسازی تغییرات شیمیایی یا کیفی آبخوان باشد. با توجه به دستورالعمل‌های موجود در مرحله نخست شبکه کمی به منظور تعیین تخلیه آب زیرزمینی طراحی می-گردد. این شبکه بر مبنای چاه‌های بهره‌برداری و چشمه‌های منطقه انجام می‌گیرد.

بر طبق دستورالعمل معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۹۳) مراحل کلی تعیین چاه معرف شامل سه مرحله است.

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

مدل AHP یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین تکنیک‌هایی است که برای اولین بار توسط Saaty, (1980) طرح شد. این تکنیک براساس مقایسه‌های دو به دو بنا شده و امکان بررسی و تصمیم‌گیری مسائل با معیارهای چندگانه و کمی و کیفی را با یکدیگر امکان‌پذیر می‌سازد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل اهداف، معیارها یا مشخص‌ها و گزینه‌های احتمالی است که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند (طاهری، ۱۳۹۳).

فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود، ساختن سلسله مراتبی نامیده می‌شود. بنابراین اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد بررسی است که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بیت آن‌ها نشان داده می‌شود. تبدیل موضوع با مسئله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی مهمترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را به شکلی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد تبدیل می‌کند.

ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، مطابق جدول ۱ دو به دو باهم مقایسه می‌شوند. مبنای قضاوت در این امر مقایسه‌ای کمیتی است که براساس آن و باتوجه به هدف بررسی، شدت برتری معیار i نسبت به معیار j، aij تعیین می‌شود. تمامی معیارها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند. در این بررسی مقایسه دودوئی معیارها و زیرمعیارها در نرم‌افزار GIS از اکستنشن AHP استفاده گردید. برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها می‌توان از چهار روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی استفاده کرد، از این روش‌ها، روش بردار ویژه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است (طاهری و همکاران، ۱۳۹۵). در این

[3] Analytic Hierarchy Process

پژوهش از روش برداری به بررسی شاخص نرخ ناسازگاری برای امتیازدهی معیارها استفاده گردید.

جدول۱- مقیاس ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسه زوجی معیارها.

Table1- 9 hourly quantitative scale for pairwise comparison of measures.

Score	Preferences (verbal judgment)	Row
1	Equal importance	1
3	A little more important	2
5	More important	3
7	Much more important	4
9	Absolute importance	5
2, 4, 6, 8	Preferences between the above intervals	6

طبق مطالب ارائه شده در بخش بالا کار در سه مرحله انجام شد. مرحله ۱) تعیین مشخصات اصلی از جمله نوع آبخوان و نوع آبرفت، عمق چاه و عمق سطح آب، نوع مصرف، میزان آبدهی و ساعت کارکر که بر میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری مؤثر هستند در محدوده کرند با کمک کارشناسان بخش بیلان و منابع آب شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه این اطلاعات در طی دوره‌ی (۱۳۸۰-۱۳۹۵) اخذ گردید. و سپس مرحله دوم گروه-بندی مناسب چاه‌ها بر اساس مشخصات تعیین شده در مرحله اول انجام می‌شود که در این پژوهش نیز طبق نظر و تجربیات کارشناسان، دسته‌بندی معیارها انجام شد و سپس براساس آن‌ها از اطلاعات ثبت شده در چاه‌های مشاهداتی، چشمه و قنات موجود در دشت که توسط کارشناسان آب منطقه‌ای کرمانشاه اندازه‌گیری شده است، استفاده شد. مرحله آخر انتخاب چاه معرف در گروه‌های تعیین شده می‌باشد در اینجا انتخاب براساس نقشه‌ی نهایی بدست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی و صحت سنجی آن با داده‌های کمی (میزان تخلیه و مصرف چاه‌های بهره‌برداری و عمق سطح ایستابی) و کیفی (پارامترهای هدایت الکتریکی، Ph و کلر) انجام گردید.

سپس از منابع انتخابی شاخص میزان آبدهی و عمق سطح ایستابی جهت محاسبات کمی اندازه‌گیری می‌شود. همچنین نمونه‌برداری از این منابع جهت اندازه‌گیری پارامترهای کیفی و آنالیز کیفیت آب صورت می‌گیرد که در این تحقیق صرفاً از نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های موجود در بانک‌های اطلاعاتی استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

آب‌های ورودی – آب‌های خروجی و تغییرات حجم ذخیره

از آنجاکه منابع آب زیرزمینی دشت کرند برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و این منابع با کاهش بارندگی در تغذیه آن همانند سایر مخازن آب زیرزمینی در سایر نقاط دیگر کشور با مشکل روبرو است لذا برای شناخت بهتر در خصوص میزان آب ورودی و خروجی و اهمیت آمار و اطلاعات اندازه‌گیری شده از منابع آبی در خصوص برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در ابتدا بیلان عمومی محاسبه و سپس در ادامه شبکه پایش با روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. برای محاسبه بیلان آب آب‌های که به‌نحوی وارد محدوده مطالعاتی می‌شوند به ترتیب: بارندگی، جریان‌های سطحی ورودی (QRin) و انتقالی(QIm) و جریان زیرزمینی ورودی (QGin) است. بارندگی با استفاده از نقشه‌های هم‌باران و مساحت ارتفاع و دشت محاسبه می‌شود. در محدوده مطالعاتی حجم بارش متوسط سالانه بر سطح ارتفاعات برابر با ۸۶/۸۵ میلیون-مترمکعب و حجم بارش متوسط سالانه بر سطح دشت ۳۶/۶۸ میلیون مترمکعب در سال در سطح محدوده می‌باشد. جریان‌های سطحی ورودی (QRin) به‌صورت (ثقلی) و به‌طور طبیعی از محدودهای بالادست وارد محدوده مورد مطالعه می‌شوند و آب‌های سطحی انتقالی (QIm) انتقال آب از خارج محدوده است، که به هر شکل ازجمله یک سد به محدوده مطالعاتی انتقال می‌یابد. در محدوده مطالعاتی دشت کرند جریان سطحی ورودی به حالت انتقالی از محدوده‌های مطالعاتی مجاور وجود ندارد. جریان زیرزمینی ورودی جریانی است که از دشت بالادست وارد می‌شود و مقدار آن با استفاده از معادله فارسی محاسبه می‌گردد. در محدوده مطالعاتی کرند جریان زیرزمینی ورودی به حالت انتقالی از محدوده‌های مطالعاتی مجاور به این محدوده مطالعاتی وجود ندارد. بنابراین مجموع عوامل ورودی بیلان عمومی آب در محدوده مطالعاتی دشت کرند در سال ۱۳۹۰ برابر با ۲۵/۸ میلیون مترمکعب در سال است (گزارش آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۵).

