نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و هشت. تابستان ۱۴۰۱

تعیین مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه‌شده با استفاده از روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) در دشت مشهد

مسعود محمدی[۱]، هادی دهقان[۲*]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۱۲/۲۵

چکیده

در این پژوهش از نرم‌افزار GIS برای مکان‌یابی مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه‌شده استفاده شده است. برای این منظور از پارامترهای میزان کیفیت آب، نزدیکی به محل تصفیه‌خانه‌ها، میزان افت سطح آب زیرزمینی و وضعیت توپوگرافی در مناطق مختلف استفاده شده است. سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این پارامترها به روش AHP وزن‌دهی شدند. سرانجام با تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌ها، نقشه اولویت‌بندی مناطق مستعد جایگزینی پساب حاصل گردید. 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 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 به‌تبع، مناطقی که کمترین افت، بدترین کیفیت آب، بیشترین فاصله و ارتفاع بیشتری نسبت به تصفیه‌خانه داشتند، کمترین ضریب وزنی را دارا بودند. مناطقی که به عنوان اولویت اول مشخص گریدند، بیشترین افت سطح آب را داشتند و از لحاظ کیفیت آبی، کیفیت بهتری نسبت به مناطق دیگر دشت داشتند. بنابراین در این مناطق 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. با جایگزینی مستقیم (معوض) و از مدار خارج نمودن چاه‌های کشاورزی صد درصد آب جایگزین شده با کیفیت بهتر در سفره آب زیرزمینی ذخیره شده و در آینده قابل استفاده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: افت سطح ایستابی، تصفیه‌خانه، کیفیت آب، مشهد، نرم افزار GIS، AHP

۱- دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، ۰۹۱۵۹۲۳۴۰۶۲، Mmohammadi_64@yahoo.com
۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران، ۰۹۱۳۹۴۹۶۲۲۷، h.dehghan@kashmar.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

کاهش سطح آب زیرزمینی و استفاده بیش از حد آن با توجه 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 اجتناب ناپذیر است. روش‌های بهره‌گیری از پساب گسترده و حساس می‌باشد که از آن جمله می‌توان به جایگزینی آن با حقابه‌های کشاورزی (سطحی و زیرزمینی)، تغذیه مصنوعی، صنایع، پرورش ماهی، فضای سبز و... اشاره کرد. به دلیل کمبود منابع آبی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک 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. رشد روزافزون جمعیت و توسعه صنایع از عواملی هستند که افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در جوامع را باعث شده‌اند. با توجه به محدود بودن منابع آب در دسترس، استفاده از فاضلاب تصفیه شده می‌تواند ضمن حفاظت از منابع آبی، بخشی از کمبود آب را نیز جبران کند.

کمبود آب یکی از مسائل حیاتی در بسیاری از نقاط کشور از جمله دشت مشهد می‌باشد. از طرف دیگر در دشت مشهد به دلیل محدودیت منابع آب از جنبه‌های کمی و کیفی، بیشتر مصارف شرب و کشاورزی از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شوند. بنابراین 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 تغییرگرادیان 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 صد درصد آب جایگزین شده با کیفیت بهتر در سفره آب زیرزمینی ذخیره شده و در آینده قابل استفاده خواهد بود (حیدری، ۱۳۹۷). در رابطه با استفاده از پساب تصفیه‌شده، ولی نژاد و همکاران (۱۳۸۱) تأثیر پساب تصفیه‌شده بر رشد و عملکرد ذرت را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه ذرت تحت تیمار آبیاری با پساب فاضلاب افزایش می‌یابد و استفاده از پساب نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد. فیضی (۱۳۸۰) در مقایسه پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، PH و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. همچنین بیان داشت که غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری) آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود، اگرچه تفاوت معنی‌دار نیست. روحانی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی تأثیر فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک بیان داشتند که زمین آبیاری شده با پساب دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر در (FC) و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه مجاور آبیاری شده با آب چاه است. نتایج Saber (1986) در قاهره مشخص نمود که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری گنجایش نگهداری آب در خاک افزایش یافته است. صیادمنش و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی کاربرد پساب صنعتی در آبیاری مزارع و اثر آن بر تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه برنج با استفاده از آبیاری حدود ۳ هکتار از اراضی تحت کشت برنج با استفاده از آب رودخانه هراز آلوده با پساب ناشی از شهرک صنعتی آمل و طی ۳ تکرار به صورت تصادفی از ریشه و اندام هوایی و دانه نمونه‌برداری کردند و مقدار عناصر نیکل، کروم، سرب و کادمیم را در دو حالت شاهد و مورد مطالعه مقایسه کردند. در این تحقیق مشخص شد که مقدار عناصر مورد نظر در اراضی تحت کشت نسبت به گیاه شاهد افزایش داشت که در ماه‌های گرم سال بیشتر

بوده و بیشترین تجمع قابل جذب مربوط به سرب و تجمع کل عنصر نیکل بیشتر از سایر عناصر بود. تجمع کادمیم هم در دانه بیشترین مقدار نسبت به شاهد را داشت. آنها همچنین نشان دادند که افزایش مقدار آهک، CEC و PH بالا، باعث کاهش جذب عناصر سنگین می‌شود. کریم زاده و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی اثرات آبیاری با پساب بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با انتخاب مزارع با بافت-های شن، لومی سیلتی و رس در محدوده تصفیه‌خانه پرکندآباد ۲ مشهد که در ۵ سال گذشته بطور پیوسته تحت آبیاری با آب یا پساب بوده‌اند، نمونه‌ای دست نخورده تهیه و در آزمایشگاه، با استفاده از آب، پساب و مخلوط حجمی یکسان از آب و پساب مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک را تعیین کردند. نتایج تحقیق اخیر نشان داد که تأثیر آبیاری اراضی با پساب (به مدت ۵ سال) بر میزان کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاکهای درشت دانه کمتر از خاکهای ریزدانه می‌باشد و دلیل آن احتمالاً ناشی از گرفتگی منافذ ریز خاک توسط مواد معلق موجود در پساب در خاک‌های ریزدانه است.

