نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره یک، پاییز **1399**

ISSN 2251-7480

مکان‌یابی حفر چاه با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری PSO و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی دشت مشهد)

مسعود عبدی[1]، حسین ابراهیمی[2*]، ابوالفضل اکبرپور[3]

1) گروه عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

2*) گروه علوم و مهندسی آب، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: ebrahimi165@yahoo.com

3) گروه عمران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: 1398/09/09 تاریخ پذیرش: 1399/04/11

چکیده

تعیین بهینه تعداد چاه مورد نیاز و دبی پمپاژ به همراه انتخاب محل حفر چاه برای تامین نیاز آبی مصارف مختلف از مسائل مهم مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک است. در این مناطق بطور خاص باید شرایط توسعه پایدار و زیست محیطی را مد نظر قرار داشت. در این تحقیق از الگوریتم ازدحام ذرات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظوره بهینه‌سازی مکان و نرخ پمپاژ چاه استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییر مختصات چاه‌ها با توجه به ضخامت متغیر آبخوان و همچنین کیفیت متفاوت آب در مناطق مختلف، به ترتیب در هزینه‌های استخراج و تصفیه آب تاثیرگذار خواهد بود و از طرفی با فاصله گرفتن از محل مصرف، هزینه انتقال افزایش خواهد یافت. تغییر دبی پمپاژ چاه‌ها نیز بر روی انرژی مصرفی پمپ در فرایند استخراج آب و انتقال موثر خواهد بود. بر اساس نتایج حاصله هزینه طرح بهینه نسبت به طرح موجود تا حدود **10** درصد کاهش یافته است. نتایج AHP نشان داد افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی بیشترین ضریب وزنی و فاصله از محل مصرف و اختلاف ارتفاع مناطق مختلف نسبت به محل مصرف کمترین ضریب وزنی را داشتند. همچنین مناطقی که بیشترین افت، بهترین کیفیت آب، کمترین فاصله و ارتفاع کمتری نسبت به محل مصرف داشتند، بیشترین ضریب وزنی و مناطقی که کمترین افت، بدترین کیفیت آب، بیشترین فاصله و ارتفاع بیشتری نسبت به محل مصرف داشتند، کمترین ضریب وزنی را دارا بودند. با توجه به نتایج مدل منطقه با اولویت **1** جهت حفر چاه تعیین گردید متوسط افت سالیانه سطح آب در این قسمت از **1/13** تا **0/3** متر متفاوت می‌باشد. در این قسمت**422** حلقه چاه عمیق وجود دارد که حدود **60** حلقه از آن‌ها دارای آبدهی بیش از **20** لیتر در ثانیه بوده و گزینه مناسبی برای جایگزینی چاه‌های تامین آب شرب شهر هستند.

کلید واژه‌ها: آب زیرزمینی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

ایران سرزمینی است خشک و نیمه خشک با نزولات جوی کم، طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است. حجم کل بارش سالانه 313 میلیارد مترمکعب و میزان تبخیر و تعرق سالانه حدود 292 میلیارد متر مکعب است. حجم آب قابل دسترس 111 میلیارد مترمکعب بوده و حدود 26 درصد مصرف آب از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد (علیزاده، 1386).

در مناطق گرم و خشک عمده نیازهای آبی از طریق آب‌های زیر زمینی تامین می‌شود هزینه تامین آب به پارامترهای مختلفی مرتبط است. یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب زیرزمینی تعیین محل مناسب برای حفر چاه‌های جدید، تعیین تعداد و نرخ پمپاژ مناسب برای آن‌ها است به گونه‌ای که این چاه‌ها بتوانند نیازهای آبی اعم از مصارف کشاورزی، صنعتی و آب آشامیدنی را تامین کنند. علاوه بر تامین نیازهای آبی، شرایط توسعه پایدار و شرایط زیست محیطی نیز بایستی مد نظر قرار گیرد (Elci and Ayvaz, 2014). برداشت‌های بی رویه از چاه‌ها باعث افت سطح آب‌های زیرزمینی در دراز مدت شده که اثرات نامطلوبی همچون ورود آب‌های بی کیفیت به چاه‌ها و همچنین نشست زمین را به دنبال خواهد داشت (Conkling, 1964). علاوه بر تامین نیازهای آبی و زیست-محیطی، با توجه به اینکه حفر چاه‌های بهره‌برداری، انتقال آب و تصفیه آن نیازمند مصرف انرژی و هزینه‌های زیاد می باشد، تعیین مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های بهره‌برداری و میزان بهینه دبی پمپاژ در آن‌ها می‌تواند باعث صرفه‌جویی چشم‌گیری در هزینه‌ها گردد.