آب‌هایی که به نحوی مانند جریان‌های خروجی، تبخیر و تعرق و مصارف از محدوده خارج می‌شوند بعنوان عوامل خروجی بیلان بترتیب: تبخیر و تعرق حقیقی (QEr)، تبخیر از سطح آزاد آب (QEs)، تبخیر از آب زیرزمینی (QEg)، مصارف آب (QUs)، جریان سطحی خروجی (QROut) و جریان زیرزمینی

خروجی (QGOut) هستند. حجم تبخیر از بارندگی می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق حقیقی از بارندگی در محدوده مطالعاتی کرند برابر ۱۰۶/۳۳ میلیون مترمکعب در سال است که معادل ۹۱/۷ درصد بارندگی در سطح محدوده مطالعاتی می‌باشد. حجم تبخیر از سطح دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی مثل دریاچه پشت سدها می‌باشد. در محدوده مطالعاتی کرند ناچیز بوده و در بیلان عمومی این مقدار صفر در نظر گرفته شد. حجم تبخیر از آب زیرزمینی از قسمت‌هایی است که سطح آب زیرزمینی در آن قسمت‌ها به سطح زمین نزدیک می‌باشد. از چند طریق ازجمله استفاده از منحنی وایت محاسبه می‌شود. در محدوده مطالعاتی کرند حجم تبخیر از آب زیرزمینی برابر با ۱/۲ میلیون مترمکعب در سال است. مصارف آب عبارت از مجموع آب‌های استفاده‌شده شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده و یا انتقالی می‌باشد، که به مصرف کشاورزی، شرب و صنعت می‌رسد. بنابراین این میزان حجم آب تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت ۳/۲۴ میلیون مترمکعب است. همان‌طور که گفته شد، از آنجا که در عوامل ورودی آب برگشتی از مصارف به رودخانه و آبخوان حذف شده‌اند، لذا مصرف خالص که جزئی از تبخیر و تعرق‌ها به‌حساب می‌آید، در این قسمت منظور شده است. مجموع مصارف آب در محدوده مطالعاتی کرند برابر ۷/۱۳ میلیون مترمکعب در سال که ۴۶/۲۲ درصد آن برای کشاورزی، ۵۳/۸۱ درصد برای شرب و مابقی برای صنعت استفاده می‌شود.

حجم آب برگشتی از مصارف آب ۲/۱۸ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردیده است. مقداری از آن موجب تغذیه آبخوان آبرفتی شده و مقداری نیز به‌صورت زه‌آب به جریان‌های سطحی ملحق می‌گردد. بنابراین حجم کل مصرف خالص در سطح محدوده مطالعاتی کرند ۴/۹۵ میلیون مترمکعب در سال است. جریان سطحی خروجی توسط رودخانه‌ها در قسمت خروجی یک محدوده مطالعاتی به محدوده پایین‌دست با درنظر گرفتن مقادیر اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه‌های هیدرومتری ناحیه خروجی و یا با استفاده از روابط و روش‌های ریاضی و تجربی محاسبه می‌شود. جریان سطحی خروجی تعدیل‌شده از محدوده مطالعاتی کرند برای شرایط پایدار کنونی ۱۳/۳۷ میلیون مترمکعب در سال است که وارد محدوده مطالعاتی ایستگاه اسلام‌آباد می‌گردد. جریان زیرزمینی خروجی آب انتقالی که می‌توان آن را آب صادراتی از محدوده مطالعاتی نیز نامید، در معدودی از محدوده‌ها وجود دارد.

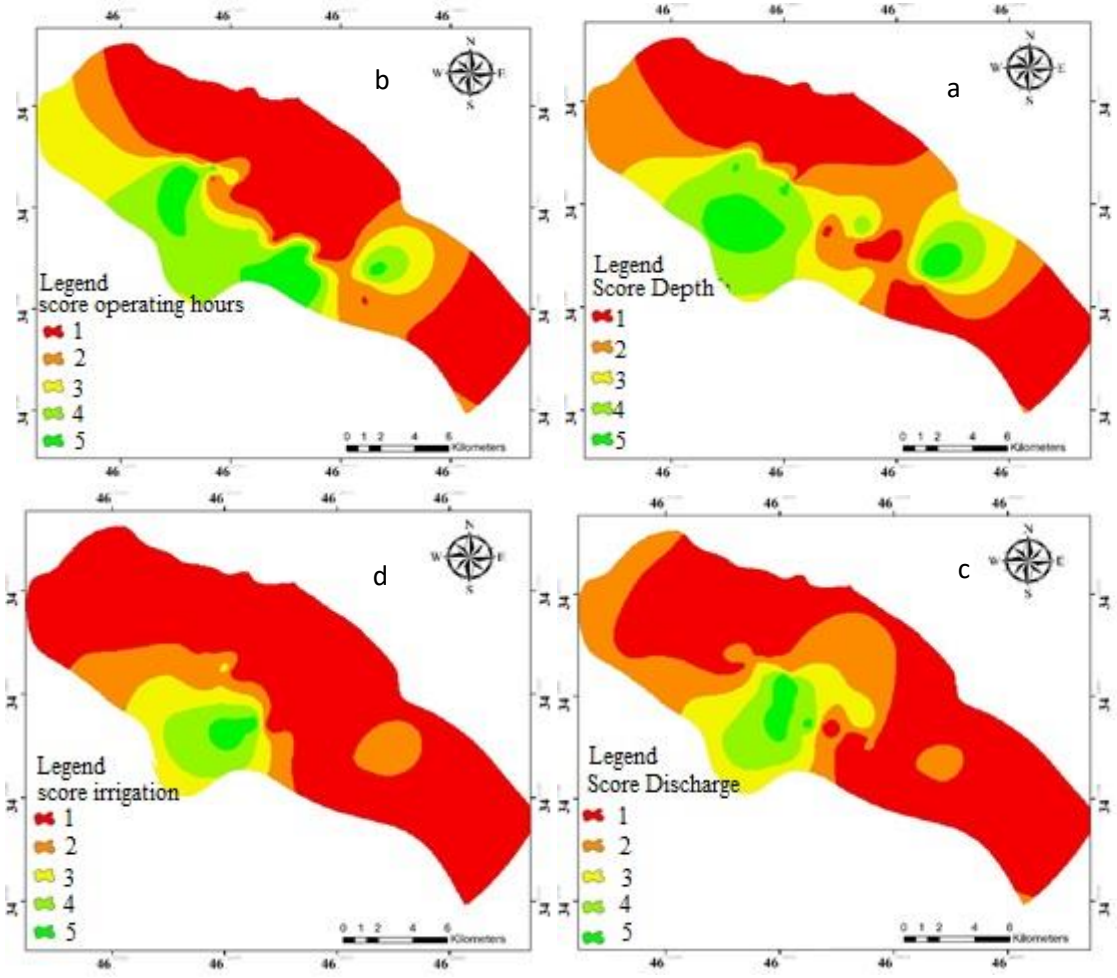
محاسبه دقیق بیلان گام مهمی برای دست‌یابی به مدیریت پایدار می‌باشد. در آبخوان‌هایی که نرخ بیلان (میزان ذخیره) مثبت می‌باشد می‌توان شرایط لازم جهت توسعه کشاورزی را بررسی کرد اما در حال حاضر در اکثر آبخوان‌هایی که در آن‌ها کشاورزی توسعه یافته است با بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی نرخ بیلان منفی بوده و حتی تعدادی از دشت‌های کشور به همین دلیل به دشت‌های ممنوعه تبدیل گشته‌اند و سفره آب زیر زمینی در این دشت‌ها افت زیادی یافته است. تخمین دقیق بیلان بخصوص در آبخوان‌های با بهره‌برداری زیاد اهمیت بیشتری دارد. بیلان عمومی یا تغییرات حجم ذخیره آبخوان دشت کرند با توجه به میزان تخلیه و مصرف مشخص گردید که در میزان کل تخلیه دشت ۴/۰۵ میلیون مترمکعب، میزان ورودی ۲۱/۳۹ میلیون مترمکعب، میزان مصارف ۲۱/۶ میلیون مترمکعب و میزان هدر رفت ۰/۲۲– میلیون مترمکعب است.

