

پتانسیل یابی مناطق مستعد جایگزینی پساب جهت جبران افت سطح منابع آب زیرزمینی

وحید یزدانی^{۱*}، محمد سلطانی اصل^۲

(۱) دکتری علوم و مهندسی آب، مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی

(۲) استادیار گروه مهندسی عمران موسسه آموزش عالی اسرار

*نویسنده مسئول: v.yazdany@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵

چکیده

یکی از راه کارهای اصلی مبارزه با کم آبی، کاربرد زنجیره ای آب متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش های مختلف مصرف می باشد که به دین ترتیب استفاده مجدد از پساب ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در این مطالعه پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد از نظر مکانی و زمانی با استفاده از روش های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نقطه ای در محیط GIS بررسی شدند. با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی AHP، مناطق مستعد جایگزینی پساب های تولیدی تصفیه شده در دشت مشهد مشخص و اولویت بندی شد. براساس آمار و استانداردهای مورد استفاده مشخص گردید که ۱۲/۵ درصد از کل آب های زیرزمینی دشت قابل شرب است. همچنین ۷۰ درصد از کل آب های زیرزمینی دشت مشهد برای کشاورزی مطلوب تا متوسط است. نتایج AHP نشان داد که با توجه به نظرات کارشناسان و متخصصان آب، افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد بیشترین ضریب وزنی و فاصله از تصفیه خانه و اختلاف ارتفاع مناطق مختلف نسبت به تصفیه خانه (توپوگرافی) کمترین ضریب وزنی را داشتند. مناطقی که بیشترین افت، بهترین کیفیت آب، کمترین فاصله و ارتفاع کمتری نسبت به تصفیه خانه داشتند، بیشترین ضریب وزنی را داشتند. از آن جایی که در روش AHP بیشترین ضریب وزنی مربوط به افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی بود و همچنین بیشترین میزان این ضریب مربوط به مناطقی بود که بیشترین افت و بهترین کیفیت آبی را دارا بودند، بنابراین به عنوان اولویت اول مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده انتخاب شدند. با جایگزینی پساب تصفیه شده با آب چاه های کشاورزی و خارج نمودن آنها از مدار بهره برداری، میزان برداشت از آبخوان کاهش یافته و پتانسیل ذخیره شده آن می تواند در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: افت سطح ایستابی، جایگزینی پساب، دشت مشهد، سیستم تحلیل سلسله مراتبی.

مقدمه

محدودیت منابع آبی از یک طرف و آلودگی منابع آبی موجود توسط فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی از طرف دیگر، توجه به مدیریت فاضلاب‌ها را دو چندان می‌کند. به دلیل کمبود منابع آبی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند کشور ایران، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری فضای سبز و کشاورزی و مصارف دیگر، به عنوان یکی از اهداف اصلی در نظر گرفته می‌شود (یزدانی، ۱۳۸۸). رشد جمعیت، توسعه صنایع و کشاورزی، نه تنها باعث مصرف بیش از حد آب شده، بلکه با سرازیر شدن مقادیر عظیم آلودگی ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی و کشاورزی، دگرگونی‌های مهمی در اکوسیستم طبیعت به وجود آمده و باعث محدودیت شدید استفاده از آب‌های طبیعی شده است، به طوری که از هم‌اکنون در بیش‌تر اجتماعات، بشر قادر به تامین آب مورد نیاز خود از منابع طبیعی نیست (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین تهیه آب مورد نیاز با کیفیت مورد نظر از آب‌های آلوده موجود، هزینه‌های سرسام آوری در بر دارد. مواجه شدن با کمبود آب باعث شده که انسان در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و اجتماعی خود با مشکلات زیادی مواجه شود (بانژاد و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از راه‌های مبارزه با کمبود آب، تامین بخشی از نیازهای آبی از طریق مصرف فاضلاب‌های شهری و صنعتی است. کاهش سطح آب زیرزمینی و استفاده بیش از حد آن باتوجه به خشکسالی‌های اخیر و افزایش روزافزون جمعیت، بشر را مجبور به استفاده از دیگر منابع آب نموده است. امروزه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان یک منبع جدید و دائمی مورد توجه کارشناسان جهت جبران منابع آب زیرزمینی به طور مستقیم و غیرمستقیم شناخته شده است و اساساً تصفیه زمانی معنی پیدا می‌کند که پساب، مورد استفاده مجدد قرارگیرد. یکی از راه‌کارهای اصلی مبارزه با کم‌آبی، کاربرد زنجیره‌ای آب متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های مختلف مصرف می‌باشد که بدین ترتیب استفاده مجدد از پساب ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. روش‌های بهره‌گیری از پساب گسترده و حساس می‌باشد که از آن جمله می‌توان به جایگزینی آن با حقایقه‌های کشاورزی (سطحی و زیرزمینی)، تغذیه مصنوعی، صنایع، پرورش ماهی، فضای سبز و غیره اشاره کرد (یزدانی، ۱۳۸۸). در کشور ایران، منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تامین نیاز آبی برای بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. کشاورزی با اختصاص سهم ۹۵ درصدی و برداشت بیش از ۸۰ درصد آن از منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در تغییرات کمی و کیفی آبخوان‌ها دارد (یزدانی و منصوریان، ۱۳۹۳). وکیلی (۱۳۷۵) گزارش کرد که از مجموع ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آب قابل دسترس، حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی ایران ۴۵ میلیارد مترمکعب است. تاریخچه استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری گیاهان به تمدن‌های غربی و یونان باستان و به زمان‌های خیلی قبل نسبت داده شده است. این امر در آلمان قدمتی بیشتر از ۳۰۰ سال دارد (یزدانی، ۱۳۸۸). استفاده از فاضلاب برای آبیاری در بسیاری از کشورها به خصوص در نواحی گرم و خشک متداول است. در هندوستان اولین مزرعه در سال ۱۸۹۵ با فاضلاب آبیاری گردید. در سال ۱۹۸۶ بیش‌تر از ۱۵۰ مزرعه با وسعت ۱۲۰۰۰ هکتار با استفاده از

حداقل ۵۰۰ میلیون مترمکعب فاضلاب در سال آبیاری می‌شد. در سال ۱۹۳۹ فاضلاب شهری حاصل از فعالیت ۷ میلیون نفر در آلمان به مصارف کشاورزی رسید و در سال ۱۹۶۱ حدود ۱۲۰ تا ۳۰۰ میلیون متر مکعب فاضلاب به این طریق استفاده گردید (Mahida, 1981). در ژاپن استفاده مجدد از پساب‌ها در کشاورزی از سال ۱۹۶۸ آغاز شد و هر روز بر حجم آن افزوده می‌شده است. به طوری که تا سال ۱۹۹۶ نزدیک به ۱۳ میلیون مترمکعب در سال پساب به منظور آبیاری استفاده می‌شد (یزدانی، ۱۳۸۸). در قرن نوزدهم طرح‌های استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در مقیاس وسیع در بسیاری از کشورهای در حال توسعه و پیشرفته اجرا و سیستم‌های جمع آوری فاضلاب شهری در اروپا و آمریکا و برخی از شهرهای ایران برای آبیاری معمول شد. اگرچه دفع زیرزمینی فاضلاب شهری و صنعتی یک عمل متعارف است ولی اثرات سوء زیست محیطی حاصل از کاربرد بعضی از فاضلاب‌ها وجود دارد (یزدانی، ۱۳۸۸). یکی از چالش‌های اصلی در علوم مهندسی آن است که چگونه می‌توانیم در یک موقعیت خاص تصمیم بهتر را بگیریم. نظریه‌هایی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی دینامیک، آزمون فرضی، کنترل انبارها، بهینه‌سازی و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به منظور دستیابی به راه‌حل‌های مناسب استفاده شده‌اند. روش‌های زیادی برای حل مشکلات چند معیاره تدوین گردیده است (Allan, 1999; Saaty, 2000). چارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) از روش‌های ساده گرفته تا روش‌های پیچیده متغیر است. از دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه می‌توان به Sloane (۱۹۹۴)، Kerr و Lasenby (۲۰۰۰)، Bush (۲۰۰۳)، Kharat و همکاران (۲۰۱۶)، Greene و همکاران (۲۰۱۰)، Silva و همکاران (۲۰۱۱)، Gopal Das و Hossain (۲۰۱۵)، Ferreira و همکاران (۲۰۱۵)، Dapuelto و همکاران (۲۰۱۵) اشاره نمود. منتظر و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی به منظور ارزیابی بهره‌وری آب در ۱۴ شبکه مدرن کشور از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار اکسپرت چویس استفاده نمودند و به حساسیت‌سنجی مقدار بهره‌وری آب پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد شبکه سفید رود و برخوردار با وزن نهایی ۰/۱۳۶ و ۰/۰۳۲ به ترتیب که بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آب در بین شبکه‌های مورد مطالعه دارا می‌باشند. همچنین وضعیت ساختار فیزیکی (نوع دریاچه‌ها و سازه‌ها) و نحوه توزیع آب در شبکه از درجه تأثیر متوسط و مسائل فرهنگی اجتماعی و تشکل‌های آب‌بران از درجه اهمیت کم‌تری برخوردار بوده و معیارهای سطح زیرکشت و نیاز آبی محصولات، الگوی کشت بیش‌ترین تأثیر و کیفیت و قیمت آب کم‌ترین تأثیر را بر بهره‌وری آب دارند. Behbahani و Montazar (۲۰۰۷) مدلی جهت انتخاب سیستم بهینه آبیاری با توجه به عوامل فیزیکی، سیاسی - اقتصادی و زیست‌محیطی موثر بر راندمان آبیاری ارائه نمودند. در این مدل، فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. مقایسه‌ها نشان دادند که نتایج بدست آمده از مدل پیشنهادی در توافق خوبی با نتایج تحقیقات مزرعه‌ای هستند. آن‌ها اثرات بهبود مدیریت و سخت‌افزارها را نیز در اجرای پروژه‌های آبیاری، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به صورت کمی درآوردند. بررسی‌ها، توانمندی و تأثیر کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی را در ارزیابی پروژه‌های