بررسی و جمع‌بندی تجربیات جهانی در استفاده از پساب تصفیه‌شده نشان می‌دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این منابع به عنوان یک منبع ارزشمند اب مطرح بوده و با گذشت زمان اهمیت آن بیشتر نیز خواهد شد. بنابراین تعیین مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین و اولویت‌بندی مناطق جایگزینی پساب تصفیه‌شده، روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP) می‌باشد. در رابطه با استفاده از این روش، 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[1] استفاده نموده و به حساسیت‌سنجی مقدار بهره‌وری آب پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد شبکه سفیدرود و برخوار با وزن نهایی ۰/۱۳۶ و ۰/۰۳۲ به ترتیب که بیشترین و کمترین بهره‌وری آب در بین شبکه‌های مورد مطالعه دارا بودند. بر اساس این تحقیق نشان داده شد که همچنین وضعیت ساختار فیزیکی (نوع دریچه‌ها 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. خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷)، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی در دامنه شمالی کوههای کرکس ـ نطنز و با در نظر گرفتن معیارهای اصلی ارزیابی شامل معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی ـ اجتماعی و فنی پرداختند. سپس معیارهای فرعی زیرگروه برای هر یک از معیارهای اصلی با استفاده از نظرات کارشناسی تعیین گردیده و در نهایت با وزن‌دهی به معیارهای مذکور، مناسب‌ترین محورها برای احداث سد زیرزمینی مشخص شد. Montazar and Behbahani (2007) مدلی جهت انتخاب سیستم بهینه آبیاری با توجه به عوامل فیزیکی، سیاسی ـ اقتصادی و زیست‌محیطی مؤثر 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. عسگری و همکاران (۱۳۹۳) فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انتخاب کردند. پس از آنالیز نهایی، فرایند "UASB (Upflow anaerobic sludge blanket)+ هوادهی" در اولویت اول قرار گرفت. باقری و همکاران (۱۳۹۶) مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی‌اتیلن سنگین شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک را با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بررسی کردند. با استناد به نتایج حاصل، علیرغم اینکه روش لجن فعال با هوادهی گسترده (EAAS) از قابلیت نگهداری و راهبری ساده‌تر در مقایسه با روش راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) برخوردار بود، ولی روش SBR به واسطه تطابق بیشتر کیفیت پساب خروجی با استانداردهای محیط زیستی و نیاز به زمین کمتر برای

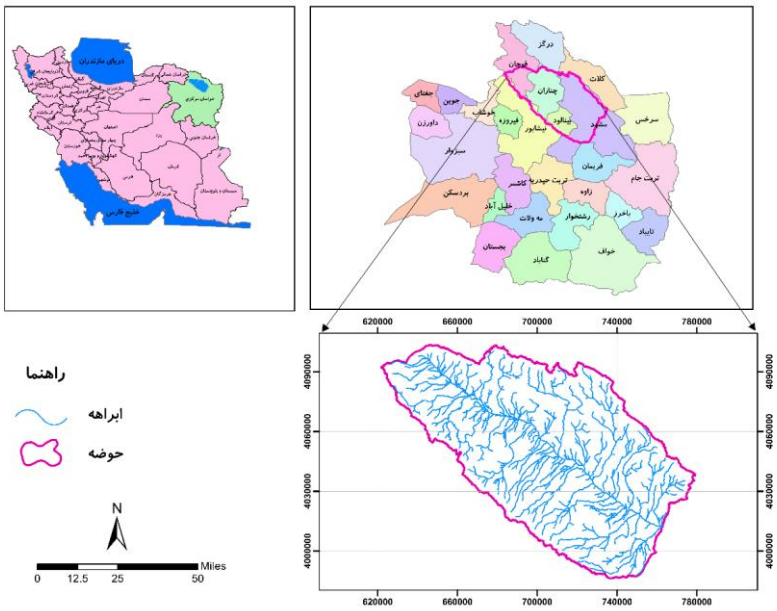
1 - Expert Choice

استقرار سیستم تصفیه، به عنوان مناسب‌ترین گزینه برای تصفیه فاضلاب انتخاب شد. آقاسی و مهردادی (۱۳۹۷) بهترین روش ساماندهی پساب کارخانه فرآوری ماهی میرود را با استفاده از روش AHP بررسی کردند. بررسی-های نهایی نشان داد که بهترین روش استفاده از پساب کارخانه فرآوری با توجه به معیارها و زیر معیارهای فنی، مدیریتی، محیط زیستی و اقتصادی، روش لجن فعال بود. Okada et al (2008) اثرات بهبود مدیریت و سخت-افزارها را 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 داد. همچنین، معلوم شد که کیفیت خدمات تحویل آب اثر مهمی روی تولید محصولات داشت. Ananda and Herath (2008) چگونگی استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را جهت ترکیب اولویت‌ها در تعیین گزینه‌های کاربری بهینه اراضی جنگلی استرالیا شرح دادند. نتایج خروجی با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس، نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند به مشارکت‌های عمومی در تصمیم‌گیری شکل رسمی داده و شفافیت و اعتبار فرآیند را افزایش دهد. Anane et al. (2012) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی در محیط GIS به رتبه‌بندی مناطق مناسب با پساب در کشور تونس با در نظر گرفتن متغیرهای مرتبط با جنبه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای امکان‌سنجی استفاده از پساب تصفه‌شده شهری، به ۵ معیار اصلی دست یافتند. این معیارها شامل مناسب بودن زمین، اندرکنش منابع، اثربخشی سرمایه‌گذاری، پذیرش اجتماعی و اثرات زیست-محیطی بودند. Neji and Turki (2015) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به مکان‌یابی مبتنی بر GIS برای یافتن بهترین مناطق برای آبیاری با پساب در شمال تونس پرداختند. در نهایت پنج منطقه که در آن فعالیت‌های کشاورزی به خوبی توسعه یافته و منابع غیرمتعارف زیادی نیاز داشتند، به عنوان مناطق برتر انتخاب گردیدند. Zolfaghary et al. (2021) امکان-سنجی استفاده از آب‌های نامتعارف را در کشاورزی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی بررسی کردند. نتایج نشان داد علی‌رغم پایین بودن میزان مطلوبیت کشت تمامی گیاهان به دلیل عدم مطلوبیت پارامترهایی چون نیترات، آلودگی میکروبی و آسیب‌پذیری آبخوان که دارای بالاترین میزان حساسیت و وزن نسبی بودند، دو گیاه پنبه و کلزا از بین ۱۰ گیاه رایج زراعی در منطقه، بالاترین مطلوبیت کشت با پساب را کسب کردند. با توجه به تحقیقات انجام شده می‌توان گفت تاکنون از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در تعیین مناطق مستعد جایگزینی پساب استفاده نشده است. بنابراین می‌توان با استفاده از این روش تصمیم‌گیری به نتایج ارزشمندی در این خصوص دست یافت. بنابراین هدف از این پژوهش اولویت‌بندی مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه‌شده از لحاظ میزان کیفیت، نزدیکی به محل تصفیه‌خانه‌ها، میزان افت سطح آب زیرزمینی و وضعیت توپوگرافی در مناطق مختلف با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

دشت مشهد با وسعت ۹۹۰۹ کیلومترمربع در شمال استان خراسان رضوی در بین طول جغرافیایی ′۲۲- ^{0}۵۸ تا ′۵۳- ^{0}۵۹ طول شرقی و ′۵- ^{0}۳۵ تا ′۰۳- ^{0}۳۷ عرض شمالی قرار دارد. این محدوده در حوضه آبریز قره‌قوم قرار گرفته و ۲۲/۵ درصد وسعت حوضه قره‌قوم در ایران را شامل می‌گردد. این حوضه، منطقه‌ای کوهستانی است بطوری که ۳۵ درصد آن دشت و بقیه شامل ارتفاعات و تپه‌ماهور می باشد. حداکثر ارتفاع حوضه در قله بینالود ۳۲۴۹ متر و حداقل در محل خروجی ۸۸۰ متر و ارتفاع متوسط آن ۱۸۰۰ متر از سطح دریا است. این حوضه از شمال و شمال غرب به ارتفاعات هزار مسجد و اللّه اکبر با روند شمال غرب به جنوب شرق، از سمت شرق به رودخانه تنگل شور و دشت نریمانی، از جنوب و جنوب غربی به کوههای بینالود با روند شمال غرب به جنوب شرق به موازات ارتفاعات شمالی و از شمال غرب به حوضه آبریز رودخانه اترک محدود می‌شود. دشت مشهد توسط رودخانه سیلابی کشف‌رود با روند شمال غرب- جنوب شرق و شاخه‌های فرعی ریزنده به آن به طول حدود ۱۶۰