حفر چاه‌های آب با استفاده از فناوری‌های جدید سابقه‌ای نسبتا طولانی دارد. در فناوری‌های جدید استحصال آب از داده‌های هیدروکلیماتولوژی مانند میزان و نوع بارش و شدت آن، میزان تبخیر و حجم رواناب‌ها، و داده‌های زمین‌شناسی مانند نوع و ذرات تشکیل دهنده آبخوان و در حالت کلی میزان نفوذ پذیری لایه‌های آبخوان استفاده می‌گردد (وزارت نیرو، 1392). استفاده همزمان از اطلاعات ذکر شده و همچنین اطلاعات کاربری اراضی و نقشه‌های کیفی آب زیرزمینی و اطلاعات اقتصادی، زیست‌محیطی و حقوقی علیرغم اینکه دقت حل مسئله را بالا می‌برد، باعث دشواری در قیود مسئله می‌شود. علاوه بر آن پاسخ آبخوان به حفر چاه‌ها، مشخص نبوده و میزان افت در چاه که از پارامترهای مهم جهت تعیین محل بهینه و میزان دبی پمپاژ چاه‌ها می‌باشد نامعلوم باقی می‌ماند. با توجه به این مسایل استفاده از فناوری‌های نرم‌افزاری می‌تواند از تمامی اطلاعات موجود به صورت همزمان استفاده کرده و با استفاد از ابزارهای بهینه سازی، مناسب ترین نقاط را برای حفر چاه تعیین نماید. با توجه به حجم داده ها و نیازهای مهندسی، روش‌های سنتی و آماری نمی‌توانند به تنهایی مورد استفاده قرارگیرند.استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند راه حل مناسبی برای تجزیه و تحلیل داده های مکانی باشد. (Ozcan, 2007)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] یکی از روش‌های ساده و قوی برای تصمیم‌گیری و انتخاب از بین چند گزینه است. این روش انعطاف پذیری بالایی داشته و بخصوص در شرایطی که انتخاب از بین چند گزینه از نظر فنی مشکل است راهکار مناسبی خواهد بود.2006) (Bertolini *et al*.,. تحلیل سلسله مراتبی ابزاری دقیق در تصمیم‌گیری چند معیاره است این ابزار در مطالعات کیفی آب و اثرات متقابل آن کاربرد زیادی دارد(معروفی و همکاران، 1388). ابزارهای مختلفی برای بهینه‌کردن هزینه‌ها و تعیین محل مناسب حفر چاه وجود دارد. الگوریتم فراکاوشی ژنتیک به منظور کمینه‌سازی هزینه بهره‌برداری از آبخوان و بهینه کردن نرخ پمپاژ و مکان چاه‌ها یکی از ابزارهای مفید است (McKinney and Lin, 1994). در الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی فرایند بازیابی آبخوان، محل چاه‌ها و نرخ پمپاژ