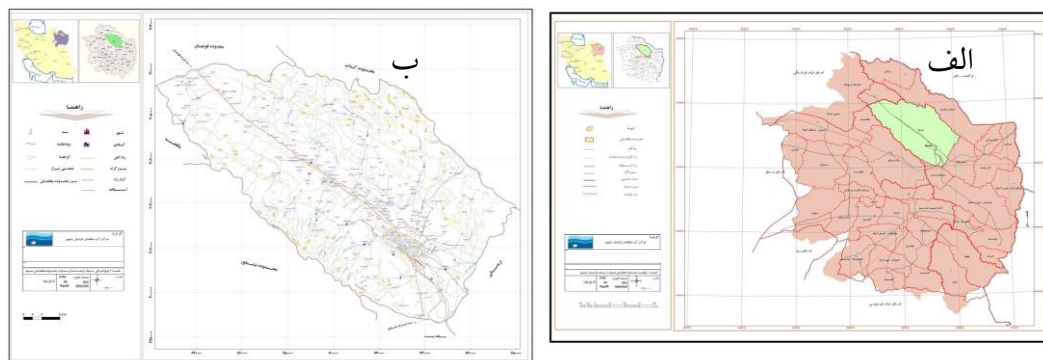
آبیاری نشان می‌دهند. همچنین، معلوم شد که کیفیت خدمات تحویل آب اثر مهمی روی تولید محصولات داشت. Herath و Ananda (۲۰۰۸) چگونگی استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را جهت ترکیب اولویت‌ها در تعیین گزینه‌های کاربری بهینه اراضی جنگلی استرالیا شرح دادند. نتایجی که با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس بدست آمده، نشان می‌دهد که روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند به مشارکت‌های عمومی در تصمیم‌گیری شکل رسمی داده و شفافیت و اعتبار فرآیند را افزایش دهد. همچنین امکان کاربرد در ارزیابی مقایسه‌ای و رتبه‌بندی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی و نیز رتبه‌بندی عوامل مؤثر در عملکرد شبکه‌های آبیاری را دارا می‌باشد که می‌تواند قدمی در جهت اصلاح و بهبود عملکرد شبکه محسوب شود. یزدانی و منصوریان (۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به اولویت‌بندی برداشت از منابع آب شور دشت بجزستان اقدام نموده‌اند. در حال حاضر به‌واسطه بحران آب که در اکثر کشورهای جهان ایجاد شده، استفاده از پساب شهری تولید شده جهت تأمین آب بهداشت عمومی، حتی شرب معمول شده است و اغلب شهرهای بزرگ با جایگزین نمودن آن توانسته‌اند تا حدی مشکلات کمبود آب را برطرف نمایند. مشکل تأمین آب شهر مقدس مشهد در آینده به‌واسطه بیلان منفی حوضه‌های مجاور که خود با کمبود آب مواجه هستند حتی از کشورهای همسایه از نظر فنی و سیاسی مقدور نیست و با اجرای مدیریت صحیح می‌توان این معضل را با جایگزینی پساب تولیدی که پتانسیل جدیدی محسوب می‌شود، یا تغییر کاربری آن برای دراز مدت حل نمود. در مقابل استحصال حدود یک میلیارد مترمکعب آب از آبخوان دشت مشهد حدود ۲۳۶ میلیون مترمکعب آن به مصرف شرب می‌رسد. با احداث شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری تا سال ۱۴۱۵ حجم پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌ها سالیانه حدود ۲۵۰ میلیون مترمکعب پساب معادل ۷۵ درصد حجم آب استحصال می‌گردد که با بازچرخانی آن می‌توان بخش عمده‌ای از مشکلات ایجاد شده در آبخوان را مانند جبران نمودن کسری مخزن، جلوگیری از تشدید افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین، تخریب تأسیسات زیربنایی و علاج بخشی سفره آب زیرزمینی اقدام نمود. همان‌طور که می‌دانیم عامل اصلی نشست زمین، افت سطح آب زیرزمینی ناشی از اضافه برداشت بی‌رویه از آبخوان و به هم ریختن تعادل بیلان سفره آب زیرزمینی و در نهایت کاهش تغذیه ذخایر آب زیرزمینی است، که در صورت جایگزین نمودن پساب با چاه‌های کشاورزی، تعدادی از چاه‌ها از مدار بهره‌برداری خارج شده و عملاً بهره‌برداری از آبخوان کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به تعدیل برداشت از سفره آب زیرزمینی و کاهش افت سطح آب می‌گردد. ایران به عنوان یکی از کشورهای خاورمیانه با کاهش منابع آب تجدیدشونده مواجه بوده و به عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی - اجتماعی دولت جمهوری اسلامی ایران بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر؛ به‌ویژه بازچرخانی و استفاده مجدد آب، تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده مجدد از فاضلاب‌های انسانی و صنعتی تصفیه شده در امور کشاورزی و سایر فعالیت‌ها تأکید شده است. با توجه به آنچه اشاره گردید هدف اصلی مقاله در گام اول بررسی و تحلیل کمیت و کیفیت آبخوان دشت مشهد بوده و سپس بر اساس نتایج کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، و با استفاده از تکنیک تحلیل

سلسله مراتبی نسبت به اولویت بندی مناطق جهت تغذیه مصنوعی و یا جایگزینی پساب با آب چاه های کشاورزی اقدام خواهد شد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

رودخانه کشف رود که زهکش سفره آب زیرزمینی دشت مشهد است تا اواخر دهه ۱۳۴۰ جریان داشته و بعداً به واسطه معمول شدن حفر چاه های عمیق و افت سطح آب زیرزمینی جریان آب رودخانه خشکیده و به شکل خشک رودی در فصول پرباران، دشت را زهکشی می کند (شکل ۱ ب). بر روی این رودخانه سدهای طرق، کارده، دولت آباد اسجیل و ارداک ساخته شده که بخشی از آب شرب شهر مشهد را تأمین می کند. در مجموع، اقلیم کلی منطقه نیمه خشک بوده میزان بارندگی متوسط سالیانه دراز مدت (۳۰ ساله) در محدوده مطالعاتی مشهد حدود ۲۵۵/۱ میلی متر در سال می باشد. دما بر عکس بارندگی از سمت غرب به سوی شرق از ۹/۱ به ۱۷/۱ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. این محدوده توسط رودخانه کشف و سر شاخه های ریزنده به آن که در نواحی کوهستانی دارای جریان پایه می باشند زهکشی شده و مازاد جریان آن پس از عبور از دشت های نریمانی و آق دربند و پیوستن به رودخانه هریرود (تجن) به صحرای قره قوم در کشور ترکمنستان می ریزد.



شکل ۱: الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان خراسان رضوی ب) توپوگرافی شبکه آبراهه ها و سدها در محدوده مطالعاتی دشت مشهد

مورفولوژی

حوضه آبریز کشف رود از نظر مورفولوژی شامل سه ناحیه متمایز می باشد که به موازات هم از شمال غرب به طرف جنوب شرق امتداد دارد. ناحیه شمالی شامل، کوه های هزارمسجد و الله اکبر با سیمای صخره ای و ستیغ های مرتفع می باشد. حداکثر ارتفاع در این ناحیه ۲۸۹۰ متر و حداقل آن ۱۰۰۰ متر است. در این ناحیه، دره ها پریپچ و خم با شیب تند و عمیق می باشد که در امتداد شکستگی ها و ساختارهای زمین شناسی ایجاد گردیده اند. ناحیه جنوبی شامل رشته

کوه‌های بینالود می‌باشد که به موازات ناحیه شمالی از شمال غرب به جنوب شرق امتداد دارد. دره‌ها با توجه به جنس سازندهای زمین‌شناسی که عمدتاً شامل فیلیت‌های مشهد می‌باشد به موازات هم در امتداد جنوب غرب به سمت شمال شرق کشیده شده وارد ناحیه میانی می‌شود. این آبراهه‌ها نسبتاً وسیع بوده و شیب دره‌ها با توجه به طول آن‌ها نسبت به ناحیه شمالی کم‌تر است. ناحیه مرکزی شامل دشت وسیع مشهد می‌باشد که در بین دو رشته ارتفاعات ذکر شده قرار گرفته و توسط رودخانه کشف‌رود در مرکز دشت زهکشی می‌شود. سطح دشت که از نهشته‌های آبرفتی پوشیده شده است نسبتاً مسطح و اراضی کشاورزی و باغات در این ناحیه گسترش دارد. قسمت میانی در حاشیه کوه‌ها نسبتاً ناهموار بوده و از مخروط افکنه و تراس‌های آبرفتی همراه با واریزها تشکیل گردیده و توسط رودخانه‌های ورودی به شدت زهکشی می‌شود. آبخوان اصلی مشهد در این ناحیه قرار گرفته و رشد اقتصادی و اجتماعی منطقه وابسته به آن است. ضخامت لایه‌های آبرفتی متفاوت می‌باشد حداکثر ضخامت آبرفت به ۳۰۰ متر می‌رسد. ضخامت نهشته‌های آبرفتی در ابتدای دشت کم‌تر از ۱۰۰ متر است که به سمت شرق به تدریج افزایش می‌یابد. این رسوبات در شرق دشت همراه با عناصر رسی و نفوذپذیری کم می‌باشد. آبرفت در حاشیه جنوبی دشت دانه درشت و نفوذپذیر می‌باشند که به سمت شرق و شمال کشف‌رود نفوذپذیری آبرفت کاهش می‌یابد.