کیلومتر زهکشی می‌شود. در مجموع، اقلیم کلی منطقه نیمه‌خشک بوده و میزان بارندگی متوسط سالیانه دراز مدت (۳۰ ساله، ۶۱-۱۳۶۰ الی ۹۰-۱۳۸۹) در محدودهٔ مطالعاتی مشهد حدود ۲۵۵/۱ میلیمتر در سال می‌باشد. دما بر عکس بارندگی از سمت غرب به سوی شرق از ۹/۱ به ۱۷/۱ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت دشت مشهد

در این تحقیق از نتایج تجزیه شیمیایی ۹۵ عدد چاه عمیق استفاده شده است که خلاصه‌ای از این نتایج در جدول ۱ آمده است. داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شده است.

جدول (۱): خلاصه نتایج بررسی اولیه آماری چاه‌های مورد مطالعه

متغیر	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (CV٪)
سختی کل (TH)	۱۱۰۰	۹۰	۴۰۹/۲۸	۲۴۵/۱۶	۰/۵۹
نسبت جذبی سدیم (SAR)	۱۸/۴۶	۰/۱۷	۴/۲۸	۴/۱۸	۰/۹۷
کاتیون	۶۰/۷	۳/۳	۱۷/۸۵	۱۴/۷	۰/۳۴
پتاسیم (K)	۲/۳	۰	۰/۰۹	۰/۳۶	۰/۰۲
سدیم (Na)	۴۵	۰/۳	۹/۵۸	۱۰/۶۷	۱۲۲/۲
منیزیم (Mg)	۱۴	۰/۳	۴/۱	۳/۱۷	۰/۳۳
کلسیم (Ca)	۹/۳	۱	۴/۰۷	۲/۰۱	۰/۴۹
آنیون	۶۰/۹	۳/۵	۱۸/۰۱	۱۴/۷۲	۳/۶۱
سولفات (So_4)	۲۸/۱	۰/۴	۷/۴۵	۶/۷	۱/۰۳
کلر (Cl)	۳۸/۵	۰/۵	۶/۴۹	۸/۱۵	۲/۰۵
کربنات (Hco_3)	۷/۵	۲	۳/۹۷	۱/۰۶	۱۱/۹۸
بی‌کربنات (CO_3)	۱	۰	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۱
اسیدیته (pH)	۸/۵	۷/۴	۸/۰۵	۰/۲	۰/۰۲
کل املاح محلول (TDS)	۳۷۸۰	۱۹۰/۲۶	۱۰۹۳/۱۸	۹۱۰/۷	۱۱۳/۰۷
هدایت الکتریکی (EC)	۶۰۰۰	۳۰۲	۱۷۳۵/۲	۱۴۴۵/۵	۱/۳۲

در جدول (۱) EC بر حسب میکرو موس بر سانتیمتر، SAR بر حسب میلی اکی والان بر لیتر و بقیه پارامترها بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشند.

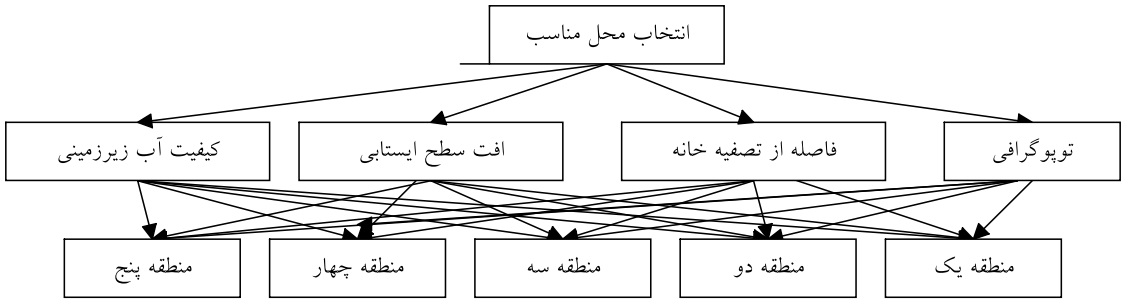
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش-های قوی و ساده حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری است و در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. AHP راهی برای انجام اولویت ها (تعیین درجه اهمیت‌ها) با روش علمی به منظور تصمیم-گیری است. این روش ارزیابی چندمعیاری ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال .ساعتی[1] پیشنهاد گردید. مسائل پیچیده در AHP به تعدادی مسائل ساده تقسیم می‌شود. اغلب AHP برای مقایسه مزیت نسبی گزینه‌ها نسبت به هم برای رسیدن به هدف کلی به کار می‌رود (بنای رضوی و احمدی زاده، ۱۳۸۸). اساس کار این مدل تعیین ترتیب اولویت معیارها و تعیین کارشناسی وزن معیارهاست. فرایند تحلیلی سلسله مراتبی یکی از جامع-ترین 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 فرآیند 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 (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۰).

تشکیل ساختار سلسله مراتبی

در تهیه ساختار سلسله مراتبی و نمایش آن به صورت گرافیکی سه سطح هدف، معیارها و گزینه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. 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 (شکل ۲). سطح یک در سلسله مراتب نمایانگر هدف می‌باشد، که انتخاب بهترین محل است و سطح دوم معیارهای مساله می‌باشد که شامل توپوگرافی، فاصله از تصفیه خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد و در سطح آخر گزینه‌ها قرار می‌گیرند. جهت ارزیابی ارجحیت هر معیار بر معیارهای دیگر در ماتریس زوجی، از جدول ۲ کمک گرفته شد. همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد اگر دو معیار دارای وزن یکسان بوده امتیاز ۱ و اگر اهمیت یک معیار خیلی بیشتر از معیار دیگر باشد امتیاز ۹ را کسب خواهد نمود و به همین ترتیب می‌توان ماتریس را تشکیل و مطابق جدول ذیل در شرایط مختلف امتیازات لازم را به هر معیار نسبت داد.