[1] Analytical Hierarchy process

به عنوان متغیرهای تصمیم در تابع هدف استفاده شده و متغیر بهینه آن محاسبه می‌شود (Huang and Mayer, 1997). با تلفیق یک مدل شبیه‌سازی حرکت ذرات مبتنی بر روش مونت کارلو و الگوریتم بهینه‌سازی تبرید شبیه‌سازی شده یک روش بهینه‌سازی به منظور طراحی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان با هدف تعیین مقادیر اولیه شاخص آلودگی در آبخوان را ارائه کردند (Storck *et al*.,1997). برای تعیین نرخ پمپاژ و تعداد بهینه چاه‌های بهره‌برداری جهت تامین نیازهای آبی می‌توان از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و برنامه‌ریزی پویای تفاضلی مقید به حل مسئله جانمایی استفاده کرد. در این مطالعه هزینه احداث چاه به صورت هزینه ثابت و هزینه پمپاژ به صورت متغییر و وابسته به زمان درنظر گرفته شد نتایج نشان می‌دادکه اعمال هزینه ثابت در تابع هدف تاثیر زیادی در تعیین تعداد بهینه چاه‌ها خواهد گذاشت (Hsiao and Chang, 2002).

اقتصادی و همکاران برای تعیین مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی در منطقه شهریاری استان یزد از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل فرایند سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. مناطق شناسایی شده با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی را با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاکی از آن بود که شبکه عصبی مصنوعی توانست مکان‌های مناسب و نامناسب را به خوبی شناسایی نماید. از این رو می‌توان از تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی به منظور شناسایی مکان‌های مناسب تغذیه مصنوعی در حوزه‌های آبخیز با اطلاعات اندک استفاده نمود (اقتصادی و همکاران 1390). مکان‌یابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هرکدام از معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی طبقه‌بندی و وزن‌دهی با استفاده از دو روش وزن‌دهی تجمعی ساده و فرایند تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفت. مقایسه نتایج حاصل از دو روش نشان داد که در فرایند تحلیل سلسله مراتبی نتایج با اعتبار بیشتری خواهد بود (رمضانی و همکاران، 1390). برای تعیین مکان حفر چاه و تعیین بهترین دبی پمپاژ مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ماشین بردار پشتیبان و مدل بهینه‌سازی ازدحام ذرات[2] استفاده گردید و نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند محل بهینه چاه را با دقت بالا مشخص نماید (Ch s, *et al*., 2013). در سال 2015، سایراک و راستگویی یک مدل شبیه-ساز-بهینه‌ساز به منظور استخراج یک برنامه بهینه بهره-برداری ارائه کردند. آبخوان مورد استفاده آن‌ها یک آبخوان فرضی محصور، ناهمگن و غیر ایزوتروپ بوده که هندسه نامنظمی دارد. هدف بهینه‌سازی آن‌ها پیدا کردن تعداد چاه-های بهره‌برداری بود به نحوی که مقدار افت سطح آب زیرزمینی با توجه به قوانین و هزینه‌های مربوط به برداشت آب حداقل شود. لازم به ذکر است از روش عددی المان محدود جهت شبیه‌سازی و الگوریتم ازدحام ذرات جهت بهینه‌سازی استفاده کردند. صادقی طبس و همکاران (2016) روش جستجوی چندگانه الگوریتم ژنتیک سازگار (آمالگام) را جهت بهینه‌سازی موقعیت چاه‌ها و نرخ پمپاژ مورد استفاده قرار دادند. در این مطالعه نرخ پمپاژ همراه با سه هدف کمینه سازی، یعنی حداقل کمبود ناشی از عدم عرضه، تغییر شاخص کمبود و کمینه شدن میزان تخلیه در مناطق تعیین شده، برای تعیین یک راه حل بهینه جهت تخلیه و تغذیه آب های زیرزمینی انتخاب شد. مدل شبیه‌سازی آن‌ها تفاضل محدود و در محیط GMS بود. به طور کلی نتایج نشان داد که روش مدل‌سازی بهینه‌سازی-شبیه‌سازی توانست مجموعه‌ای از راه حل‌های بهینه را که در یک جبهه پارتو نمایش داده می‌شد، محاسبه کند (Sadeghi Tabas *et al*., 2016). کتسیفراکیس و همکاران (2017)، کمینه‌سازی هزینه انتقال پمپاژ آب زیرزمینی در حالت غیر ماندگار از راه حل‌های تحلیلی و تجربی بررسی نمودند (Katsifarakis *et al*., 2017). محتشمی و همکاران در سال 2020 به کمک

[2] Particle swarm optimization

روش عددی بدون شبکه محلی پتروو-گالرکین و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک مدل شبیه‌ساز-بهینه ساز توسعه دادند که به کمک آن توانستند مکان بهینه چاه‌های بهره‌برداری را در دو آبخوان استاندارد محاسبه و تعیین کنند(Mohtashami *et al*,. 2020). آن‌ها همچنین شرایط مختلف مرزی را در آبخوان‌ها مورد ارزیابی قرار دادند و سپس مکان بهینه چاه‌ها را تعیین نمودند.