هیدروژئولوژی

تعداد چاه‌های محفوره در دشت مشهد از ۷۸۰ حلقه با برداشت ۲۷۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۴۸ به ۶۸۶۰ حلقه با برداشت ۸۵۴/۵۳ میلیون مترمکعب در سال (آخرین دوره آماربرداری مطالعات پایه در شرایط فعلی) افزایش یافته است. همچنین آبخوان دشت با متوسط افت ۳۰ ساله ۰/۷۷ متر دارای کسری مخزنی معادل ۹۴/۴ میلیون مترمکعب مواجه شده است. ذخایر آب زیرزمینی در این محدوده به واسطه نبود لایه‌های شور کننده از نظر کیفی محدودیتی ندارند تنها در قسمت جنوب شرق دشت در اراضی جیم‌آباد و عباس‌آباد که از طریق کال سنگ بست تغذیه می‌شود. کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر جبهه آب شور قرار گرفته است. در داخل شهر مشهد به واسطه نفوذ فاضلاب‌های شهری آب زیرزمینی از نظر شرب در برخی نقاط محدودیت دارد. ذخایر آب زیرزمینی شامل آب‌های نهفته شده در سازندهای سخت و آب‌های ذخیره شده در آبخوان آبرفتی می‌باشد. سالیانه ۸۸/۴ درصد آب استحصال از منابع آب زیرزمینی آبرفتی و ۱۱/۶ درصد دیگر از سازندهای سخت برداشت می‌شود. آبخوان آبرفتی دشت از طریق مخروط افکنه‌ها، بستر رودخانه‌ها و سیلاب‌های جاری شده در کوهپایه‌ها تغذیه می‌شود. به همین دلیل کیفیت آب زیرزمینی در حاشیه ارتفاعات مناسب‌تر از قسمت مرکزی دشت و محل خروجی می‌باشد. حداقل هدایت الکتریکی ۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر در غرب شهر مشهد و حداکثر بیش از ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در جنوب شرق دشت (اراضی جیم‌آباد) می‌باشد. عمق برخورد به آب در حاشیه ارتفاعات

جنوبی بیش از ۱۵۰ متر است که به سمت مرکز و خروجی دشت کاهش می‌یابد. به واسطه عمیق بودن سطح آب زیرزمینی نواحی تبخیری وجود ندارد. چون هدف از این مطالعات بررسی جایگزینی پساب و تغییر کاربری آب‌های با کیفیت خوب در آبخوان آبرفتی است از ذکر خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی خودداری شده و تنها به وضعیت آبخوان آبرفتی اشاره می‌گردد.

منابع آب

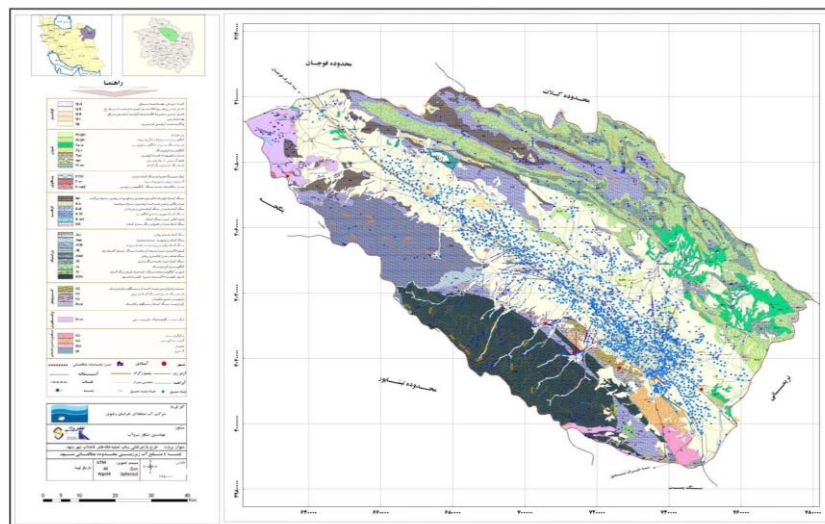
ذخایر آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی شامل ذخایر سازندی و آبرفتی است که هر دو از نظر تأمین آب مورد نیاز منطقه نقش مهمی دارند. سازندهای سخت منطقه که از نظر پتانسیل آبی ارزش دارند، سنگ‌های کربناته سازند مزدوران (ژوراسیک فوقانی) و آهک‌های تیرگان می‌باشد که در ارتفاعات حاشیه شمالی گسترش دارد و چشمه‌های متعدد و نسبتاً پرآبی را تغذیه می‌کنند، اغلب آن‌ها وارد رودخانه‌ها شده و همراه با جریان زیربستری جریان پایه رودخانه‌ها را تأمین می‌کند. کیفیت آب‌های سازند مزدوران با EC حداقل ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر و آهک‌های تیرگان بیش از ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. تعداد ۱۴ حلقه چاه عمیق در سازندهای سخت مزدوران حفر شده که سالیانه ۱۰ میلیون مترمکعب از آن‌ها جهت تأمین آب شرب بهره‌برداری می‌شود. فیلیت‌های مشهد و گرانودیوریت‌ها در ارتفاعات بینالود بواسطه دارا بودن درز و شکاف و تجزیه سطحی چشمه‌های کوچک کم‌آبی را با کیفیت مناسب برای شرب تغذیه می‌کند. مجموع بهره‌برداری از سازند سخت منطقه از طریق چشمه‌ها و قنوات سالیانه حدود ۱۱۲/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد که ۱۰/۲ درصد آب استحصالی را در محدوده کشف رود شامل می‌شود. نقشه ۴ منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مشهد را نشان می‌دهد. در جدول ۱ تعداد و میزان بهره‌برداری در دوره‌های آماربرداری ذکر شده است.

جدول ۱: تعداد و میزان برداشت از ذخایر آب زیرزمینی در دوره‌های آماربرداری*

منبع	چاه		قنات		چشمه		تخلیه سالیانه (میلیون مترمکعب)
	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	تعداد	تخلیه	
سال	۲۳۱	-	۴۲۰	-	۱۵	۱۰	۱۳۴۲
۱۳۴۹	۱۶۱۸	۲۱۹	۴۱۳	۱۷۰	۱۰	۹	۳۹۸
۱۳۵۹	۱۶۴۶	۸۷۶	۴۱۳	۱۷۰	۱۰	۹	۹۵۲
۱۳۶۲	۲۲۷۴	۱۱۵۹	۷۲۱	۳۲۰	۶۳	۲۳۷	۱۷۱۶
۱۳۷۶	۵۳۸۷	۸۰۰/۷	۸۷۱	۱۱۵/۶	۶۱۹	۱۲۶/۵	۱۰۴۲/۸
۱۳۸۰	۵۴۸۰	۸۵۰	۸۷۵	۱۰۱/۷	۴۰۷	۱۰۷/۶	۱۰۵۹/۲
۱۳۸۸	۷۸۹۷	۹۲۷/۸	۱۰۸۳	۱۳۷/۸	۶۸۰	۸۷/۴	۱۱۵۳
۱۳۹۰	۶۸۶۰	۵۳ ۸۵۴	۱۰۸۷	۱۳۷/۹	۶۷۹	۸۷/۳۵	۱۰۷۹/۷۸
۱۳۹۵	۷۲۰۰	۸۹۵	۱۰۸۷	۱۳۵/۵	۶۷۰	۸۳/۴	۱۱۱۳/۹

*-آمار و اطلاعات از آرشيو دفتر مطالعات پایه شرکت آب منطقه خراسان رضوی اخذ شده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد که تعداد چاه‌های محفوره از سال ۱۳۴۹ تاکنون حدود ۵ برابر و میزان برداشت تا سال ۱۳۹۰ به حدود ۳ برابر افزایش یافته است. کاهش برداشت در سال‌های اخیر بواسطه افت سطح آب زیرزمینی و کاهش آبدهی چاه‌ها می‌باشد. افزایش تعداد چاه‌ها از زمان اعلام ممنوعیت حفر چاه به‌واسطه عدم مدیریت در حفاظت از منابع آب می‌باشد. هر چند در سال ۱۳۹۰ بعضی از چاه‌ها به دلیل غیرمجاز بودن پلمپ و یا به علت خشک‌شدن غیرقابل استفاده شده‌اند.



شکل ۲: منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی دشت مشهد

چاه

در آبخوان دشت مشهد با وسعت ۲۲۲۲ کیلومترمربع ۶۸۶۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با تراکم متوسط ۳/۱ حلقه در یک کیلومترمربع حفر شده است. قبل از اعلام ممنوعیت دشت مشهد حدود ۷۸۰ حلقه چاه در دشت مشهد وجود داشته که تعداد آن‌ها تا سال ۱۳۹۰ به ۶۸۶۰ حلقه افزایش یافته است (جدول ۱). عمق چاه‌های محفوره از ۵ تا ۳۰۰ متر متفاوت می‌باشد. متوسط عمق چاه‌های دشت مشهد حدود ۱۱۰ متر است. آبدهی چاه‌ها از ۸۸ لیتر در ثانیه تا حداقل کم‌تر از ۰/۵ لیتر در ثانیه متغیر است. دبی متوسط چاه‌ها ۱۴ لیتر در ثانیه محاسبه شده است. ارزیابی آبدهی چاه‌ها بر اساس آخرین دوره نشان می‌دهد که چاه‌های پر آب دشت در مخروط افکنه فریزی و مخروط افکنه شاندیز در حاشیه جاده مشهد- قوچان قرار دارد و کم‌آب‌ترین آن‌ها در شمال غرب دشت اراضی دیزاوند و کبرآباد و در شرق دشت در اراضی کنویس و قرقی قرار دارد. میزان بهره‌برداری از چاه‌های منطقه سالیانه ۸۵۵ میلیون مترمکعب است که ۷۹/۱ درصد حجم آب استحصالی از منابع آب زیرزمینی را شامل می‌گردد. ۶۴/۱ درصد برداشت سالیانه چاه‌ها به مصرف کشاورزی ۳۱/۶ درصد جهت شرب و ۴/۳ درصد صنایع مصرف می‌شود.