1 - Thomas Saaty



شکل (۲): ساختار مسأله در روش AHP

جدول (۲): مقیاس AHP (مؤمنی و شریفی سلیم، ۱۳۹۰)

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت یکسان	دو عنصر اهمیت یکسانی داشته باشند.
۳	برتری متوسط	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر برتری متوسطی داشته باشد.
۵	برتری زیاد	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر برتری زیادی داشته باشد.
۷	برتری بسیار زیاد	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر برتری بسیار زیادی داشته باشد.
۹	برتری فوق-العاده زیاد	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر برتری فوق‌العاده زیادی داشته باشد.
۲,٤,٦,۸		ارزش‌های بینابین

در این مطالعه دشت مشهد به پنج منطقه تقسیم-بندی 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 اولویت‌بندی گردید. برای این منظور ابتدا وزن معیارها مشخص شد. به عبارتی پرسش‌نامه خبره براساس هدف، به مقایسه زوجی معیارها می‌پردازد و اولویت معیارها را مشخص می‌کند. سپس گزینه‌ها (پنج منطقه) به صورت زوجی براساس هر معیار، مقایسه و اولویت‌بندی شدند. در نهایت امتیاز کلی هر گزینه (منطقه) از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه در آن معیار محاسبه و با توجه به این امتیازها، مناطق مستعد جایگزینی پساب از امتیاز بیشتر (اولویت اول) تا امتیاز کمتر (اولویت آخر) اولویت‌بندی شد. در این رابطه تعداد ۴۰ پرسشنامه AHP در قالب جدول‌های مقایسه‌های زوجی تشکیل و بین متخصصان و کارشناسان آب توزیع گردید و از آنها خواسته شد طبق جدول ۲ با مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم، نمره‌دهی و اهمیت آنها را مشخص کنند.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه اولویت‌بندی شده مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه شده

برای تلفیق لایه‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد. در این تحقیق از روش هم‌پوشانی شاخص وزنی استفاده شده است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۰). این روش به عنوان یک روشی ساده و مناسب در تحلیل‌های ترکیبی داده‌های مکانی مطرح می‌باشد و دارای انعطاف‌پذیری بالایی در ترکیب داده‌ها می‌باشد، در این روش برای تعیین اهمیت نسبی هر پارامتر نسبت به سایر پارامترها، از میزان تأثیرگذاری آنها در امر مکان‌یابی استفاده نموده، به این صورت که به مهم‌ترین پارامتر بیشترین وزن تعلق می-گیرد. همچنین هر یک از پارامترها به بازه‌هایی (Rate) تقسیم شده و برای هر بازه نیز امتیازی (Rank) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین کلاس‌های مختلف موجود در یک نقشه واحد، دارای وزن‌های متفاوتی خواهند بود. در نهایت

تمامی پارامترهای اصلی با وزن‌هایی که به کمک روش AHPبه هر یک از آنها تعلق گرفته با کمک رابطه زیر با هم تلفیق شده و نقشه زون‌بندی بدست می‌آید. در واقع بعد از محاسبه وزن هر معیار (توپوگرافی منطقه، فاصله از تصفیه‌خانه، 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 تصفیه‌شده و کمترین آن، اولویت پنجم برای جایگزینی پساب تصفیه‌شده نامگذاری گردید.

$$S = \sum_{i=1}^{n} W_i \times S_{ij} / \sum_{i=1}^{n} W_i \qquad (۱)$$

در این رابطه S وزن هر پیکسل در نقشه خروجی، Wi وزن هر پارامتر i ام و Sij مزن نرمالیزه‌شده کلاس j ام از نقشه i ام است.

نتایج و بحث

وزن‌دهی معیارها

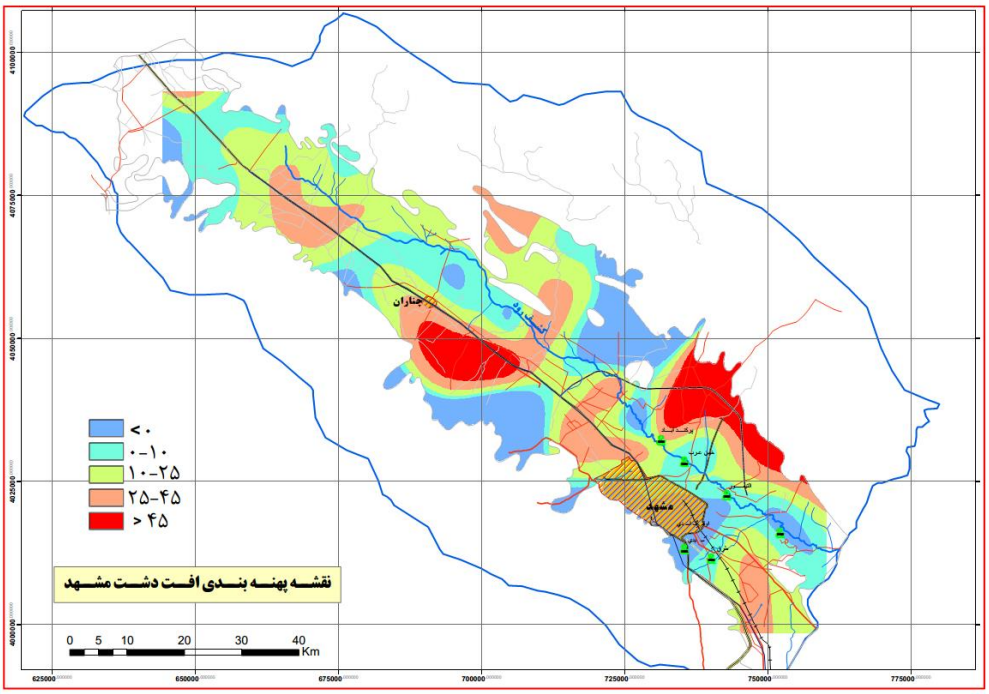
بر اساس روش AHP میزان تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای درنظر گرفته‌شده برای اولویت‌بندی مناطق جایگزینی پساب تصفیه‌شده مورد ارزیابی قرار گرفته و وزن نسبی آنها نسبت به یکدیگر و نرخ ناسازگاری در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد بیشترین ضریب مربوط به افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی و کمترین آن مربوط به توپوگرافی منطقه می‌باشد. مقدار ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوط به کلیه معیارها کمتر از ۰/۱ بوده که نشان دهنده سازگار بودن تصمیم‌گیری‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. بیشترین مقدار ناسازگاری مربوط به معیار توپوگرافی منطقه و کمترین مقدار آن مربوط به میزان افت سطح آب است. همچنین مقدار ناسازگاری کلی نیز ۰/۰۳ برآورد گردید.

جدول (۳): وزن معیارهای اصلی جهت انتخاب محل جایگزینی پساب

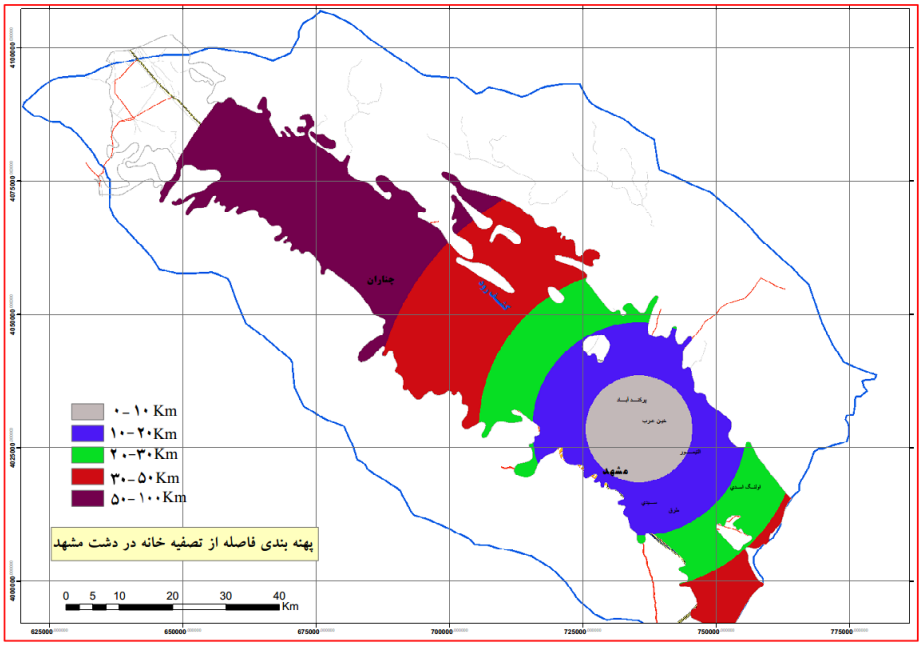
معیار	کیفیت آب زیرزمینی	میزان افت سطح آب زیرزمینی	فاصله از تصفیه‌خانه	توپوگرافی منطقه	وزن	نرخ ناسازگاری
کیفیت آب زیرزمینی	۱	۰/۳۳	۶	۶	۰/۳۳	۰/۰۱
میزان افت سطح آب	۳	۱	۵	۵	۰/۵۱	۰/۰۰۸
فاصله از تصفیه خانه	۰/۱۶۷	۰/۲۰	۱	۳	۰/۱۰	۰/۰۲
توپوگرافی منطقه	۰/۱۶۷	۰/۲۰	۰/۳۳	۱	۰/۰۶	۰/۰۳