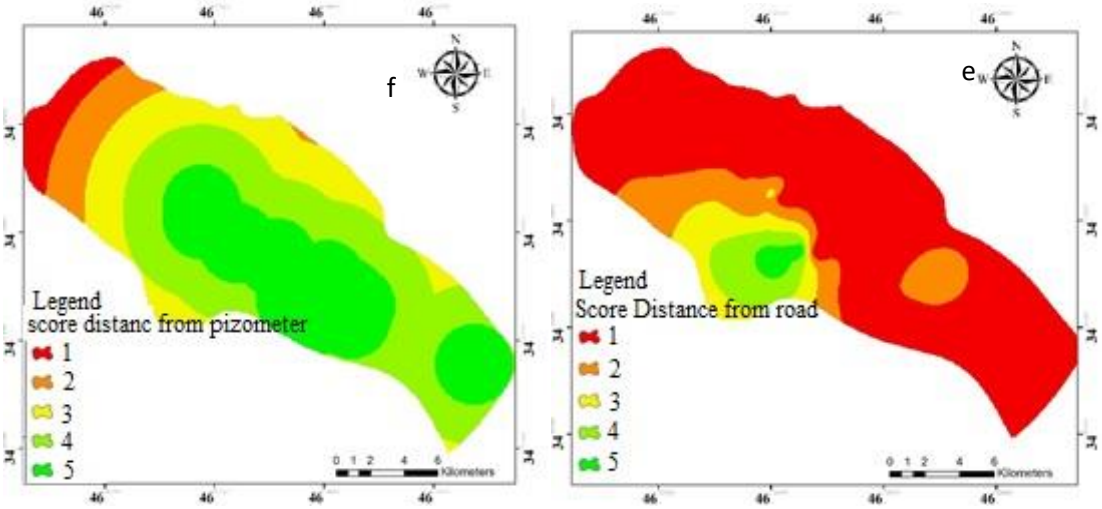
آنالیز مکانی در ArcGIS

برای آنالیز مکانی عوامل مؤثر در طراحی شبکه انتخابی پایش آب زیرزمینی دشت کرند، نخست داده‌های دبی، عمق، میزان تخلیه سالانه، ساعت کارکرد منابع آبی با روش کریجینگ که به عنوان روشی دقیق برای درون‌یابی است، استفاده شد و لایه‌های رستری تهیه شدند. بعد از تهیه لایه‌های رستری هر لایه طبقه‌بندی[4] مجدد شده و تقسیمات هر لایه براساس اهمیت از یک تا پنج مرتبط شدند. شکل ۴-الف رتبه-بندی لایه عمق چاه‌ها را نشان می‌دهد. رتبه‌بندی به این صورت انجام شد که متوسط عمق چاه‌ها بدست آمده از لایه‌ی رستری ۳۷ متر بدست آمد و سپس طبقه‌بندی لایه براساس ۳۰ به نسبت دوری و نزدیکی به آن به ۵ دسته امتیاز بندی (یک تا پنج) داده شد. بدین صورت که بالاترین امتیاز به نقاطی قرار می‌گیرد که در محدوده ۳۰ متری قرار دارد و که در دشت کرند بخش‌های شرق و غرب دشت دارای امتیاز چهار و پنج هستند. شکل ۴-ب رتبه‌بندی ساعات کارکرد منابع آبی را

[4] Reclassfy

نشان می‌دهد و مطابق رتبه‌بندی بیشترین ساعات کارکرد مربوط به بخش غرب و قسمتی کمی از شرق دشت است و دارای امتیاز چهار و پنج می‌باشد. شکل ۴-ج رتبه‌بندی لایه دبی را نشان می‌دهد مطابق آن منابع آبی که در قسمت شرق دشت قرار دارند دارای آبدهی بالاتری هستند و بیشتر منابع آبی دیگر دارای آبدهی کم و کمترین امتیاز را در رتبه‌بندی دارند. آبدهی منابع آب محدوده دشت کرند بین ۰/۳ تا ۳۴/۸ لیتر در ثانیه متغیر می‌باشد. مطابق شکل ۴-د رتبه‌بندی میزان تخلیه در بخش‌های شرقی همانند نقشه‌رتبه‌بندی لایه آبدهی دارای بیشترین امتیاز بوده بدین معنا که در این ناحیه بیشترین میزان تخلیه دارد. رتبه‌بندی فاصله از جاده دسترسی در دشت و حریم فاصله ۱۰ متری منابع آبی از یکدیگر انجام و رتبه‌بندی شد و بیشترین امتیاز به مناطقی تعلق گرفت که نسبت به جاده دسترسی دارای فاصله کمتر و فاصله حریم پیزومترها کمتر باشد و در فاصله نزدیک به یکدیگر حفاری شده است.