با توجه به اهمیت و تاثیر هزینه ثابت و جاری تامین آب در برنامه ریزی مدیریت منابع آب شهری و اهمیت انتخاب محل مناسب حفر چاه و دبی پمپاژ و کیفیت آب در قیمت تمام شده لازم است از مدل‌های مختلف بهینه‌ساز استفاده نمود در این تحقیق از الگوریتم PSO به عنوان راهکار کارآمد در بهینه‌سازی کیفیت و کمیت آب شرب آبخوان مشهد استفاده گردید. آبخوان مشهد واقع در استان خراسان رضوی از جمله آبخوان‌هایی است که با کمبود آب مواجه بوده و همواره ضرورت وجود یک مدل بهینه‌ساز که بتواند با شرایط موجود بهینه‌ترین حالت را از جنبه‌های مختلف هزینه مصرفی، فاصله چاه‌ها، تعداد و نرخ پمپاژ آن‌ها پیدا کند، برای آن احساس می‌شده است. پژوهش حاضر، اولین مطالعه در حوزه مشهد بوده که با پیاده‌سازی اهداف کمّی و کیفی به این مهم می‌پردازد. در بیشتر تحقیقات گذشته بهینه‌سازی با تاکید بر اهداف کمّی (تامین نیازهای آبی، حداقل کردن هزینه) و اهداف کیفی(هدایت الکتریکی و سختی آب) به صورت مجزا صورت گرفته است. در تحقیق حاضر این دو هدف بطور توام در نظر گرفته شده است. هدف مسئله علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌ها و استخراج آب با کیفیت بالاتر است.

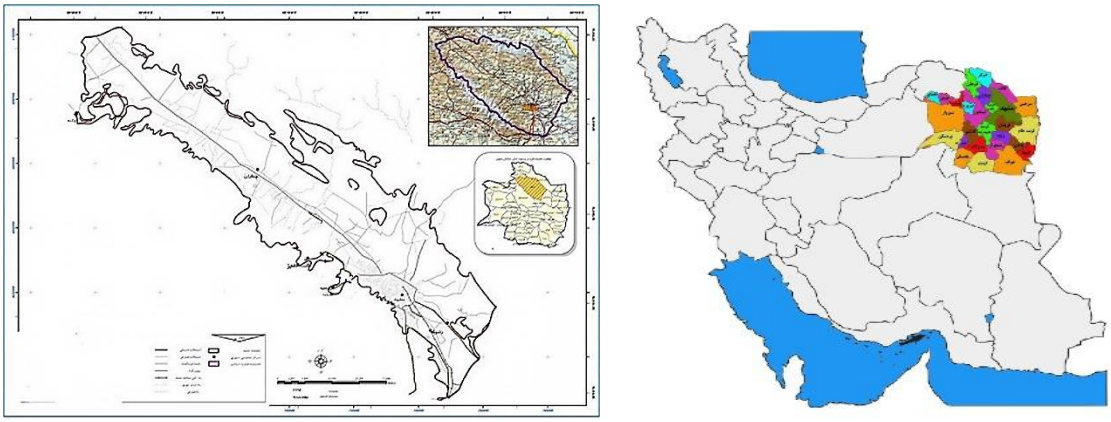
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با وسعت 9909 کیلومترمربع در شمال استان خراسان رضوی در بین طول جغرافیایی '22- 58^0 تا '53- 59^0 طول شرقی و '5- 35^0 تا '03- 37^0 عرض شمالی قرار دارد. این محدوده در حوضه آبریز قره قوم قرار گرفته و 22/5 درصد وسعت حوضه قره قوم را در ایران شامل می‌گردد. شکل 3-1 موقعیت محدوده مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی و حوضه قره قوم داخلی نشان می‌دهد. این حوضه منطقه‌ای کوهستانی است بطوری که 35 درصد آن دشت و بقیه شامل ارتفاعات و تپه ماهور می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه در قله بینالود 3249 متر و حداقل در محل خروجی 880 متر و ارتفاع متوسط آن 1800 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 باروند شمال غرب به جنوب شرق به موازات ارتفاعات شمالی و از شمال غرب به حوضه آبریز رودخانه اترک محدود می‌شود.