تهیه لایه‌های اطلاعاتی توسط نرم‌افزار GIS

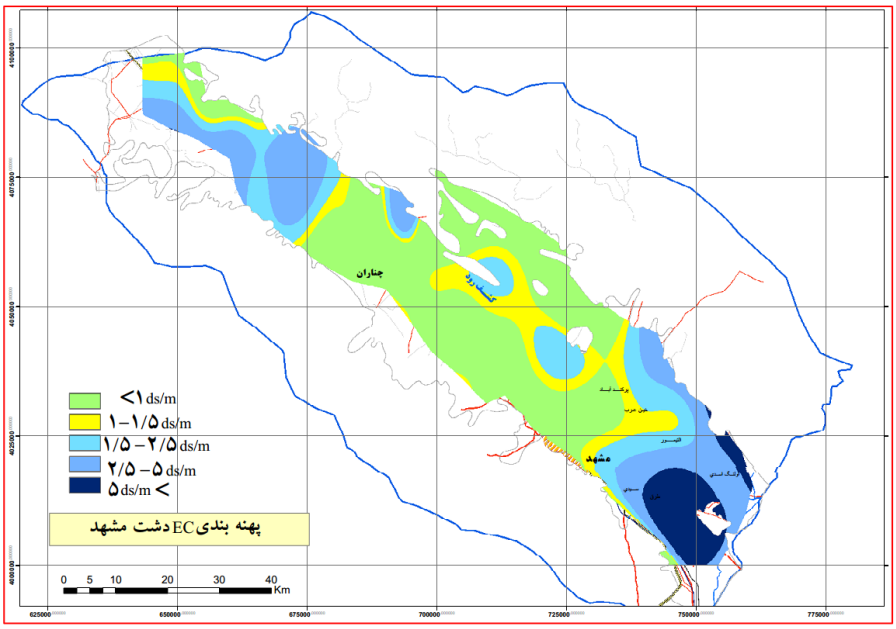
در این مطالعه لایه‌های رستری معیارهای توپوگرافی، فاصله از تصفیه‌خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزاری GIS نسخه ۹/۲ تهیه و هر معیار به پنج منطقه تقسیم‌بندی گردید (شکل‌های ۳ تا ۶).



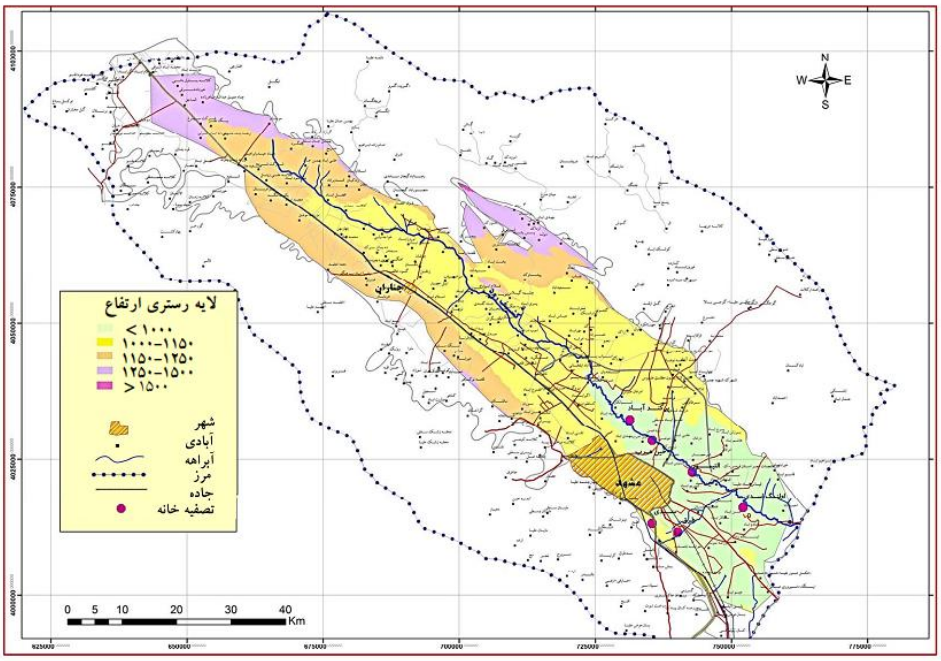
شکل (۳): نقشه رستری افت ۲۰ ساله سطح آب زیرزمینی دشت مشهد



شکل (۴): نقشه رستری فاصله از تصفیه‌خانه در دشت مشهد



شکل (۵): نقشه رستری شوری آب زیرزمینی دشت مشهد



شکل (۶): نقشه رستری ارتفاع دشت مشهد

وزن‌دهی مناطق مختلف مربوط به هر معیار

هریک از معیارها خود به پنج منطقه تقسیم می شوند که هر منطقه نسبت به منطقه دیگر دارای اهمیت نسبی متفاوتی در مکان‌یابی می‌باشد. بنابراین هریک از آنها نیز بر اساس روش AHP وزن‌دهی شدند و در جدول‌های ۴ تا ۷ ارائه شده است.