شکل۴- دسته‌بندی و طبقه‌بندی لایه‌های الف) لایه عمق چاههای کرند، ب) ساعت کارکرد کل، ج) لایه آبدهی، د) تخلیه سالانه بر حسب لیتر، ه) بافر فاصله از جاده دسترسی، و)حریم فاصله از پیزومترهای آبخوان دشت کرند.

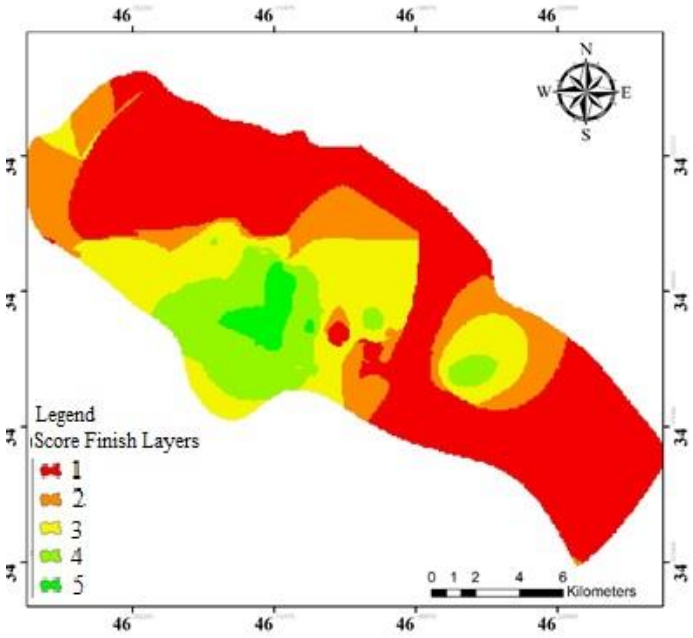
Figure 4- Classification and classification of layers a) depth layer of Karand wells, b) total operating hours, c) irrigation layer, d) annual discharge in liters, e) distance buffer from the access road, f) privacy distance from piezometers aquifer of the plain.

بعد از رتبه‌بندی لایه‌های رستری معیارهای مورد نظر براساس جدول ماتریس مقایسه دوتایی تهیه گردید. لازم به ذکر است که جهت یافتن ضریب اهمیت واحدهای زیرمعیار از ۱۰ کارشناس منابع آب و آب زیرزمینی نظرسنجی از طریق پرسشنامه انجام شد. سپس همانطور که در جدول ۲ ضریب معیارهای اصلی با استفاده از مقایسه دوتایی با اکستنشن AHP در محیط ArcGIS به دست آمد. همپوشانی لایه‌ها از ابزار raster calculate استفاده شده و ضریب معیارهای اصلی در نقشه‌های وزنی ضرب و نهایتاً از جمع جبری ۶ لایه باهم لایه نهایی حاصل می‌گردد. بعد از تهیه لایه رستری مناطق مناسب برای انتخاب چاه‌ها لایه‌ای که بالاترین امتیاز (شماره چهار و پنجم) را داشته باشد به عنوان لایه معرف انتخاب گردید. در شکل ۶ نقشه تهیه شده حاصل از جمع‌جبری لایه‌های وزنی ششگانه ارائه شده است. در ادامه با تبدیل این لایه به پلی‌گون با دستور Clip چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌هایی که در این زون (ناحیه معرف) قرار می‌گرفتند انتخاب شدند. چاه‌هایی که از نظر رضایت مالک، نوع سیستم برقی یا دیزلی مناسب بوده انتخاب و چاه‌هایی که به شبکه توزیع روستایی متصل نبوده و فاقد تجهیزات و متروکه بودند از این مجموعه حذف شدند و نهایتاً از میان چاه‌های واقع شده در این منطقه و نهایتاً ۱۲ چاه به عنوان چاه‌های انتخابی برای طراحی شبکه کمی و کیفی و برآورد تخلیه از دشت کرند انتخاب گردید.

جدول۲- ماتریس مقایسه دودوئی ساعتی برای معیارهای آبدهی (دبی)، عمق چاه، تخلیه سالانه، فاصله از جاده دسترسی، فاصله از پیزومتر و کارکرد سالیانه.

Table 2- hourly binary comparison matrix for water flow (flow rate), well depth, annual discharge, distance from access road, distance from piezometer and annual operation.

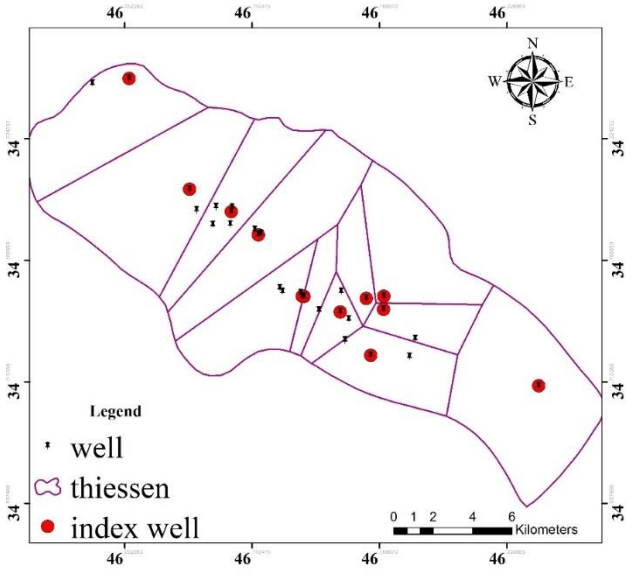
Criteria	Discharge	Depth	annual operation	Access road	Distance from Pizometer	annual operation	Score
Discharge	1	5	3	5	7	8	0.4512
Depth	-	1	3	6	6	3	0.2402
annual operation	-	-	1	3	1	1	0.105
Access road	-	-	-	1	3	7	0.1064
Distance from Pizometer	-	-	-	-	1	1	0.0478
annual operation	-	-	-	-	-	1	0.0495
Final weight	0.4512	0.2402	0.105	0.1064	0.0478	0.0495	CR=0.186



شکل ۵- جمع‌جبری لایه‌های وزنی ششگانه دشت کرند.