دشت مشهد همچنین در حد فاصل رشته ارتفاعات بینالود و هزارمسجد قرار گرفته است. شکل 1 نقشه موقعیت دشت مشهد نسبت به حوضه آبریز کشف رود و تقسیمات سیاسی آن را نشان میدهد. براساس تقسیمات سیاسی سال 1385 در محدوده این دشت، شهرستان چناران و قسمتی از شهرستان‌های مشهد، قوچان و نیشابور قرار دارد. با توجه به این نکته که این دشت در استان خراسان رضوی قرار گرفته است در ذیل به اجمال به بررسی این استان و تحولات جمعیتی آن پرداخته شده است و در ادامه تحولات جمعیتی مراکز جمعیتی واقع در این دشت نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این دشت بخشی از حوضهٔآبریز رودخانه کشف‌رود در طول جغرافیایی ´20° 59 تا ´08° 60 و عرض جغرافیایی ´40° 35 تا ´03°36 قرار گرفته است. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مشخصات اقلیمی و هیدرولوژیکی در این محدوده مطابق با جدول شماره 1 آورده شده است.



شکل 1. منطقه مورد مطالعه

جدول 1- وضعیت منابع آبی در منطقه مورد مطالعه و ایران (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی)

پارامتر	در ایران	در منطقه مورد مطالعه	واحد
بارندگی سالانه	225	228	میلی‌متر
حجم بارش سالانه	400000	26420	ملیون متر مکعب
تبخیر	270000	17976	ملیون متر مکعب
منابع آبی تجدیدپذیر	130000	8944	ملیون متر مکعب
منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر	54000	6684	ملیون متر مکعب
تعداد قنات، چاه‌ها و چشمه‌ها	734000	32535	ملیون متر مکعب

استان خراسان رضوی در بین استان‌های ایران بالاترین رتبه در بیلان منفی را داشته و سالانه حدود 1280 میلیون مترمکعب کسری مخزن دارد. این استان دارای 37 محدوده مطالعاتی(دشت) می‌باشد که 34 محدوده آن به علت کاهش شدید افت سطح آب زیرزمینی ممنوعه اعلام شده است که از بین آن‌ها 15 دشت ممنوعه، بحرانی هستند. دشت مورد مطالعه در محدوده دشت‌های ممنوعه بحرانی قرار دارد. مطالعه و پیشنهاد روش‌های بهینه به جهت مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی بخصوص در دشت‌هایی که ممنوعه بوده و با بحران آب مواجه‌اند می‌تواند در تعادل بخشی این دشت‌ها مفید واقع شود. در مطالعه حاضر دشت مشهد بعنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید.

رویکرد اصلی این تحقیق استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و تلفیق با نتایج تحلیل سلسله مراتبی به منظوره بهینه‌سازی مکان و نرخ پمپاژ و کیفیت آب استحصالی در منطقه مطالعاتی است. جهت تحلیل الگوریتم و بهینه سازی، تعداد، موقعیت چاه‌های تامین کننده آب شرب و همچنین مجموع برداشت سالیانه در سال پایه و کیفیت آب هر چاه مشخص گردید. پس از ورود داده های مذکور به مدل شبیه ساز، مدلسازی سطح آب در آبخوان صورت گرفته و سپس مسئله بهینه سازی جانمایی و تعیین ظرفیت چاه‌های آب شرب منطقه با دید کیفی بر روی آن ها با استفاده از مدل PSO بررسی شده است.