قنات

قبل از رایج شدن حفر چاه، آب مورد نیاز منطقه عمدتاً از طریق قنات داخل دشت تأمین می‌گردید. با متداول شدن حفر چاه و توسعه بهره‌برداری سطح آب زیرزمینی افت نموده ضمن کاهش طول آبگون قنات آبدهی آن‌ها کم یا به کلی خشک شدند. مجموع آبدهی ۱۰۸۳۷ رشته قنات دایر محدوده مشهد ۱۳۷/۹ میلیون مترمکعب طبق آخرین آماربرداری اعلام شده از دفتر مطالعات پایه آب منطقه‌ای خراسان رضوی گزارش شده که معادل ۱۲/۷ درصد آب استحصالی از آبخوان را شامل می‌شود. آبدهی قنات از ۱۰۰ لیتر در ثانیه تا کم‌تر از یک لیتر در ثانیه متفاوت است. متوسط آبدهی قنات محدود چهار لیتر در ثانیه گزارش شده است. طول قنات از ۱۵ متر تا ۱۰ کیلومتر متفاوت است. عمق مادر چاه قنات در داخل دشت حداکثر ۱۲۵ متر و حداقل در کوهپایه‌ها ۲ متر می‌باشد.

چشمه

در این محدوده از ۶۷۹ دهانه چشمه بازدید شده که ۸۸ دهانه آن آبرفتی و ۵۹۱ دهانه نیز سازندی می‌باشد. تخلیه سالیانه چشمه‌ها مجموعاً ۸۷/۳۵ میلیون مترمکعب در سال است که ۸/۲ درصد آب استحصالی از ذخایر آب زیرزمینی را شامل می‌گردد. دبی چشمه‌ها از حداکثر ۲۰۰ تا حداقل ۰/۱ لیتر در ثانیه متفاوت است. کیفیت آب بسیاری از چشمه‌ها جهت شرب مناسب است. حداکثر هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده ۲۸۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر و حداقل آن کم‌تر از ۲۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

روش‌های تحلیل مکانی

در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مشهد از نظر مکانی و زمانی، روش‌های کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نقطه‌ای در محیط GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد، باز هم کوکریجینگ ترکیبی، از کریجینگ یک متغیره دقیق‌تر است (Pan et al., 1993). لازم به ذکر است که مختصات نقاط نمونه‌برداری شده در سیستم UTM می‌باشد. رابطه عمومی این روش‌ها به شرح معادله ۱ است (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷):

$$z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

رابطه ۱:

که $z^*(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر، λ_i وزن یا اهمیت نمونه i ام، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر، n تعداد نقاط نمونه‌برداری و X_i موقعیت نقاط مشاهده شده می‌باشد.

کریجینگ

روش کریجینگ روشی است که ساختار همبستگی مکانی پدیده‌ها را در برآورد مکانی مورد استفاده قرار می‌دهد. در این روش دقت تخمین بستگی به واریوگرام استخراجی از داده‌ها دارد که به صورت رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن γ ، واریوگرام تجربی، $n(h)$ تعداد جفت نقاط به ازای هر فاصله h ، $z(x)$ متغیر مشاهداتی، $z(x+h)$ متغیر مشاهداتی به فاصله h می‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

فرمول کلی روش کریجینگ مانند سایر تخمین‌گرها به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i) \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در آن $z^*(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر، λ_i وزن یا اهمیت نمونه i ام، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر می‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

کوکریجینگ

در روش کوکریجینگ از یک متغیر کمکی جهت تخمین بهتر متغیر اصلی استفاده می‌شود. فرم کلی معادلات کوکریجینگ به شکل زیر است (رابطه ۴).

$$\begin{cases} \sum_{l=1}^v \sum_{i=1}^{n_l} \lambda_{il} \gamma_{lv}(x_i, x_j) - \alpha_v = \gamma_{uv}(x_j, x) \\ \sum_{i=1}^{n_l} \lambda_{il} = \begin{cases} 1, 1 = u \\ 0, 1 \neq u \end{cases} \end{cases} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن u و v متغیرهای کوواریته اولیه و ثانویه‌اند. در روش کوکریجینگ تغییرات u و v دارای همبستگی متقاطع است. برای آنالیز کوکریجینگ سمی واریوگرام متقاطع باید در ابتدا تعیین شود. در هر نقطه u و v اندازه‌گیری شده باشد و سمی واریوگرام متقاطع با معادله زیر (رابطه ۵) برآورد می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

$$\gamma_{uv} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_u(x_i) - Z_u(x_i + h)][Z_v(x_i) - Z_v(x_i + h)] \quad \text{رابطه ۵:}$$

نسبت $\frac{Nugget}{Sill}$ برای طبقه‌بندی وابستگی مکانی استفاده می‌شود. اگر نسبت $\frac{Nugget}{Sill}$ برای یک متغیر کم‌تر از ۰/۲۵ باشد، این متغیر دارای همبستگی مکانی بالا و اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد دارای همبستگی مکانی محدود و

اگر بالاتر از ۰/۷۵ باشد دارای همبستگی مکانی ضعیف است. در این تحقیق به منظور ارزیابی روش‌های درون یابی از سه پارامتر آماری $RMSE^1$ و MBE^2 استفاده شده است. $RMSE$ مجذور میانگین مربعات خطای روش استفاده و MBE انحراف نتایج را نشان می‌دهد (یزدانی، ۱۳۸۸). در شرایطی که مقدار این پارامترها برابر صفر و یا نزدیک صفر باشد، نشان دهنده این است که روش استفاده، واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند و با فاصله یافتن از صفر، دقت کم و یا زیاد بودن انحراف را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه پارامترهای MBE و $RMSE$ به شرح معادله‌های ۶ و ۷ است:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i) \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2 \right]^{0.5} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آن‌ها S_i مقادیر پیش‌بینی شده، M_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به‌کار رفته می‌باشد.

تهیه نقشه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی

در این تحقیق از نتایج تجزیه شیمیایی ۷۰ عدد چاه عمیق استفاده شده است که خلاصه‌ای از این نتایج در جدول

۲ آمده است.

جدول ۲: خلاصه نتایج بررسی اولیه آماری چاه‌های مورد مطالعه

متغیر	تعداد	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%CV)
سختی کل (TH)	۷۰	۱۱۰۰	۹۰	۴۰۹/۲۸	۲۴۵/۱۶	۰/۵۹
نسبت جذبی سدیم (SAR)	۷۰	۱۸/۴۶	۰/۱۷	۴/۲۸	۴/۱۸	۰/۹۷
کاتیون	۷۰	۶۰/۷	۳/۳	۱۷/۸۵	۱۴/۷	۰/۳۴
پتاسیم (K)	۷۰	۲/۳	۰	۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۲
سدیم (Na)	۷۰	۴۵	۰/۳	۹/۵۸	۱۰/۶۷	۱۲۲/۲
منیزیم (Mg)	۷۰	۱۴	۰/۳	۴/۱	۳/۱۷	۰/۳۳
کلسیم (Ca)	۷۰	۹/۳	۱	۴/۰۷	۲/۰۱	۰/۴۹
آنیون	۷۰	۶۰/۹	۳/۵	۱۸/۰۱	۱۴/۷۲	۳/۶۱
سولفات (So4)	۷۰	۲۸/۱	۰/۴	۷/۴۵	۶/۷	۱/۰۳
کلر (Cl)	۷۰	۳۸/۵	۰/۵	۶/۴۹	۸/۱۵	۲/۰۵
کربنات (Hco3)	۷۰	۷/۵	۲	۳/۹۷	۱/۰۶	۱۱/۹۸
بی کربنات (CO3)	۷۰	۱	۰	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۱
اسیدیته (pH)	۷۰	۸/۵	۷/۴	۸/۰۵	۰/۲	۰/۰۲
کل املاح محلول (TDS)	۷۰	۳۷۸۰	۱۹۰/۲۶	۱۰۹۳/۱۸	۹۱۰/۷	۱۱۳/۰۷
هدایت الکتریکی (EC)	۷۰	۶۰۰۰	۳۰۲	۱۷۳۵/۲	۱۴۴۵/۵	۱/۳۲

1 - Root Mean Square Error

2 - Mean Bias Error

تحلیل مکانی پارامترهای کیفیت آب‌های زیرزمینی

در این تحقیق از دو روش میان‌یابی کریجینگ معمولی و کوکریجینگ نقطه‌ای به منظور تخمین نقشه‌های کیفیت آب در دشت مشهد استفاده شد. همچنین نتایج ارزیابی دو روش کریجینگ معمولی و روش کوکریجینگ نقطه‌ای با استفاده از پارامترهای آماری RMSE و MBE در (جدول ۳) آمده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که RMSE و MBE حاصل از تخمین پارامترهای کیفیت آب به روش کوکریجینگ نقطه‌ای کمتر از روش کریجینگ معمولی می‌باشد، به همین دلیل نقشه درون‌یابی پارامترهای کیفیت آب، به روش کوکریجینگ نقطه‌ای و با استفاده از امکانات نرم‌افزاری زمین آمار نرم‌افزار GIS تهیه گردید.