Figure 5- Algebraic summation of the six weighted layers of Krand plain.

بعد از انتخاب چاه‌های شاخص با ایجاد پلیگون تیسن محدوده‌هایی که هر چاه می‌توانست به عنوان معرف درنظر گرفته شود مشخص گردید. برهمین مبنا ۱۲ ناحیه در نظر گرفته شد. با دستور Clip چاه‌های بهره‌برداری همه چاه‌های منطقه در گروه‌های ۱ تا ۱۲ دسته‌بندی شدند (شکل۷).



شکل۶- دسته‌بندی چاههای دشت کرند بر مبنای گروههای دوازده‌گانه.

Figure6- Classification of wells in the Krand Plain based on twelve groups.

با توجه به چاه‌های معرف بیلان دشت کرند میزان تخلیه حدوداً ۴/۳۶ میلیون مترمکعب و میزان ورودی ۲۱/۳۹ میلیون مترمکعب، میزان مصارف مطابق چاه‌های معرف ۲۱/۹۳ میلیون مترمکعب، میزان هدر رفت ۰/۵۵- میلیون مترمکعب حاصل شد وخطای مطلق میزان تخلیه که از میزان اختلاف بیلان عمومی دشت کرند در حالت وجود کل منابع و بیلان عمومی دشت کرند برای چاه‌های شاخص در حدود ۰/۳۳ بدست آمد که این میزان اختلاف نسبت به ۲۳۵ کیلومتر مربع کل دشت عددی ناچیزی به عنوان خطا است که می‌توان آن را مناسب دانست.

برآورد تخلیه از چاههای بهره‌برداری آبخوان دشت کرند

باتوجه به دستورالعمل ابلاغی و بر مبنای روش پیشنهادی شاه حسینی (۱۳۸۷) بعد از دسته‌بندی چاههای آبخوان دشت کرند میزان تخلیه از رابطه ۲ برای هر گروه به دست می‌آید:

$$O_t = \frac{O_{group\ year} \times O\ select_t}{O\ select_{year}} \times 3.6 \qquad (۲)$$

که در آن O_t: تخلیه ماهانه برحسب مترمکعب، $O_{group\ year}$: تخلیه سالانه گروه برحسب مترمکعب، $O\ select_t$ تخلیه ماهانه چاه انتخابی در ماه مورد نظر برحسب مترمکعب، $O\ select_{year}$ تخلیه سالانه چاه انتخابی در زمان آماربرداری برحسب مترمکعب.

توجه به این نکته ضروری است که برآورد تخلیه ماهیانه هم از این رابطه به دست می‌آید با این تفاوت که تخلیه در ماه مورد نظر به جای فصل قرار می‌گیرد. نظر به خاموش بودن چاه‌ها در دی ماه ۱۳۸۷ این رقم برای دشت کرند صفر است. بر این اساس در این گزارش به منظور واسنجی روش از آمار فصل تابستان در زمان آماربرداری استفاده شده است . لازم به ذکر است که آخرین آماربرداری سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ انجام شد و تا زمان انجام پژوهش آخرین گزارش نهایی شده در آماربرداری برای دوره‌ی مذکور بوده است. نتایج با حاصلضرب آبدهی چاهها در ساعت کارکرد در سال آماربرداری کنترل شده و میزان تخلیه در کل دشت در تابستان ۲/۵۳ میلیون مترمکعب حاصل شد، نتایج حاکی از انطباق و صحت روش است.

جدول۴- لیست چاه‌های انتخابی دشت کرند.

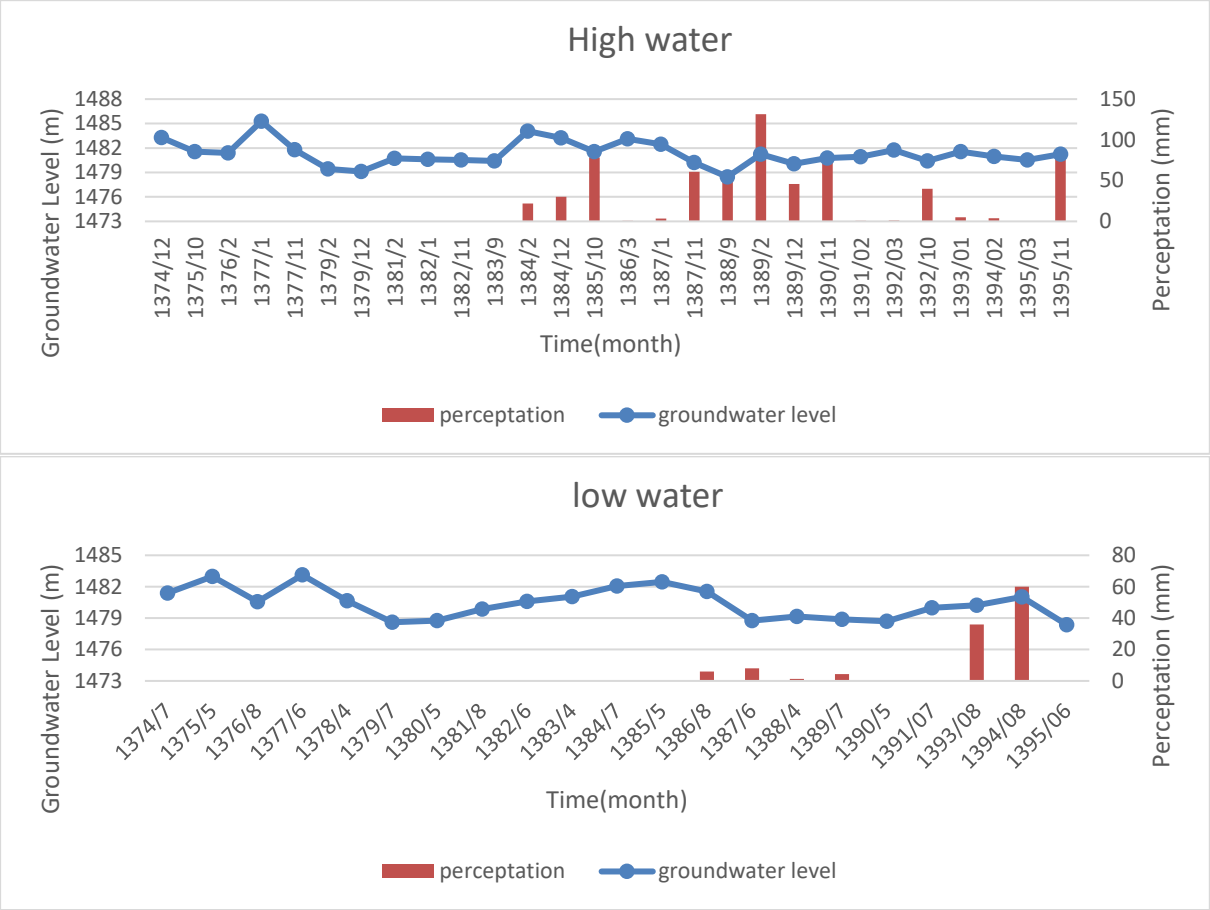
Table 4-List of selected wells in the Krand plain.