جدول (۴): طبقه‌بندی میزان افت سطح آب زیرزمینی و وزن‌های مربوطه

میزان افت سطح آب زیرزمینی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	وزن
منطقه ۱	۱	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۳
منطقه ۲	٤	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۴	۰/۰۷
منطقه ۳	٦	۳	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۱۳
منطقه ۴	۷	٥	۳	۱	۰/۳۳	۰/۲۶
منطقه ۵	۹	۷	٥	۳	۱	۰/۵۱

جدول (۵): طبقه‌بندی میزان کیفیت آب زیرزمینی و وزن‌های مربوطه

کیفیت آب زیرزمینی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	وزن
منطقه ۱	۱	۲	٤	٦	۹	۰/۴۶
منطقه ۲	۰/۵	۱	۲	٥	۸	۰/۲۸
منطقه ۳	۰/۲۵	۰/۵	۱	٤	٥	۰/۱۶
منطقه ۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۱	٤	۰/۰۷
منطقه ۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۲	۰/۲۵	۱	۰/۰۳

جدول(۶): طبقه‌بندی میزان فاصله از تصفیه‌خانه و وزن‌های مربوطه

فاصله از تصفیه خانه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	وزن
منطقه ۱	۱	۲	٤	۷	۹	۰/۴۵
منطقه ۲	۰/۵	۱	٤	٦	۸	۰/۳۳
منطقه ۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۱	۳	٥	۰/۱۳
منطقه ۴	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۳۳	۱	۳	۰/۰۶
منطقه ۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۳

جدول(۷): طبقه‌بندی میزان توپوگرافی و وزن‌های مربوطه

توپوگرافی منطقه	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	وزن
منطقه ۱	۱	۲	٤	٦	۸	۰/۴۴
منطقه ۲	۰/۵	۱	۳	٥	۸	۰/۳۰
منطقه ۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	٤	٦	۰/۱۶
منطقه ۴	۰/۱۷	۰/۲	۰/۲۵	۱	۳	۰/۰۷
منطقه ۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۳۳	۱	۰/۰۳

نتایج AHP نشان داد (جدول‌های ۴ تا ۷) که با توجه به 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 به‌تبع مناطقی که کمترین افت، بدترین کیفیت آب، بیشترین فاصله و ارتفاع بیشتری نسبت به تصفیه‌خانه داشتند، کمترین ضریب وزنی را دارا بودند.

اولویت‌بندی مناطق مستعد جایگزینی پساب تصفیه‌شده

همان‌طور که ذکر شد وزن هر معیار در نقشه رستری مربوط به آن معیار وارد و سپس وزن هر منطقه در آن ضرب گردید. در انتها چهار نقشه رستری (توپوگرافی، فاصله از تصفیه‌خانه، 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 نامگذاری گردید (شکل ۷). همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد مناطقی که به عنوان اولویت اول مشخص گریده‌اند، 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 گریده‌اند، 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.

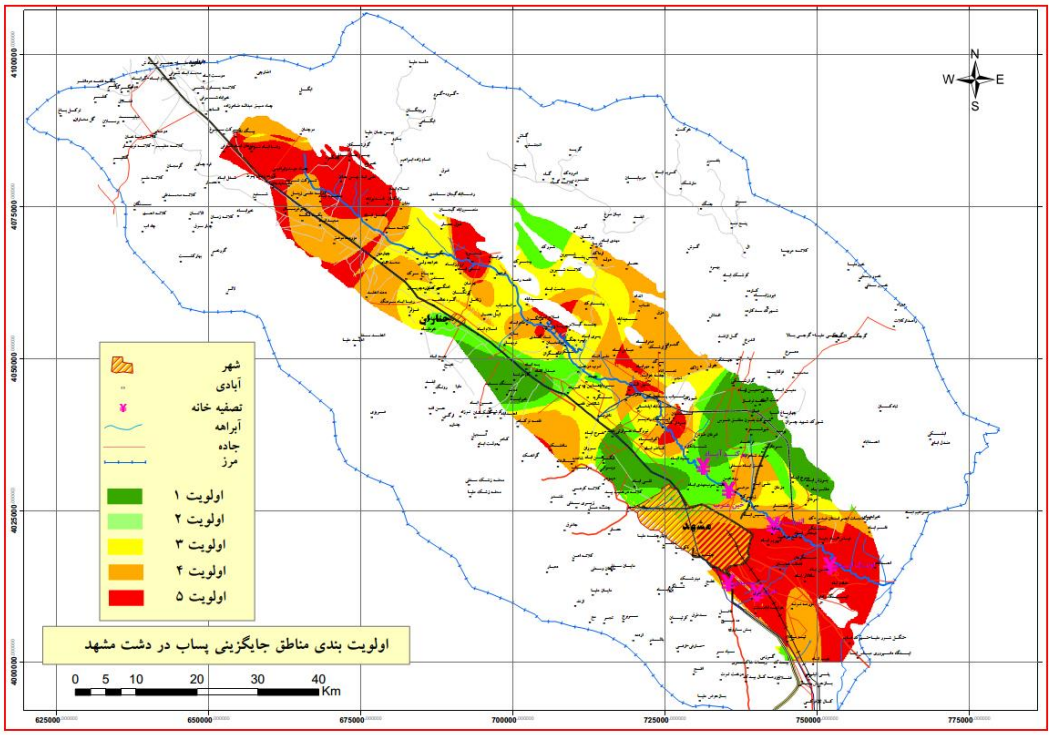
در راستای جایگزینی پساب تصفیه شده و از مدار خارج نمودن تعدادی از چاه‌های بهره‌برداری در بخش کشاورزی و صنعت و بهره‌برداری از پساب، آبخوان دشت مشهد مناطقی که در اولویت اول قرار گرفتند، شامل مناطق زیر می‌باشند:

۱- مناطقی که در شمال شهر مشهد بین جاده سنتو و رودخانه کشف‌رود واقع شده و از سمت غرب تا جاده آرامگاه فردوسی محدود می‌شوند. تصفیه‌خانه‌های خین-عرب و پرکندآباد در این ناحیه قرار دارند. متوسط افت سالیانه سطح آب در این قسمت از ۰/۳ تا ۱/۱۳ 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 قسمت۴۲۲ حلقه چاه عمیق وجود دارد که حدود۶۰ حلقه از آنها دارای آبدهی بیش از ۲۰ لیتر در ثانیه می باشد. با جایگزین نمودن بخشی از پساب تصفیه شده، تصفیه‌خانه-های 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 جنوب‌غرب 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 سالیانه۵۹/۲ 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 جنوب‌غرب 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، می‌توان بخشی از آب صرفه‌جویی شده را در سفره ذخیره نمود یا در بخش شرب استفاده کرد.



شکل (۷): نقشه اولویت‌بندی مناطق جایگزینی پساب تصفیه شده در دشت مشهد

نتیجه‌گیری

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 به‌تبع مناطقی که کمترین افت، بدترین کیفیت آب، بیشترین فاصله و ارتفاع بیشتری نسبت به تصفیه‌خانه داشتند، کمترین ضریب وزنی را دارا بودند. مناطقی که به عنوان اولویت اول مشخص گردیدند، بیشترین افت سطح آب را داشتند و از لحاظ کیفیت آبی، کیفیت بهتری نسبت به مناطق دیگر دشت داشتند 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. نتایج مطالعه خیرخواه زرکش و همکاران (۱۳۸۷) نیز نشان داد روش

تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند به عنوان ابزاری توانمند و دارای انعطاف‌پذیری برای کاستن از پیچیدگی‌های موجود در شناسایی محورهای مناسب و نظم بخشیدن به معیارهای ارزیابی بر مبنای میزان اهمیت آنها در ساختار درخت تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گیرد.