جدول ۳: RMSE و MBE روش‌های زمین آماری در تخمین مقادیر پارامترهای کیفیت آب

روش	پارامتر	SAR	Cl	Ec	TDS	TH
کریجینگ معمولی	RMSE	۲/۲۲	۳/۷۶	۵۳۲/۵	۳۶۵/۳	۱۱۲/۱
	MBE	۰/۰۷۸	-۰/۰۴۶	-۴۷/۸۶	-۳۱/۲۳	۱/۵۲
کوکریجینگ نقطه‌ای	RMSE	۱/۷۲	۲/۷۷	۳۶۸	۲۶۱/۴	۹۱/۲۶
	MBE	۰/۰۷۴	-۰/۰۱۴	-۲۰/۵۱	-۵/۳۲	-۱/۴۱

نمونه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی به طور جداگانه برای دو هدف شرب و کشاورزی بررسی شدند. به منظور تحلیل کیفیت آب شرب از استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) استفاده شد. پارامترهای کیفیت و حدهای مجاز برای این داده‌ها با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: حد مجاز پارامترهای مربوط به کیفیت آب برای مصارف شرب براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO)

پارامتر	pH	کل املاح محلول (TDS)	سختی کل (TH)	کلسیم (Ca)	منیزیم (Mg)	کلر (CL)	سولفات (SO ₄)	نیترات (NO ₃)	فلورید (F)	نیتريت (NO ₂)
WHO(mg/l)	۷ - ۸/۵	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۴۰	۱/۵	۳

تهیه نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب

دو نقشه کلرید و باقیمانده خشک با استفاده از ابزار موجود در نرم‌افزار GIS یکپارچه‌سازی می‌شود. سپس با روی هم قرار دادن دو نقشه موضوعی نقشه نهایی کیفیت آب از لحاظ شرب تهیه خواهد شد. در ادامه بر روی این نقشه دو منطقه مطلوب و غیرمطلوب از لحاظ کیفی مشخص می‌گردد.

تهیه نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

در این مطالعه کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی دشت مشهد با هدف کشاورزی نیز بررسی خواهد شد. کیفیت آب، نوع خاک و شیوه کشت نقش مهمی را در اینکه آیا منطقه‌ای برای کشاورزی مطلوب است یا نه بازی می‌کنند. خصوصیات شیمیایی به‌طور مشخص بر روی مطلوبیت آب برای کشاورزی تاثیر می‌گذارند. حجم اضافی سدیم کیفیت آب را برای کشاورزی نامطلوب می‌سازد. به منظور تهیه نقشه کیفیت آب برای هدف کشاورزی، نقشه‌های شوری و SAR روی هم قرار می‌گیرد و نقشه نهایی تهیه می‌شود.

تهیه نقشه یکپارچه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی

پس از تهیه جداگانه نقشه‌های کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی، آنالیز هم‌پوشانی این دو نقشه با نرم افزار GIS انجام می‌شود. با هم‌پوشانی این دو نقشه، امکان بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق زیر میسر می‌گردد: (۱) مناطق مطلوب برای شرب و کشاورزی (۲) مناطق مطلوب فقط برای کشاورزی (۳) مطلوبیت متوسط برای کشاورزی (۴) نامطلوب برای کشاورزی و شرب.

تهیه نقشه میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت مشهد

با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت مشهد برای میانگین ۲۰ ساله تهیه می‌شود.

تشکیل ساختار سلسله مراتبی

در تهیه ساختار سلسله مراتبی و نمایش آن به صورت گرافیکی سه سطح شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها تعیین می‌گردند. در رأس ساختار سلسله مراتبی یا سطح اول (هدف) انتخاب بهترین گزینه پیشنهادی، در سطح دوم معیارهای مؤثر در تعیین هدف تحقیق و پس از آن معیارهای فرعی قرار می‌گیرد. وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. پس باید سنج‌های را یافت که میزان ناهماهنگی داورها را نمایان سازد (قدسی پور، ۱۳۹۸). به همین منظور ضریب سازگاری ساتی (CR) که از تقسیم شاخص سازگاری (CI) به شاخص تصادفی بودن (RI) حاصل می‌شود برآورد شده است. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است. در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (Saaty, 2000).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه ۸}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{رابطه ۹}$$

که CI شاخص سازگاری در قضاوت‌ها، CR ضریب سازگاری در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، RI شاخص تصادفی

بودن، n تعداد معیارهای تصمیم‌گیری و λ_{max} مقدار ویژه بیشینه می‌باشند.

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است، به جای محاسبه مقدار ویژه ماکزیمم (Y_{max}) از L به شرح زیر استفاده می‌شود (رابطه ۱۱) که در آن AW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودویی معیارها (A) در بردار W_i (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید (Saaty, 2000):

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \frac{AW_i}{W_i} \right] \quad \text{رابطه ۱۰:}$$

که AW_i حاصل ضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها در ماتریس وزندهی آن‌ها، W_i بردار وزن‌های معیارهای تصمیم‌گیری و n تعداد معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشند.

محاسبه میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی (a_{ij})

$$B_{ij} = \left(\prod_{i=1}^k a_{ij} \right)^{\frac{1}{k}} \quad \text{رابطه ۱۱:}$$

که b_{ij} میانگین هندسی هر سطر از ماتریس مقایسه زوجی، a_{ij} اهمیت معیار i ام نسبت به معیار j ام و K تعداد معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشند.

نرمالیزه کردن میانگین‌های هندسی حاصل از مرحله قبل

$$W_i = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^k a_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۲:}$$

که W_i وزن معیار i ام و K تعداد معیارهای تصمیم‌گیری می‌باشند.

بر اساس موارد فوق، با توجه به سازگار بودن ماتریس‌های موجود، محاسبه وزن معیار ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون بدست آمد. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن مشکل‌تر و با روش‌های محاسباتی پیچیده قابل انجام است. اما در حال کلی توماس ال ساتی پیشنهاد می‌کند که اگر ناسازگاری بیش‌تر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدیدنظر کند. پس از تایید صحت قضاوت‌ها در ماتریس‌های تشکیل شده اقدام به محاسبه وزن معیارها گردید. در این مطالعه دشت مشهد به پنج منطقه تقسیم‌بندی شد و سپس با استفاده از چهار معیار توپوگرافی منطقه (پساب باید پمپاژ شود یا به صورت ثقلی منتقل خواهد شد)، فاصله از تصفیه‌خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی، این پنج منطقه به منظور جایگزینی پساب تصفیه شده اولویت بندی شد. سپس گزینه‌ها (پنج منطقه) به صورت زوجی براساس هر معیار مقایسه و اولویت بندی می‌شوند. در نهایت امتیاز کلی هر گزینه (منطقه) از مجموع حاصلضرب وزن هر معیار در وزن گزینه در آن معیار محاسبه می‌شود و با توجه به این امتیازها، مناطق مستعد جایگزینی پساب اولویت بندی شد. از امتیاز بیش‌تر (اولویت اول) تا امتیاز کم‌تر (اولویت آخر). لازم به ذکر است که این

نتایج از تعداد ۴۰ پرسشنامه AHP که در قالب جداول مقایسات زوجی تشکیل و بین متخصصان و کارشناسان آب، محیط زیست، اقتصاد و کشاورزی توزیع گردیده، بدست آمده است.

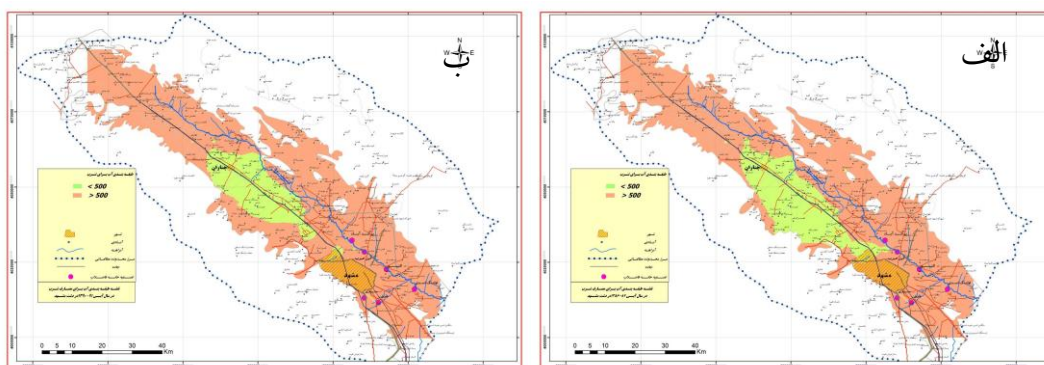
تهیه نقشه اولویت بندی شده مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه شده

بعد از محاسبه وزن هر معیار (توپوگرافی منطقه (پساب باید پمپاژ شود یا به صورت ثقلی منتقل خواهد شد)، فاصله از تصفیه خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی) و همچنین وزن هر گزینه (پنج منطقه)، ابتدا نقشه رستری هر معیار تهیه و به پنج منطقه تقسیم گردید. در ادامه وزن هر معیار در نقشه رستری مربوط به آن معیار وارد و سپس وزن هر گزینه (منطقه) در آن ضرب گردید. در انتها چهار نقشه رستری (توپوگرافی، فاصله از تصفیه خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی) که هر کدام شامل پنج منطقه بودند روی هم قرار گرفتند و مجموع ضرایب هر منطقه محاسبه گردید. بیشترین مقدار بدست آمده اولویت اول برای جایگزینی پساب تصفیه شده و کمترین آن اولویت پنجم برای جایگزینی پساب تصفیه شده نام گذاری گردید.

نتایج و بحث

نقشه کیفیت آب های زیرزمینی برای مصارف شرب

به دلیل اینکه میزان کلر آب های زیرزمینی دشت مشهد کم تر از حد مجاز می باشد، بعد از روی هم قرار دادن نقشه های کلر و TDS، نقشه ای که برای کیفیت آب های زیرزمینی به منظور مصارف شرب بدست می آید همان نقشه TDS می باشد به همین دلیل در نقشه توزیع TDS مناطقی که برای مصارف شرب مناسب می باشند، مشخص شده است. شکل های ۳ الف و ب نشان دادند که میزان آب قابل شرب منابع آب زیرزمینی دشت مشهد در سال آبی ۸۷-۸۶ حدود ۱۸ درصد و در سال آبی ۹۹-۹۸ حدود ۱۲/۵ درصد می باشد به عبارتی از سال آبی ۸۷-۸۶ تا سال آبی ۹۹-۹۸ حدود ۳۰ درصد از آب قابل شرب منابع آب زیرزمینی دشت مشهد کاهش یافته است.