(M^3) Operation groups	Select operation (M^3)well	well	Owner name	Row
212.85	111.95	2	Vilage	1
3.56	1.78	3	Iraj Fathi mehr	2
6.55	1.31	5	Babak miladi	3
37.3	19.33	4	Vilage	4
115.59	52.53	3	Ali farzaneh	5
21.52	10.76	2	Kumars Rahimi	6
13.36	6.68	2	Kumars Rahimi	7
0.276	0.92	3	Shadman Hayati	8
10.16	6.58	4	Rahbar Hossini and Parviz Hidari	9
3.14	2.06	2	Kumarz Ashabi	10
179.43	139.43	10	Ahmad Raki (watring)	11
689.05	365.97	5	Mian tang vilage	12
1292.78	719.3	SUM		

هیدروگراف معرف آبخوان

با استفاده از نتایج اندازه‌گیری طولانی‌مدت سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای آبنمود (هیدروگراف) معرف تغییرات سطح آب آبخوان آبرفتی دشت کرند ترسیم‌شده است (شکل ۷). آبنمود معرف آبخوان دشت کرند با استفاده از تیسن‌بندی مربوط به سال آبی ۷۵-۱۳۷۴ لغایت ۹۵-۱۳۹۴ می‌باشد. بر اساس آبنمود تهیه‌شده در طول دوره آماری ۲۰ ساله سطح آب زیرزمینی ۳/۳۳ متر افت داشته است که متوسطه سالیانه آن برابر ۰/۲۱ متر می‌باشد. مطابق آبنمود ارائه شده و بارندگی همزمان، آبنمود آبخوان آبرفتی دشت کرند متأثر از نزولات جوی دارای فراز و فرودهای فصلی می‌باشد بدین صورت که در ماه‌های بارندگی زیاد چون نفوذ به منابع زیرزمینی زمان‌بر است و با تأخیر رخ می‌دهد لذا بعد مدتی کوتاهی باعث افزایش سطح آب زیرزمینی شده است این امر را می‌توان در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۲ در نمودار مشاهده نمود و بالعکس در زمان کاهش بارندگی و مصرف سطح آب زیرزمینی با تأخیر کاهش یافته است، بطوری که از سال ۱۳۸۴ به بعد با توجه به اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی در این دشت با شیب ۰/۰۴۳ (ماهانه) افت نموده است. این کاهش سطح آب زیرزمینی و افزایش برداشت از منابع زیرزمینی منجر به منفی شدن بیلان دشت شده و همین امر بایستی در اندازه-گیری سطح آب زیرزمینی دقت نمود بخصوص نواحی که

میزان آب برداشت از مخزن آب زیرزمینی دشت زیاد و بارندگی کم است. بنابراین برای کاهش هزینه استفاده از چاه‌های شاخص می‌تواند در این امر کمک کننده باشد.



شکل ۷- هیدروگراف معرف آبخوان دشت کرند در دو ماه پر آب و کم آب.

Figure7- representative hydrograph of the Karand Plain aquifer in two months of high and low water.