در صورت جایگزینی پساب تصفیه شده با برخی از چاه-های 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، می-توان بخشی از آب صرفه‌جویی شده را در سفره ذخیره نمود یا در بخش شرب استفاده کرد. چرا که جایگزینی پساب با حقابه زارعین سدهای طرق و کارده سبب شده تا حدود ۲۵ میلیون متر مکعب سالیانه از کسری آب شرب شهر مشهد بدون نیاز به حفر چاه و فشار بر آبخوان دشت جبران گردد (حیدری، ۱۳۹۷). انتقال آب سد دوستی در سال جاری سبب شده تا تعداد زیادی از چاه‌های آب شرب از مدار خارج گردد. در نتیجه با کاهش بهره برداری 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 پیزومتر نشان دهنده تعدیل افت در نه ماه اخیر با انتقال آب از سد دوستی می باشد. 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 بواسطه عمق زیاد لایه اشباع در دشت، مانع تغییر کیفیت آبخوان می‌گردد. از سوی دیگر سبب تغییرگرادیان هیدرولیکی آبخوان کاهش شیب سطح آب و در نتیجه کم شدن 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. با توجه به نتایج مثبت حاصل از این تحقیق پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

۱- از این روش مطالعه می‌توان برای اولویت‌بندی مناطق جایگزینی پساب به منظور تغذیه مصنوعی و همچنین جهت اولویت‌بندی مناطق جایگزینی پساب و خارج نمودن چاه‌های در حال بهره‌برداری در دشت‌های دیگر کشور استفاده گردد.

۲- همچنین پیشنهاد می‌گردد با عملی کردن نتایج این تحقیق، از هزینه گزافی که به منظور وارد کردن آب شرب به شهر مشهد و تخلیه پساب در رودخانه کشف رود، انجام می‌شود، جلوگیری نمود.

منابع

آقاسی، م.، مهردادی، ن. ۱۳۹۷. انتخاب بهترین روش ساماندهی پساب کارخانه فرآوری ماهی با توجه به مدل (AHP)، فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳ ص ۱۸۰- ۱۶۷.

ابراهیمی، ف.، کرمی، غ.، حافظی مقدس، ن. ۱۳۹۰. به کارگیری روش سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) در مکان‌یابی تغذیه مصنوعی در شهرستان شاهرود. هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

باقری، ر.، سبحان اردکانی، س.، لرستانی، ب. ۱۳۹۶. انتخاب مناسب‌ترین گزینه تصفیه فاضلاب واحد پلی‌اتیلن سنگین شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی مرکز اراک با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مجله سلامت و محیط، ۱۰ (۳): ۳۰۴- ۲۹۳.

بنای رضوی، م.، احمدی زاده، س، س. ۱۳۸۸. تحلیل مکان مناسب فضای سبز شهری با استفاده از فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) و GIS مطالعه موردی: (شهر بیرجند). نشریه تحقیقات جغرافیایی، ۲۴(۲): ۱۱۸-۹۷.

حیدری، ع. ۱۳۹۷. مدیریت منابع آب و بازچرخانی پساب، راهکار تامین آب شرب مناطق خشک: مطالعه موردی شهر مشد. نشریه علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۳ (۴): ۶۴- ۴۹.

خیرخواه زرکش، م.، ناصری، ح.، داودی، م، ه.، سلامی، ه. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه های کرکس – نطنز. نشریه پژوهش و سازندگی، ۲۱(۲): ۹۳-۱۰۱.

روحانی، ف.، مهدوی، ر.، رضایی، م. ۱۳۸۴. اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی. مجله آب و فاضلاب، ۱۶(۱): ۲۹-۳۲.

صیادمنش، س،م.، بهمنیار، م، ع.، قاجار سیانلو، م. ۱۳۹۳. کاربرد پساب صنعتی در آبیاری مزارع و اثر آن بر تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه برنج. مجله آب و فاضلاب، ۲۵(۳): ۲۰-۱۳.

عسگری، ق.، رحمانی، ع.، دهقانیان، ع.، سلطانیان، ع. ۱۳۹۳. انتخاب فرآیند بهینه تصفیه فاضلاب کارخانجات تولید فرآورده‌های لبنی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مجله سلامت و محیط، ۷ (۱): ۵۴- ۴۳.

فیضی، م. ۱۳۸۰. اثر مصرف پساب فاضلاب بر روی خاک و گیاه در منطقه شمال اصفهان. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.

کریم زاده، م.، علیزاده، ا.، محمدی آریا، م. ۱۳۹۱. اثرات آبیاری با پساب بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. نشریه آب و خاک. ۲۶ (۶): ۱۵۵۳-۱۵۴۷.

منتظر، م.، زادباقر، ز.، حیدری، ح. ۱۳۸۸. توسعه مدل ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی. نشریه آب و خاک, ۲۳(۴): ۷۷-۸۹.

مؤمنی، م.، شریفی سلیم، ع. ۱۳۹۰. مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، انتشارات مؤلفین، نوبت اول، تهران.

ولی نژاد، م .۱۳۸۱. اثرات پساب شهری، آب باران و آب‌های سطحی بر خصوصیات خاک و عملکرد دانه سه گیاه زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه علم وصنعت اصفهان.

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

Anane, M., L. Bouziri, A. Limam and S. Jellali. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources, Conservation and Recycling, 65: 36-46.

Montazar, M and S. M. Behbahani. 2007. Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. Biosystems Engineering, 98(2):155-165.

Neji, H. B. B and S. Y. Turki. 2015. GIS–based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. Agricultural Water Management, 162: 78-86.

Okada, H., S.W. Styles and M. E. Grismer. 2008. Application of the Analytic Hierarchy Process to irrigation project improvement: Part I. Impacts of irrigation project internal processes on crop yields. Agricultural Water Management, 95(3):199-204.

Saber, M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Science and Technology. 18(7-8):371-374.

Zolfaghary, P., M. Zakerinia and H. Kazemi. 2021. A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). Agricultural Water Management, 243: 106- 490.

Determining the Areas Prone to Treated Wastewater Replacement through Hierarchical Analytical Method (AHP) in Mashhad Plain

Masoud Mohammadi[1] ,Hadi Dehghan[*2]

Abstract

In this study, GIS software was used to locate prone to treated wastewater replacement. For this purpose, parameters of water quality, being close to the wastewater treatment plant, groundwater level, and topographic conditions have been used in different regions. Then, the information layers related to these parameters were weighted through the AHP method. Eventually, by integrating and assembling the layers, a priority map of areas prone to wastewater replacement was drawn. The results of AHP analyzes indicated that according to the water experts, the drop in water level and the quality of groundwater in Mashhad Plain have the highest weighting factor and the distance from the wastewater treatment plant and the height differences in various regions relative to thewastewater treatment plant (topography) were the least weighted coefficient. Also, the areas with the highest drop, the best water quality, the lowest distance and the lower height relative to wastewater treatment plant had the highest weight coefficient. Furthermore, areas with the lowest drop, the worst water quality, the highest distance and height relative to the wastewater treatment plant had the lowest weight coefficient. The areas identified as the first priority indicated the highest water level drop and their water quality was better than other areas of the plain. Therefore, by replacing the agricultural wells of these areas with the treated wastewater and removing these wells from operation circuit, the amount of water withdrawal is reduced and the stored water potential can be used in the future. By direct replacement of the wells with wastewater and excluding these agricultural wells from operation circuit, one hundred percent of replaced water can be stored in the groundwater tables with higher quality and it is possible to use them in the future.