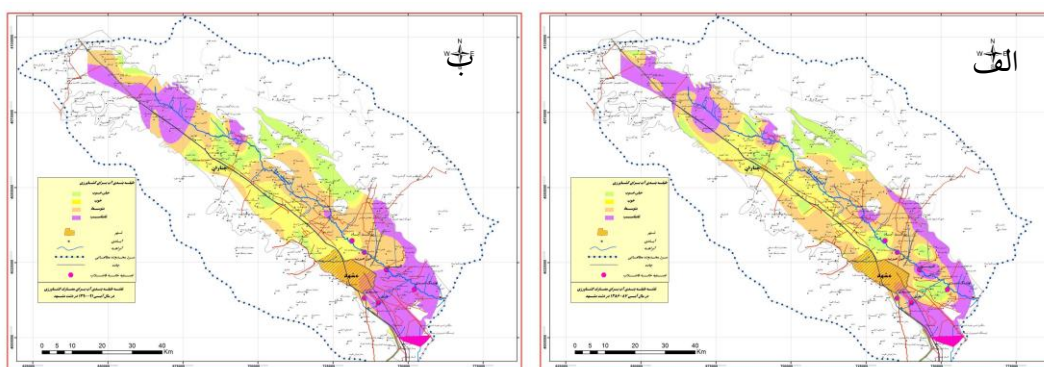


شکل ۴: نقشه درونیابی TDS و کیفیت آب های زیرزمینی برای مصارف شرب دشت مشهد، الف- سال ۸۷-۱۳۸۶ ب-

سال ۹۹-۱۳۹۸

نقشه آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی

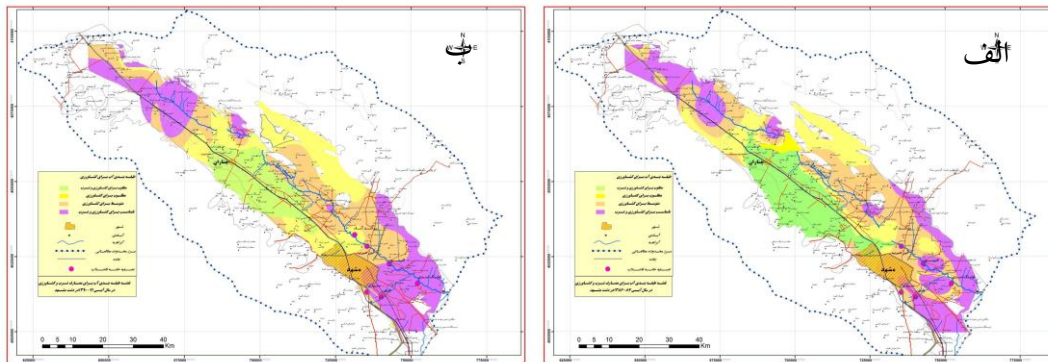
بعد از تهیه نقشه‌های SAR و شوری و روی هم قراردادن آن‌ها، نقشه کیفیت آب‌های زیرزمینی به منظور مصارف کشاورزی بدست آمد (شکل‌های ۵ الف و ب). بر اساس نتایج بدست آمده میزان منابع آب زیرزمینی دشت مشهد که برای کشاورزی مناسب می‌باشند، در سال آبی ۸۷-۸۶ حدود ۷۷ درصد و در سال آبی ۹۱-۹۰ حدود ۷۰ درصد می‌باشد به عبارتی از سال آبی ۸۷-۸۶ تا سال آبی ۹۹-۹۸ حدود ۱۰ درصد از منابع آب مناسب برای کشاورزی در دشت مشهد کاهش یافته و حدود ۳۰ درصد به منابع آب نامناسب برای کشاورزی اضافه شده است.



شکل ۵: نقشه درون‌یابی شوری و کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی دشت مشهد، الف- سال ۸۷-۱۳۸۶، ب ۹۹-۱۳۹۸

نقشه یکپارچه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی

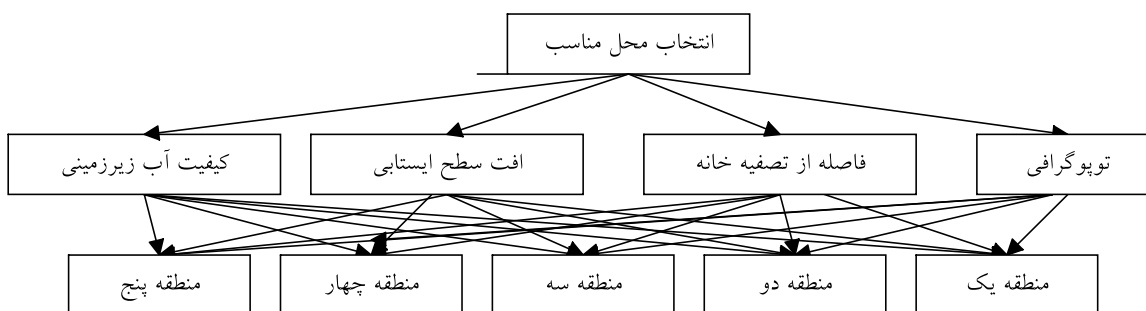
بر اساس نتایج بدست آمده در سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۹-۱۳۹۸ به ترتیب ۱۸ و ۱۲/۵ درصد از کل سطح آب‌های زیرزمینی دشت برای مصارف شرب و کشاورزی مطلوب و ۲۳ و ۳۰ درصد از آن برای این مصارف نامطلوب می‌باشد. همچنین در سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶ و ۹۱-۱۳۹۰ به ترتیب حدود ۲۲ و ۲۴/۵ درصد از کل سطح آب‌های زیرزمینی فقط برای کشاورزی مطلوب و ۳۷ و ۳۳ درصد آن متوسط می‌باشد. مناطق مشخص شده کیفیت آب زیرزمینی با هدف مصارف شرب و کشاورزی به طراحان کاربری اراضی و حفاظت از منابع آب زیرزمینی کمک شایانی می‌کند. همان‌طور که در شکل‌های ۵ الف و ب مشاهده می‌شود با گذشت زمان سطح آب‌های مطلوب برای مصارف کشاورزی و شرب کاسته شده و همچنین سطح آب‌های نامطلوب برای این مصارف افزایش یافته است. به عبارتی از سال آبی ۸۷-۸۶ تا سال آبی ۹۹-۹۸ حدود ۳۰ درصد از منابع آب مناسب برای کشاورزی و شرب در دشت مشهد کاهش و ۳۰ درصد منابع آب نامناسب برای کشاورزی و شرب در دشت مشهد افزایش یافته است. با ادامه این روند ممکن است در چند سال آینده آبی با کیفیت مطلوب برای کشاورزی و شرب در دشت مشهد که یکی از دشتهای حاصل‌خیز کشور می‌باشد، وجود نداشته باشد. از این رو نیاز به مدیریت صحیح در رابطه با مصرف کودهای شیمیایی و روش‌های آبیاری مناسب الزامی است.



شکل ۶: نقشه یکپارچه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی دشت مشهد، الف - سال ۸۷-
ب - سال ۹۹-۱۳۹۸، ۱۳۸۶

وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله جهت وزن دهی به لایه‌ها از روش سلسله مراتب تحلیلی (AHP) استفاده شده است. فرایند تحلیلی سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌ها جهت تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا با کمک این تکنیک می‌توان مساله را فرموله کرده و به صورت سلسله مراتبی آنرا حل کرد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها را دارد. اساس تحلیل در این فرایند استفاده از مقایسه زوجی می‌باشد که سبب سهولت در قضاوت و محاسبات می‌شود. اولین قدم در فرایند سلسله مراتبی، ساخت یک نمایش گرافیکی از هدف، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد (شکل ۷). سطح یک در سلسله مراتب نمایان‌گر هدف می‌باشد. که انتخاب بهترین محل است و سطح دوم معیارهای مساله می‌باشد که شامل توپوگرافی، فاصله از تصفیه‌خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد و در سطح آخر گزینه‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۷: پارامترهای انتخابی در روش سلسله مراتبی تحلیلی

در این روش عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و سپس وزن نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود و نهایتاً با تلفیق وزن‌ها وزن نهایی و یا وزن مطلق مشخص می‌شود.

وزن دهی معیارها

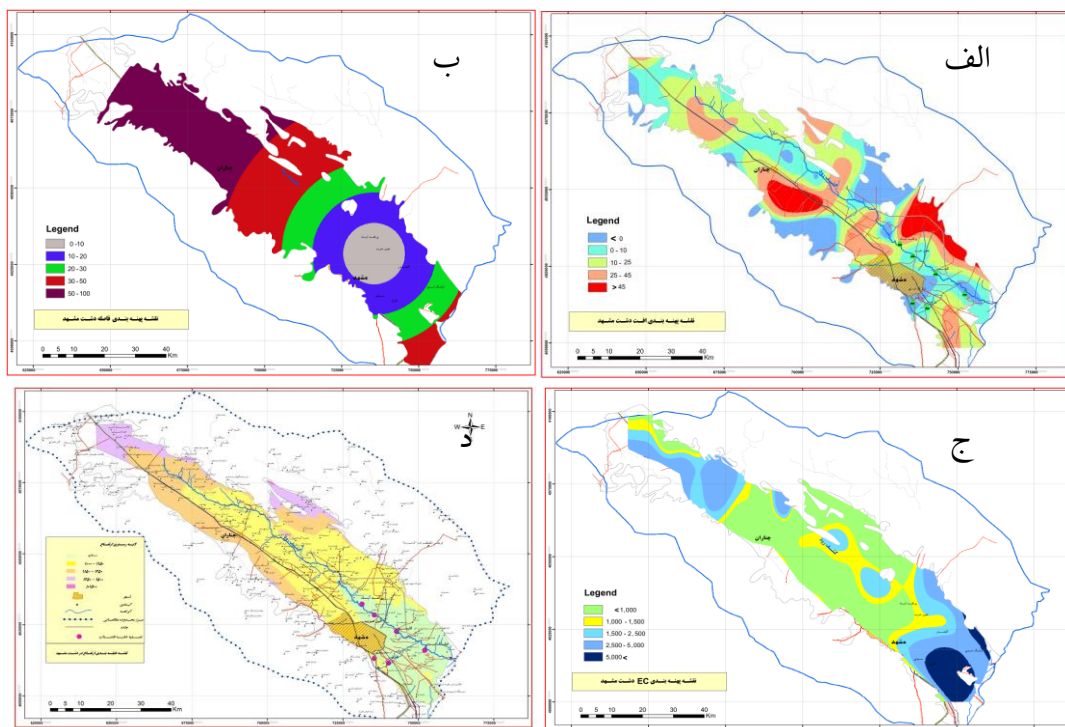
بر اساس روش AHP میزان تاثیرگذاری هریک از پارامترهای در نظر گرفته شده برای اولویت بندی مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده مورد ارزیابی قرار گرفته و وزن نسبی آن‌ها نسبت به هم دیگر در جدول ۵ آورده شده است. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می گردد بیشترین ضریب مربوط به افت و سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی و کمترین آن مربوط به توپوگرافی منطقه می باشد.