در این مطالعه تابع هدف مسئله به صورت یک تابع کمینه‌سازی هزینه بیان شده است. محدودیت‌های و ملاحظات کیفیت آب نیز به محدودیت‌های روند بهینه‌سازی وارد مدل شده‌اند. مدل تهیه شده شامل دو قسمت مدل‌سازی و بهینه‌سازی است و سعی بر آن است تا ارتباط قوی و مؤثری بین مدل‌سازی و بهینه‌سازی با شرط حداقل کردن مقدار تابع هدف برقرار گردد. برای محاسبه‌ی تابع هدف و

با توجه به محدودیت‌های موجود آبخوان مورد نظر در نرم-افزار MATLAB با کد روش عددی موردنظر آنالیز شد. نتایج خروجی پس از آماده‌سازی، وارد الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری گردید. تابع هدف طوری تعریف شده که تمامی هزینه‌های مربوط به حفر چاه، پمپاژ، هزینه‌های انرژی و هزینه‌های تصفیه آب در تابع لحاظ شود. الگوریتم pso برای بار اول توسط ابرهات و کندی در سال 1995 تعریف شد و در سال 1998 کندی توضیح دادکه هر ذره نماینده یک جواب که بصورت تصادفی در مجموعه فضای جواب‌ها قراردارد خواهد بود. تغییر مکان هر ذره می‌تواند در موقعیت بقیه ذرات تاثیرگذار باشد لذا موقعیت ذرات دیگر گروه می‌تواند در چگونگی جستجوی یک ذره موثر باشد (Eberhart, 1955). نتیجه رفتار گروهی در این مدل منجر به جستجویی خواهد شد که ذرات به سمت نواحی مناسب‌تر حرکت کنند. اساس pso بر این است که هر ذره، مکان خود را بر اساس موقعیت همسایگان و موقعیت خود و بهترین مکانی که می‌تواند قرارداشته باشد، تنظیم می‌کند.(Eberhart, 1955)

در الگوریتم PSO هر ذره با بردار سرعت $\boldsymbol{V_{i(t-1)}}$ از محل قبلی خود به محل جدید می‌رسد در محل جدید می‌تواند با بردار سرعتی به سمت بهترین محلی که تاکنون در آن‌جا بوده حرکت نماید و یا به سمت بهترین محلی که کل گروه پیدا کرده است حرکت نماید و یا اینکه به مسیر خود ادامه دهد. ،بردارسرعت از رابطه (1) محاسبه می‌شود.

$$\boldsymbol{V_i(t) = w * V_{i(t-1)} + C_1 * r_1 * (P_{i.best} - X_{i(t-1)}) + C_2 * r_2 * (P_{g.best} - X_{i(T-1)})} \quad (1)$$

ضرایب w, c_1, c_2 اعداد ثابت و r_1 و r_2 بردارهای تصادفی بین صفر و یک هستند. pi موقعیت محلی که ذره x تا کنون داشته و Pg موقعیت بهترین محلی است که کل ذرات تا کنون آن‌جا را یافته اند است. مقدار w را مثبت و در رنج 0.7 تا 0.8 در نظر گرفته می‌شود. c_1 و c_2 نیز در رنج 1.5 الی 1.7 در نظر گرفته شده است (M. S. Arumugam and M.V. C.Rao, 2008).

موقعیت جدید هر ذره از رابطه (2) بدست می‌آید.

$$\boldsymbol{X_{(t)} = Round(X_{(t-1)} + V_{(t)})} \quad (2)$$

در این رابطه $X_{(t-1)}$ موقعیت قبلی و $X_{(t)}$ موقعیت فعلی ذره است.

بطور کلی در اجرای الگوریتم PSO ابتدا یک جمعیت تصادفی از ذرات ایجاد می‌شود و هر ذره در جامعه دارای مجموعه‌ای از متغیرهاست که باید مقدار آن بهینه شود. تعیین بهترین ذره و بهترین موقعیتی که تاکنون داشته است مرحله بعدی اجرای الگوریتم است همچنین با توجه به رابطه (1) بردار سرعت برای تمامی ذارت به روزرسانی می‌شود تا بهترین موقعیت ذره مشخص گردد(J. 1998 ,Kennedy,).