Keywords: AHP, GIS Software, Mashhad, Reduction of Groundwater Level, Wastewater Treatment Plant, Water Quality

1- PhD graduate, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Mmohammadi_64@yahoo.com
2- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. h.dehghan@kashmar.ac.ir

Research Paper

Determining the Areas Prone to Treated Wastewater Replacement through Hierarchical Analytical Method (AHP) in Mashhad Plain

Masoud Mohammadi[1] ,Hadi Dehghan[*2]

1- PhD graduate, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Mmohammadi_64@yahoo.com
2 *- Assistant Professor, Water Science and Engineering Department, Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran. h.dehghan@kashmar.ac.ir

10.22125/IWE.2021.252371.1426

Received:
October.11.2020
Accepted:
March.15.2020
Available online**:**
June.01.2022

Keywords:
AHP, GIS Software, Mashhad, Reduction of Groundwater Level, Wastewater Treatment Plant, Water Quality

Abstract

In this study, GIS software was used to locate prone to treated wastewater replacement. For this purpose, parameters of water quality, being close to the wastewater treatment plant, groundwater level, and topographic conditions have been used in different regions. Then, the information layers related to these parameters were weighted through the AHP method. Eventually, by integrating and assembling the layers, a priority map of areas prone to wastewater replacement was drawn. The results of AHP analyzes indicated that according to the water experts, the drop in water level and the quality of groundwater in Mashhad Plain have the highest weighting factor and the distance from the wastewater treatment plant and the height differences in various regions relative to thewastewater treatment plant (topography) were the least weighted coefficient. Also, the areas with the highest drop, the best water quality, the lowest distance and the lower height relative to wastewater treatment plant had the highest weight coefficient. Furthermore, areas with the lowest drop, the worst water quality, the highest distance and height relative to the wastewater treatment plant had the lowest weight coefficient. The areas identified as the first priority indicated the highest water level drop and their water quality was better than other areas of the plain. Therefore, by replacing the agricultural wells of these areas with the treated wastewater and removing these wells from operation circuit, the amount of water withdrawal is reduced and the stored water potential can be used in the future. By direct replacement of the wells with wastewater and excluding these agricultural wells from operation circuit, one hundred percent of replaced water can be stored in the groundwater tables with higher quality and it is possible to use them in the future.

1. Introduction

Decreasing groundwater level and its overuse owing to recent droughts and increasing population has forced humans to use other sources of water. Nowadays, wastewater treatment plants as a new and permanent source have drawn the attention of experts to compensate for groundwater sources directly and indirectly. Treatment basically means when the wastewater is reused. One of the main strategies to combat water scarcity is the use of water chains in accordance to the change in its quality in different sectors of consumption, so reuse of wastewater is inevitable. Methods of using wastewater are extensive

and sensitive, including its replacement with agricultural water rights (surface and underground), artificial nutrition, industry, fish farming, green space, etc. Owing to the scarcity of water resources, especially in arid and semi-arid areas such as Iran, the reuse of treated wastewater in irrigation of green space and agriculture and other uses, is considered as one of the main goals. Increasing population growth and industrial development are among the factors resulted in increased water consumption and wastewater production in the societies. Owing to the limited water resources available, the use of treated wastewater can protect water resources and partially compensate for water scarcity. The present study aims to prioritize areas prone to treated wastewater replacement in terms of quality, proximity to treatment plants, groundwater level drop and topographic status in different areas using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

2. Materials and Methods

Mashhad plain with an area of 9909 square kilometers is located in the north of Khorasan Razavi province. This area is located in Karakum catchment area and includes 22.5% of Karakum catchment area in Iran. It is a mountainous area, 35% of which is plain and the rest includes highlands and hills. The maximum height of the catchment at the peak of Binalood is 3249 m and its minimum height at the exit site is 880 m and its average height is 1800 m above sea level. In general, the general climate of the area is semi-arid and the average annual long-term rainfall (30-year, 1980-1981 to 2000-2011) in the study area of Mashhad is about 255.1 mm per year. The temperature rises from 9.1 to 17.1 ° C, as opposed to rainfall from west to east.In the present study, the results of chemical analysis of 95 deep wells have been used. The data used in the present study were prepared from Iran Water Resources Management Company. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is one of the most powerful and convenient methods for solving multi-criteria decision making problems and is used in situations where conflicting decision criteria make it difficult to choose between the option.AHP is a way of prioritizing (determining the degree of importance) scientifically to make decisions. In this study, Mashhad plain was divided into five areas and then using four topographic criteria of the area (wastewater should be pumped or will be transferred by gravity), distance from the treatment plant, water table drop rate and groundwater quality, these five areas were prioritized to replace the treated wastewater. In this regard, 40 AHP questionnaires were formed in the form of pairwise comparison tables and distributed among water experts, and they were asked to score them and determine importance of the criteria by pairwise comparison.

3. Results

AHP results revealed that based on the opinions of water experts and specialists, water level drop and groundwater quality in Mashhad plain had the highest weight coefficient and distance from the treatment plant and the differences between heights of different areas and the treatment plant (topography) had the lowest weight factor. Also, the areas that had the highest drop, the best water quality, the shortest distance and the lowest height to the treatment plant had the highest weight factor and consequently the areas that had the lowest drop, the worst water quality, the longest distance and the highest height to the treatment plant had the lowest weight factor.The areas identified as the first priority had the highest water level drop and in terms of water quality, had better quality than other plain areas. Since the highest weight coefficient was related to water level drop and groundwater quality and also its highest value was related to the areas that had the highest drop and best water quality in AHP method, they were selected as treated wastewater replacement areas as the first priority.

4. Discussion and Conclusion

The results of a study conducted by KheirkhahZarkesh et al. (2008) also showed that the hierarchical analysis method can be used as a powerful and flexible tool to reduce the complexities in identifying appropriate axes and arranging the evaluation criteria based on their importance in the structure of the decision tree. By direct replacement and removal of agricultural wells, 100% of the replaced water with better quality will be stored in the groundwater aquifer and can be used in the future. Based on the positive results of this study, the following recommendations are presented:

1- This study method can be used to prioritize wastewater replacement areas for artificial feeding and also to prioritize wastewater replacement areas and remove wells in operation in other plains of the country.
2-It is also recommended to avoid excessive cost of entering drinking water to the city of Mashhad and discharging the wastewater in the Kashafrud River by utilizing these results.

5. Six important references

1. Ananda, J and G. Herath. 2008. Multi-attribute preference modelling and regional land-use planning. Ecological Economics, 65 (2): 325-335.
2. Anane, M., L. Bouziri, A. Limam and S. Jellali. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources, Conservation and Recycling, 65: 36-46.
3. Montazar, M and S. M. Behbahani. 2007. Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. Biosystems Engineering, 98(2):155-165.
4. Neji, H. B. B and S. Y. Turki. 2015. GIS–based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. Agricultural Water Management, 162: 78-86.
5. Okada, H., S.W. Styles and M. E. Grismer. 2008. Application of the Analytic Hierarchy Process to irrigation project improvement: Part I. Impacts of irrigation project internal processes on crop yields. Agricultural Water Management, 95(3):199-204.
6. Zolfaghary, P., M. Zakerinia and H. Kazemi. 2021. A model for the use of urban treated wastewater in agriculture using multiple criteria decision making (MCDM) and geographic information system (GIS). Agricultural Water Management, 243: 106- 490.

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.