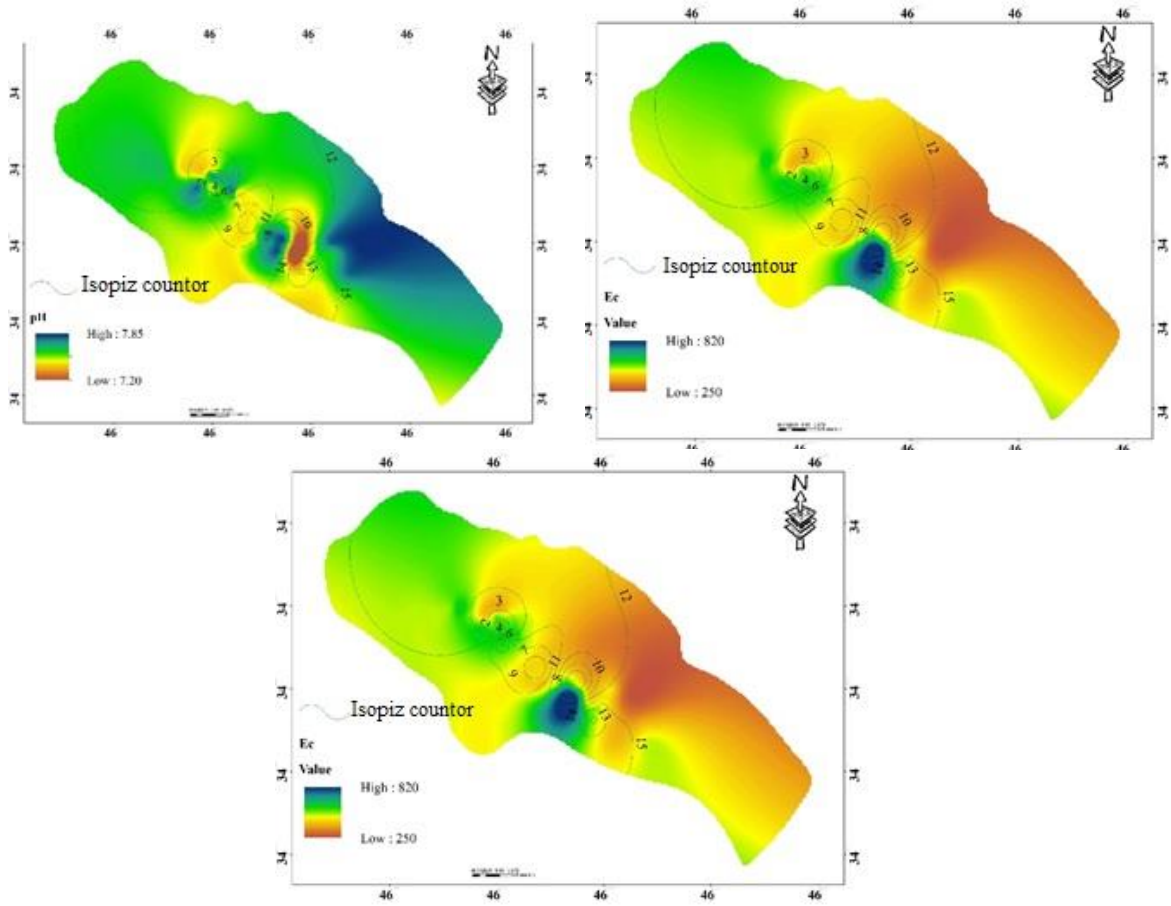
واسنجی روش و مدل طراحی شبکه

بدلیل اینکه پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، pH و کلر با میزان مصرف کودها و کاهش سطح ایستابی منابع زیرزمینی افزایش می‌یابد در صحت‌سنجی چاه‌های شاخص می‌تواند کمک کننده باشد. نقشه‌های هم ارزش چاه‌های انتخابی موجود برای این سه پارامتر در شکل‌های ۸ نشان داده شده‌اند. با مطالعه خصوصیات هیدروژئوشیمی منطقه و تهیه نقشه هم عمق آب زیرزمینی می‌توان نتیجه گرفت که روند کلی کاهش عمق آب زیرزمینی از جنوب دشت به سمت شمال دشت وجود دارد. بیشترین میزان عمق آب زیرزمینی در ناحیه جنوب دشت قرار دارد. طبق مطالعات چاه‌های آب زیرزمینی دشت کرند آبخوان آبرفتی از نوع آزاد است و جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب و جنوب شرقی به سمت مرکز می‌باشد.

در خصوص کیفیت منابع آب زیرزمینی در قسمت شرقی از نظر شوری زیاد و منابع آب در دو کلاسه C2S1 و C3S1 قرار دارد. میزان تخلیه در شهریور ماه سال ۸۷ که چاه‌های معرف اندازه‌گیری شده‌اند میزان تخلیه متوسط دشت در شهریور سال ۱۳۸۷ آماربرداری انجام شده با استفاده از چاه‌های معرف ۴۲۱۶۳۵۶ مترمکعب حاصل گردید.

با توجه پهنه‌بندی نسبت جذب سدیم (SAR) و هدایت الکتریکی (EC) محدوده طبقه‌بندی آب‌های خوب برای کشاورزی و منابع آب زیرزمینی دشت کرند براساس طبقه‌بندی ویلکاکس در طبقه‌های C2S1 و C3S1 قرار دارد و براساس

پارامتر pH برای مصرف شرب مشکلی ندارد و مقدار pH در محدوده ۷ تا ۸ متغیر می‌باشد (شکل ۹ ج). در مناطقی بخش غربی میزان هدایت الکتریکی بیشتر از سایر مناطق دیگر است. با توجه به اینکه در مناطقی که بارندگی کم، برداشت زیاد گردد و میزان شوری با کاهش سطح آب و میزان مصرف کودهای کشاورزی که در زهکشی‌ها وارد منابع زیرزمینی می‌گردد، ارتباط دارد و منطقه‌ی شاخص برآورد شده در این ناحیه قرار دارد لذا در انتخاب درست و اندازه‌گیری این چاه‌ها برای کاهش هزینه‌ها در پایش اطلاعات در دشت کرند می‌تواند جوابگو باشد. لذا از منظر شرایط ژئومورفولوژی نیز بررسی شد و با توجه به توزیع مناسب چاه‌های انتخابی در سه بخش ورودی، خروجی و مرکز دشت می‌توان از منظر ژئومورفولوژی توزیع را درست قلمداد کرد.



شکل۸- پهنه‌بندی پارامترهای کیفی دشت کرند.

Figure 8- Zoning of qualitative parameters of the plain.

نتیجه‌گیری

از آنجاکه که یکی از عوامل مؤثر در محاسبه بیلان آب منابع زیرزمینی میزان تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری است لذا تعیین درست چاه‌های معرف موجب افزایش دقت تخمین و همچنین تعداد بهینه آن‌ها موجب کاهش هزینه و زمان صرف شده جهت اندازه گیری می‌گردد، بنابرین با انتخاب بهینه چاه-های بهره‌برداری معرف در سفره‌های آب زیرزمینی می‌توان به شناخت مناسب از میزان تخلیه چاه‌ها و نظارت مستمر وضعیت کمی آبخوان‌ها که در مدیریت منابع آب‌زیرزمینی حائز اهمیت است دست یافت. در تحقیق حاضر مطالعات پایه زمین شناسی، هیدروژئولوژیکی، هیدروشیمیایی، بیلان منابع آبی و تحلیل سلسله مراتبی آب زیرزمینی در دشت کرند انجام شد که خلاصه نتایج به شرح زیر است.

مطابق گزارشات پیشین در زمینه محاسبه بیلان دشت کرند طی سال‌های آبی (۱۳۷۴-۱۳۷۵) تا (۱۳۸۹-۱۳۹۰)، ۰/۳۲ میلیون مترمکعب آب در طول این سال‌ها از حجم آب آبخوان

کاسته شده است، که نشان دهنده برداشت زیاد از آب زیرزمینی و کاهش تغذیه آبخوان است. برای کاهش میزان این تغییر حجم بایستی اقداماتی از قبیل تغذیه مصنوعی، بالا نگه داشتن سطح آب رودخانه میمه، استفاده تلفیقی از آب سطحی و زیرزمینی و کاهش میزان برداشت از آبخوان صورت گیرد تا اثرات مخرب ناشی از افت طولانی مدت سطح ایستابی در دشت رخ ندهد.