تابع هدف مسئله به صورت یک تابع کمینه‌سازی هزینه بیان گردید. هزینه‌های در نظر گرفته‌شده در این تابع شامل هزینه‌های چاه (حفر و تجهیز و لوله‌گذاری چاه، هزینه پمپاژ و انرژی سالانه)، هزینه مربوط به انتقال آب تا مقصد (تجهیز و لوله‌گذاری) و هزینه‌های مربوط به تصفیه آب است. متغیرهای تصمیم در این مدل مختصات (محل) و نرخ پمپاژ چاه‌ها می‌باشد که ترکیب بهینه آن‌ها باعث ایجاد بهترین حالت (کمترین هزینه) می‌گردد. تغیر مختصات چاه‌ها با توجه به ضخامت متغیر آبخوان و همچنین کیفیت متفاوت آب در مناطق مختلف، به ترتیب در هزینه‌های استخراج و تصفیه آب تاثیرگذار خواهد بود و از طرفی با فاصله گرفتن از محل مصرف هزینه‌های انتقال افزایش خواهد یافت. تغییر دبی پمپاژ چاه‌ها نیز با هزینه تصفیه رابطه مستقیم داشته و همچنین با تاثیر بر روی انرژی مصرفی پمپ در فرآیند استخراج آب، در هزینه‌های استخراج نیز موثر خواهد بود.

در این تحقیق تابع هزینه حفاری با در نظر گرفتن هزینه حفر چاه و لوله‌گذاری در منطقه مورد مطالعه و برای سال

مطالعه طبق رابطه (3) تعریف شده است. در این رابطه *dep* عمق چاه است.

$$f_1(\text{dep}) = \sum \begin{cases} \text{dep} \times 3.04 + 262.1 & \text{dep} \le 50 \\ (\text{dep} - 50) \times 3.1 + 414.2 & 50 \le \text{dep} \le 100 \\ (\text{dep} - 100) \times 3.4 + 569.6 & 100 \le \text{dep} \le 150 \\ (\text{dep} - 150) \times 3.5 + 740.9 & 150 \le \text{dep} \le 200 \end{cases} \quad (3)$$

رابطه بالا f_1 میزان هزینه حفاری را بر حسب میلیون ریال است، ارقام براساس فهرست بهای حفاری سال 98 محاسبه شده است (فهرست بها، 1398).

هزینه انرژی الکتریسیته مصرف شده بر حسب توان مورد نیاز پمپ با استفاده از رابطه (4) و (5) محاسبه شده است.

$$P = \frac{(9.806).\text{hp}.Q}{e} \quad (4)$$

$$f(\text{hp}, Q) = 0.677 \times Q \times \text{hp} \quad (5)$$

در رابطه فوق، P توان مصرفی بر حسب کیلووات، hp ارتفاع مکش بر حسب متر، Q دبی پمپاژ بر حسب متر مکعب بر ثانیه و e راندمان پمپ است. در این مدل راندمان پمپ 70درصد درنظر گرفته شد. تابع هزینه انتقال آب در طول یک سال بر اساس رابطه (6) و (7) محاسبه می‌شود.

$$f_a(\text{distance}) = 0.354 \times \text{distance} + 23.1 \quad (6)$$

$$distance = \sqrt{(x_{target} - x_i)^2 + (y_{target} - y_i)^2} \quad (7)$$

در روابط ذکر شده $distance$ فاصله مستقیم محل حفر چاه تا نقطه مقصد می‌باشد که از طریق رابطه (7) محاسبه می‌گردد. در این رابطه x_i, y_i مختصات چاه i ام و $x_{\text{target}}, y_{\text{target}}$ مختصات نقطه مقصد می‌باشند. مقدار بدست آمده *fa* هزینه انتقال بر حسب میلیون ریال می‌باشد.