جدول ۵: وزن معیارهای اصلی جهت انتخاب محل جایگزینی پساب

وزن	توپوگرافی	فاصله	میزان افت سطح آب	کیفیت آب	معیار
۳	۶	۶	۰/۳۳	۱	کیفیت آب زیرزمینی
۵	۵	۵	۱	۳	میزان افت سطح آب
۱	۳	۱	۰/۲۰	۰/۱۶۷	فاصله از تصفیه خانه
۰	۱	۰/۳۳	۰/۲۰	۰/۱۶۷	توپوگرافی منطقه

تهیه لایه های اطلاعاتی توسط نرم افزار GIS

در این مطالعه لایه های رستری معیارهای توپوگرافی، فاصله از تصفیه خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی در محیط نرم افزاری GIS اقدام و هر معیار به پنج منطقه تقسیم بندی گردید (شکل ۸ الف تا د).

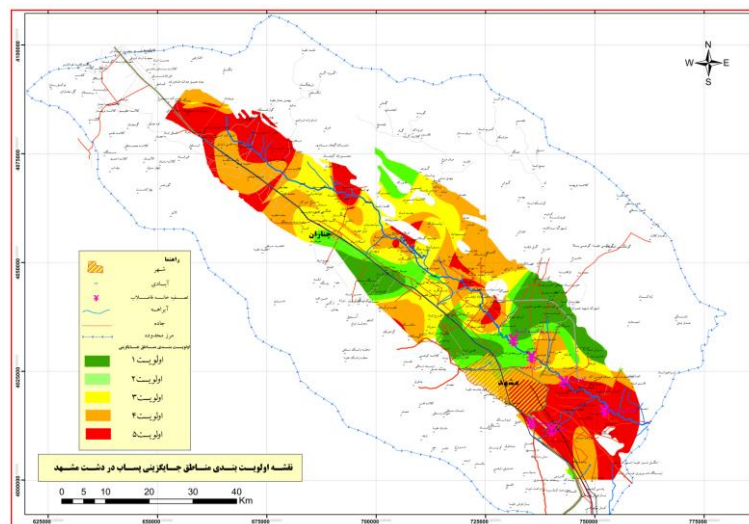


شکل ۸: نقشه رستری الف) افت ۲۰ ساله سطح آب زیرزمینی دشت مشهد، ب) فاصله از تصفیه خانه در دشت مشهد ج) شوری آب زیرزمینی دشت مشهد و د) ارتفاع دشت مشهد

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده

بر اساس نتایج بدست آمده بیش‌ترین مقدار بدست آمده اولویت اول برای جایگزینی پساب تصفیه شده و کم‌ترین آن اولویت پنجم برای جایگزینی پساب تصفیه شده نام‌گذاری گردید (شکل ۸). نتایج AHP نشان داد که با توجه با نظرات کارشناسان و متخصصان آب، افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی دشت مشهد بیش‌ترین ضریب وزنی و فاصله از تصفیه‌خانه و اختلاف ارتفاع مناطق مختلف نسبت به تصفیه‌خانه (توپوگرافی) کم‌ترین ضریب وزنی را داشتند. همچنین مناطقی که بیش‌ترین افت، بهترین کیفیت آب، کم‌ترین فاصله و ارتفاع کم‌تری نسبت به تصفیه‌خانه داشتند، بیش‌ترین ضریب وزنی و به طبع مناطقی که کم‌ترین افت، بدترین کیفیت آب، بیش‌ترین فاصله و ارتفاع بیش‌تری نسبت به تصفیه‌خانه داشتند، کم‌ترین ضریب وزنی را دارا بودند. همان‌طور که در (شکل ۹) مشاهده می‌گردد مناطقی که به عنوان اولویت اول مشخص گردیده‌اند، بیش‌ترین افت سطح آب را داشتند و از لحاظ کیفیت آبی، کیفیت بهتری نسبت به مناطق دیگر دشت داشته‌اند و از آنجایی که در روش AHP بیش‌ترین ضریب وزنی مربوط به افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی بود و همچنین بیش‌ترین میزان این ضریب مربوط به مناطقی بود که بیش‌ترین افت و بهترین کیفیت آبی را دارا بودند، بنابراین به عنوان اولویت اول مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده انتخاب شدند. همچنین مناطقی که به عنوان اولویت پنجم مشخص گردیده‌اند، کم‌ترین افت سطح آب را داشتند و از لحاظ کیفیت آبی، کیفیت نامناسب‌تری نسبت به مناطق دیگر دشت داشته‌اند و از آنجایی که در روش AHP بیش‌ترین ضریب وزنی مربوط به افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی بود و همچنین کم‌ترین میزان این ضریب مربوط به مناطقی بود که کم‌ترین افت و بدترین کیفیت آبی را دارا بودند، بنابراین به عنوان اولویت پنجم مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده تعیین شدند. ۱- مناطقی که در شمال شهر مشهد بین جاده سنتو و رودخانه کشف‌رود واقع شده و از سمت غرب تا جاده آرامگاه فردوسی محدود می‌شود. تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد در این ناحیه قرار دارند. متوسط افت سالیانه سطح آب در این قسمت از ۱/۱۳ تا ۰/۳ متر متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین افت در غرب تصفیه‌خانه پرکندآباد گزارش شده است. آثار افت سطح آب با توجه به نشست سطح زمین به خوبی مشاهده می‌شود. در این قسمت ۴۲۲ حلقه چاه عمیق وجود دارد که حدود ۶۰ حلقه از آن‌ها دارای آبدهی بیش از ۲۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. با جایگزین نمودن بخشی از پساب تصفیه شده، تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد و از مدار خارج نمودن تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری نسبت به تعدیل نمودن افت سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب هیدرولیکی آبخوان از سمت جنوب غرب اقدام نمود. ۲- مناطقی که در جنوب شرق شهر چناران و جنوب گلبهار قرار گرفته است. در این قسمت ۲۴۲ حلقه چاه با مجموع بهره‌برداری سالیانه ۵۹/۲ میلیون مترمکعب و آبدهی متوسط ۱۶/۶ لیتر در ثانیه وجود دارد. میزان افت سطح آب سالیانه از ۱/۶ متر در حاشیه جاده تا ۰/۲ متر در حاشیه کشف‌رود متفاوت است. سطح آب در این مناطق بیش‌ترین مقدار افت ۲۰ ساله سطح آب را دارد. بنابراین با جایگزینی پساب در این مناطق و

خارج نمودن تعدادی از چاه‌های کشاورزی از مدار بهره‌برداری می‌توان نسبت به تعدیل افت سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب هیدرولیکی از جنوب غرب به سوی جاده مشهد قوچان اقدام نموده و از نشست مداوم زمین جلوگیری نمود. انتقال پساب از تصفیه خانه پرکندآباد به این ناحیه مستلزم پمپاژ می‌باشد. در صورت جایگزینی پساب تصفیه شده با برخی از چاه‌های در حال بهره‌برداری مناطق اولویت اول که از کیفیت آبی خوبی هم برخوردار می‌باشند، ضمن متعادل نمودن بیلان دشت، می‌توان بخشی از آب صرفه جویی شده را در سفره ذخیره نمود یا در بخش شرب استفاده کرد.