برای طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی و دسته‌بندی منابع تخلیه آب زیرزمینی به گروه‌های مختلف از مدل تحلیل سلسله مراتبی که نظرات کارشناسی در آن دخیل است و می‌توان واقعیت‌های صحرایی و تجارب عملی را به شکل امتیاز و کمی شده در قضاوت دخیل دانست، استفاده گردید. نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که ۱۲ چاه به عنوان چاه معرف انتخاب گردید و نواحی دوازده‌گانه تقسیم شد و براساس چاه‌های معرف میزان تخلیه دشت کرند بدست آمده از اطلاعات چاه-های بهره‌داری گزارش آماربرداری سال (۱۳۸۷-۱۳۹۲) در فصل پاییز سال ۱۳۸۷ به میزان ۷۱۹/۳ مترمکعب حاصل گردید این در مقایسه با کل تخلیه ۱۲۹۲/۷۸ مترمکعب تفاوت چندانی نمی‌کند و میزان تخلیه در چاه‌های معرف بیشتر از میانگین تخلیه آب از کل چاه‌های بهره‌برداری (۲۸/۷۲ مترمکعب) را پوشش می‌دهند. همچنین میزان تخلیه از چاه-های معرف در گروه‌های یک، پنج، یازده و دوازده چاه‌های دارای تخلیه زیاد را پوشش می‌دهد. برای صحت‌سنجی انتخاب چاه‌های شاخص در دشت کرند با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی از پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، pH و کلر و نقشه‌های پراکندگی آن استفاده شد و مشاهده گردید در نقاطی که به عنوان چاه‌های شاخص ارائه شده میزان این پارامترها در بالاترین مقدار خود قرار داشته‌اند. از آنجایی‌که برخی از پارامترهای مؤثر در طراحی شبکه کمی و کیفی دشت کرند به واسطه عدم کمی کردن کنار گذاشته شدند لازم است این موارد در طی شبکه جدید مورد ارزیابی قرار گیرند. مواردی همچون نوع رسوبات و نوع آبخوان، شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی می‌توانند تأثیر بسزایی در رفتار کمی و کیفی آبخوان داشته باشند. از آنجائیکه محدوده‌ی مورد مطالعه دارای آب و هوای خشک است و بیلان آب زیرزمینی به میزان آورد و خروجی آب به آبخوان‌ها و سایر پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بستگی دارد لذا امکان مقایسه موضوع با سایر مناطق که از لحاظ ریخت‌شناسی زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی مشابه باشد وجود نداشت. با توجه به مطالعه انجام گرفته جهت تعیین چاه‌های بهینه برای بهره‌برداری با بیشترین دقت موارد زیر پیشنهاد می‌گردد. محاسبه دقیق بیلان آب و مقدار آب قابل ذخیره منطقه با همکاری سازمان-های ذینفع جهت محاسبه میزان نگه‌داشت آب با توجه به عمق سفره انجام گردد. مقایسه روش‌های دیگر زمین‌آمار در تهیه بهینه‌ترین چاه‌های بهره‌برداری در دشت کرند نیز استفاده شود. همچنین استفاده از سایر معیارهای برای انتخاب بهینه‌ترین درصد تعداد چاه از جمله نش تئوری، تئوری بازی‌ها می‌تواند برای مطالعات بعدی صورت گیرد. از آنجاکه حداکثر بهره-برداری از آب زیرزمینی در فصل آبیاری انجام می‌گیرد، لذا بهتر است برای دوره‌های فصل خشک و تر نقشه‌های کمی و کیفی تهیه گردد تا چاه‌های شاخص در صورت تأثیر این امر در اندازه-گیری‌ها مدنظر قرار گیرد. در نهایت می‌توان در تهیه نقشه چاه‌های شاخص بر اساس سایر عوامل بیلان آب‌های زیرزمینی به طور جداگانه مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

منابع

جنت‌رستمی، س.، صلاحی، ع. و یوسفی، ف.، ۱۴۰۰. طراحی شبکه بهینه چاه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های MODFLOW و MT3D. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۴): ۱۷۴-۱۹۱.

سامانی، س.، ۱۳۹۹. بررسی نظام شبکه پایش آب زیرزمینی در ایران و کشورهای منتخب و آسیب شناسی مبتنی بر آن. نشریه هیدروژئولوژی، ۵(۲): ۴۳-۶۰.

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.، ۱۳۹۱. دستورالعمل پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی. نشریه شماره ۶۲۰.

شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه.، ۱۳۹۵. گزارش بیلان دشت کرند.

شاه حسینی، غ.، ۱۳۸۷. روش کار(متدولوژی) تعیین منابع آب انتخابی و تصحیح تخلیه از منابع آب زیرزمینی بر اساس میزان تخلیه از منابع آب انتخابی(چاه، چشمه و قنات). دفتر مطالعات پایه منابع آب گروه آب‌های زیرزمینی، وزارت نیرو.

طاهری، ک.، محسنی‌پور، ف، و طاهری م.، ۱۳۹۵. طراحی شبکه پایش کیفی آب زیرزمینی آبخوان اسلام‌آباد با استفاده

از تحلیل سلسله مراتبی وGIS . ششمین همایش مدیریت منابع آب، اردیبهشت ۱۳۹۵، دانشگاه کردستان.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.، ۱۳۹۳. دستورالعمل رفتارسنجی کمی آب‌های زیرزمینی. وزارت نیرو (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا) و معاونت نظارت راهبردی (امور نظام فنی)، نشریه شماره ۶۶۵.

مویدیان، م.ح.، بهشتی، ع.ا.، ضیائی، ع.ن.، قتبری، ر.، ۱۴۰۱. شناسایی شبکه بهینه پایش کیفی آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوع (مطالعه موردی حوضه‌ی آبریز نیشابور). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱۶): ۷۷۷-۷۸۸.

یوسفی، ن.، کرد، م.، ۱۳۹۹. اعتبارسنجی نتایج بهینه-سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی دشت دهگلان. نشریه هیدروژئولوژی، ۵(۱): ۷۳-۸۲.

Ayvaz, M.T., Elci A., 2018. Identification of the optimum groundwater quality monitoring network using a genetic algorithm-based optimization approach. Journal of Hydrology, 563: 1078-1091.

Kavusi, M., Khashei Siuki A., and Dastourani M., 2020. Optimal Design of Groundwater Monitoring Network Using the Combined Election-Kriging Method. Journal of Water Resource Management, 34, 2503-2516.

Samani, S., Kardan Moghaddam H., 2022. Optimizing groundwater level monitoring networks with hydrogeological complexity and grid-based mapping methods. Journal of Environmental Earth Sciences, 81(453).

Satty, TL., 1980. The analytical hierarchy process, planning, priority. Resource Allocation, USA: RWS publication. (This book has been translated into Persian Tehran university). 50-150.

Mclean, M.L., Evers, L., Bowman A.W., Bonte M., Jones W.R., 2019. Statistical modelling of groundwater contamination monitoring data: A comparison of spatial and spatiotemporal methods. Science of The Total Environment. 652: 1339-1346.

Sokolov, A.A., and Chapman, T.G., 1974. Methods for water balance Computations: an international guide for research and practice. 44-45.