شکل ۹: نقشه اولویت بندی مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده در دشت مشهد

نتیجه‌گیری

در راستای جایگزینی پساب تصفیه شده و از مدار خارج نمودن تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری در بخش کشاورزی و صنعت و بهره‌برداری از پساب، آبخوان دشت مشهد و بر اساس نتایج AHP مناطقی که در شمال شهر مشهد بین جاده سنتو و رودخانه کشف‌رود واقع شده و از سمت غرب تا جاده آرامگاه فردوسی محدود می‌شود. تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد در این ناحیه قرار دارند. متوسط افت سالیانه سطح آب در این قسمت از $1/13$ تا $0/3$ متر متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین افت در غرب تصفیه‌خانه پرکندآباد گزارش شده است. آثار افت سطح آب با توجه به نشست سطح زمین به خوبی مشاهده می‌شود. در این قسمت ۴۲۲ حلقه چاه عمیق وجود دارد که حدود ۶۰ حلقه از آن‌ها دارای آبدهی بیش از ۲۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. با جایگزین نمودن بخشی از پساب تصفیه شده، تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد و از مدار خارج نمودن تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری نسبت به تعدیل نمودن افت سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب هیدرولیکی آبخوان از سمت جنوب غرب اقدام نمود. و مناطقی که در جنوب شرق شهر چناران و جنوب گلپهار قرار گرفته است. در این قسمت ۲۴۲ حلقه چاه با مجموع بهره‌برداری سالیانه $59/2$ میلیون مترمکعب و آبدهی متوسط $16/6$ لیتر در ثانیه وجود دارد. میزان افت سطح آب سالیانه از $1/6$ متر در حاشیه جاده تا $0/2$ متر در حاشیه کشف‌رود متفاوت است. سطح آب در این مناطق بیش‌ترین مقدار افت ۲۰ ساله سطح آب را دارد. بنابراین با جایگزینی پساب در این مناطق و خارج نمودن

تعدادی از چاه‌های کشاورزی از مدار بهره‌برداری می‌توان نسبت به تعدیل افت سطح آب زیرزمینی و کاهش شیب هیدرولیکی از جنوب غرب به سوی جاده مشهد قوچان اقدام نموده و از نشست مداوم زمین جلوگیری نمود. انتقال پساب از تصفیه‌خانه پرکندآباد به این ناحیه مستلزم پمپاژ می‌باشد. در صورت جایگزینی پساب تصفیه شده با برخی از چاه‌های در حال بهره‌برداری مناطق اولویت اول که از کیفیت آبی خوبی هم برخوردار می‌باشند، ضمن متعادل نمودن بیلان دشت، جلوگیری از تشدید افت سطح آب، نشست زمین و حفاظت کیفی و کمی ذخایر آب زیرزمینی، می‌توان بخشی از آب صرفه‌جویی شده را در سفره ذخیره نمود یا در بخش شرب استفاده کرد. چرا که جایگزینی پساب با حقایق زارعین سدهای طرق و کارده سبب شده تا حدود ۲۵ میلیون مترمکعب سالیانه از کسری آب شرب شهر مشهد بدون نیاز به حفر چاه و فشار بر آبخوان دشت جبران گردد. انتقال آب سد دوستی در سال جاری سبب شده تا تعداد زیادی از چاه‌های آب شرب از مدار خارج گردد. در نتیجه با کاهش بهره‌برداری از آبخوان دشت افت سطح آب زیرزمینی کاهش یافته و سطح آبخوان افزایش یافته است. تغییرات سطح آب زیرزمینی در پنج سال اخیر در چاه‌های پیژومتر نشان دهنده تعدیل افت در نه ماه اخیر با انتقال آب از سد دوستی می‌باشد. البته از تغییرات کیفی اطلاعی در دست نیست. با جایگزینی پساب تصفیه شده با آب چاه‌های کشاورزی و خارج نمودن آن‌ها از مدار بهره‌برداری میزان برداشت از آبخوان کاهش یافته و پتانسیل ذخیره شده آن می‌تواند در آینده مورد استفاده قرار گیرد. جایگزینی به‌واسطه عمق زیاد لایه اشباع در دشت، مانع تغییر کیفیت آبخوان می‌گردد. از سوی دیگر سبب تغییرگرادبان هیدرولیکی آبخوان کاهش شیب سطح آب و در نتیجه کم‌شدن سرعت جریان آب زیرزمینی می‌شود. با جایگزینی مستقیم (معوض) و از مدار خارج نمودن چاه‌های کشاورزی صددرصد آب جایگزین شده با کیفیت بهتر در سفره آب زیرزمینی ذخیره شده و در آینده قابل استفاده خواهد بود.

منابع

- بازنژاد، ح.، یزدانی، و.، رحمانی، ع. ر.، مهاجری، س. و علیایی، ا. (۱۳۸۹). امکان‌سنجی استفاده از دانه‌های مورینگا پرگرینا در مقایسه با آلوم و پلی‌آلومنیوم کلراید در تصفیه فاضلاب. مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۳، شماره ۳، ص ۲۶۰-۲۵۱.
- حسینی‌پاک، ع. ا. (۱۳۷۷). زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۸۲.
- قدسی‌پور، ح. (۱۳۹۸). فرایند تحلیل سلسله مراتبی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ص ۲۲۲.
- منتظر، ع. ا.، زادباقر، ا. و حیدری، ن. (۱۳۸۸). توسعه مدل ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. مجله آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۴، ص ۷۷-۸۶.
- وکیلی، ع. (۱۳۷۵). سخنرانی‌های کلیدی در گردهمایی اقتصاد آب. مجله آب و توسعه، شماره ۱۵، ص ۱۸-۱۳.

یزدانی، و. (۱۳۸۸). ارزیابی عملکرد پودر دانه‌های برخی از گونه‌های درخت گز روغنی در مقایسه با آلوم و پلی آلومینیوم کلرید در تصفیه فاضلاب شهری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

یزدانی، و.، بانژاد، ح.، فاضلی، م. ا. و رحمانی، ع. ر. (۱۳۹۶). بررسی عملکرد پودر دانه‌های مورینگا اولیفرای در مقایسه با سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید در تصفیه آب‌های آلوده. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۹، شماره ۴، ص ۳۳۴-۳۲۱.

یزدانی، و. و منصوریان، ح. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۴، شماره ۱۵، ص ۱۳۲-۱۱۸.

Allan, J.A. (1999). A convenient solution. The UNESCO Courier, February, pp: 29–31.

Ananda, j. and Herath, G. (2008). Multi-attribute preference modeling and regional land-use planning. Ecological Economics, 65 (2), pp: 325-335.

Bush, S.R. (2003). Using a simple GIS model to assess development patterns of small scale rural aquaculture in the wider environment. Aqua KE Government Developments, pp: 1201-1210.

Daputo, G., Massa, F., Costa, S., Cimoli, L., Olivari, E., Chiantore, M., Federici, B. and Povero, P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. Ocean & Coastal Management, 116, pp: 64–77.

Ferreira, J.G., Falconer, L., Kittiwanih, J., Ross, L., Saurel, C., Wellmane, K., Zhuf, C.B. and Suvanachai, P. (2015). Analysis of production and environmental effects of Nile tilapia and white shrimp culture in Thailand. Aquaculture, 447, pp: 23–36.

Greene, R., Luther, J.E., Devillers, R. and Eddy, B. (2010). An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. Forest Ecology and Management, 260 (12), pp: 2102–2114.

Hossain, M.S. and Gopal Das, N. (2015). GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali, Bangladesh. Computers and Electronics in Agriculture, 70 (1), pp: 172–186

Kerr, S. and Lasenby, T.A. (2000). Rainbow trout stocking in inland lakes and streams: An annotated bibliography and literature review. Fisheries Journal, 30 (7), pp: 21-30.

Kharat, M.G., Kamble, S.J., Raut, R.D., Kamble, S.S. and Dhume, S.M. (2016). Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2), pp: 1-16.

Mahida, U.N. (1981). Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGraw-Hill Publishing Company limited. New Delhi, 323p.

Montazar, A. and Behbahani, S.M. (2007). Development of an optimized irrigation system selection model using analytical hierarchy process. Bio systems engine, 98 (2), pp: 155-165.

Pan, G.C., Gaard, D., Moss, K. and Heiner, T. (1993). A comparison between co-Kriging and ordinary Kriging; case study whit a polymetalic deposit; *Mathematical Geology*, 25 (3), pp: 377-398.

Saaty T.L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory*, 2nd ed., RWS Publications, Pittsburgh, PA.

Silva, C., Ferreira, J.G., Bricker, S.B., DelValls, T.A., Martín-Díaz, M.L. and Yáñez, E. (2011). Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*, 318 (3-4), pp: 444–457.

Sloane, M.B. (1994). *New Mexico Aquaculture*. New Mexico State University, Cooperative Extension Service.

Identifying the potential of areas prone to replacing wastewater to compensate for the drop in the level of underground water sources

Vahid Yazdani^{1*}, Mohamad soltani asal²

- 1) Doctor of Water Science and Engineering, CEO of Hydropy Consulting Company
- 2) Professor in Civil Engineering, Asrar University

*Corresponding author: v.yazdany@yahoo.com

Received Date: 2022. 08. 16

Accepted Date: 2023. 05. 28

Abstract

One of the main strategies to combat water scarcity is the continuous use of water by the change in its quality in different sectors of consumption, thus reusing wastewater is an inevitable necessity. In this study, the groundwater quality parameters of Mashhad Plain were investigated spatially and temporally using normal kriging and point cokriging methods in GIS environment. In the following, by using the hierarchical analysis process of AHP, the areas prone to replacing treated industrial effluents in the Mashhad plain have been identified and prioritized. Based on the statistics and standards used, it was determined that only 12.5% of the total underground water of the plain is potable. Also, 70% of the total underground water in Mashhad plain is suitable for agriculture. AHP results showed that according to the opinions of experts and water specialists, the drop in water level and underground water quality of Mashhad plain had the highest weighting coefficient, and the distance from the treatment plant and the height difference of different areas compared to the treatment plant (topography) had the lowest weighting coefficient. Also, the areas that had the highest drop, the best water quality, the least distance, and lower height from the treatment plant, had the highest weighting factor, and naturally, the areas that had the lowest drop, the worst water quality, the greatest distance and height from the treatment plant, had the lowest weighting factor. Had the areas that were identified as the priority had the highest drop in water level and terms of water quality, they had better quality than other areas of the plain, and since in the AHP method, the highest weighting factor was related to the drop in water level and the quality of underground water. Also, the highest amount of this coefficient was related to the areas that had the highest drop and the best water quality, so they were chosen as the priority areas for replacing treated wastewater. By replacing treated wastewater with water from agricultural wells and removing them from the exploitation circuit, the amount of withdrawal from the aquifer is reduced and its stored potential can be used in the future. Replacement due to the high depth of the saturated layer in the plain prevents the change of the aquifer quality. On the other hand, the hydraulic gradient of the aquifer decreases the slope of the water level and, as a result, the speed of the underground water flow decreases. By direct replacement (compensation) and removing the agricultural wells from the circuit, 100% of the replaced water with better quality is stored in the underground water table, and will be used in the future.

Keywords: Hierarchical analysis system, Mashhad plain, Reservoir level drop, Wastewater replacement.