در این تحقیق مقدار مواد جامد محلول در آب (TDS) به عنوان شاخص کیفیت آب در نظر گرفته شده است و در تمامی قسمت ها منظور از تصفیه آب، کاهش مقدار TDS تا مقدار مجاز برای استفاده مورد نظر (شرب) می‌باشد. در عملیات نمک‌زدایی، هزینه انرژی و هزینه مواد شیمیایی استفاده شده متناسب با مقدار TDS آب ورودی متغیر خواهند بود. با توجه به تاثیر ناچیز مواد شیمیایی در هزینه های کلی، این مقدار راثابت فرض کرده و فقط هزینه انرژی، به عنوان تابعی از مقدار TDS در نظر گرفته شده است. رابطه میزان انرژی مصرفی و مقدار TDS به این گونه است که با افزایش مقدار TDS فشار اسمزی و در نتیجه فشار لازم برای انجام اسمز معکوس افزایش پیدا کرده و متناسب با افزایش فشار، مقدار انرژی مصرفی نیز بالا می‌رود.(قاسمی نژاد 1395). هزینه نمک زدایی از رابطه 8 بدست می آید (Chaudhry, 2003).

$$f_4 = Q \times (0.0173 \times \text{TDS} + 216.51) \quad (8)$$

در این رابطه، TDS غلظت مواد جامد محلول در آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر و Q دبی جریان ورودی بر حسب متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

مدل نهایی تابع هدف به شکل زیر تعیین می‌شود.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{n} \{f_1(\text{dep}_i) + f_2(\text{hp}_i, Q_i)\} + \sum_{i=1}^{n} f_3(\text{distance}) + \sum_{i=1}^{n} f_4(\text{quality}_i, Q_i) + p_1 + p_2 + p_3 \quad (9)$$

در رابطه فوق f_1 تابع هزینه حفاری، f_2 تابع هزینه مصرف انرژی، f_3 تابع هزینه انتقال آب و f_4 تابع هزینه تصفیه آب بوده که طبق روابط (1) تا (9) محاسبه می‌شود. همچنین n تعداد چاه، i شمارنده چاه و توابع p_1, p_2, p_3 به ترتیب توابع جریمه مربوط به قیود محدودیت شامل، افت، تامین نیاز آبی و حریم آبخوان می‌باشند که در قالب روابط زیر تعریف می‌گردند:

$$P_1 = \begin{cases} \alpha_1 \times (s_i - s_{max}), & s_i > s_{max} \\ 0, & s_i \le s_{max} \end{cases} \quad (10)$$

$$s_{max} = H_0 - \frac{1}{3}T \quad (11)$$

$$P_1 = \left|\left(\sum_{i=1}^{n} Q_i - Q_{demand}\right)\right| \quad (12)$$

$$P_3 = \alpha_3 B \quad (13)$$

در روابط فوق s_i میزان افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در محل چاه iام بر حسب متر، s_{max} میزان حداکثر افت مجاز سطح آب زیرزمینی بر حسب متر، H_0 سطح اولیه آبخوان برحسب متر، T ضخامت آبخوان برحسب متر، Q_i نرخ برداشت از چاه iام برحسب متر مکعب در سال، Q_{demand} مقدار نیاز آبی بر حسب متر مکعب در سال، α_3،α_1 ضرایب توابع جریمه و Bمتغیر دودویی (Binary) که در صورت قرار گرفتن چاه‌ها در یک سلول یاسلول های غیرفعال یا سلول‌های مربوط به رودخانه یا مرزها و یا در حریم چاه‌های دیگر برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در صورتیکه مقدار افت تجمعی کمتر از حداکثر افت آبخوان باشد مقدار *p1* برابر صفر لحاظ می شود و در صورتیکی مقدار افت تجمعی در نقطه *xi* بیشتر از حداکثر افت تجمعی باشد مقدار تابع جریمه از رابطه 10 قابل محاسبه است لذا قیود مسئله شامل موارد زیر است:

$$X_{min} \le X_i \le X_{max} \quad (14)$$

$$y_{min} \le y_i \le y_{max} \quad (15)$$

$$Q_{min} \le Q_i \le Q_{max} \quad (16)$$

$$S_i \le S_{max} \quad (17)$$

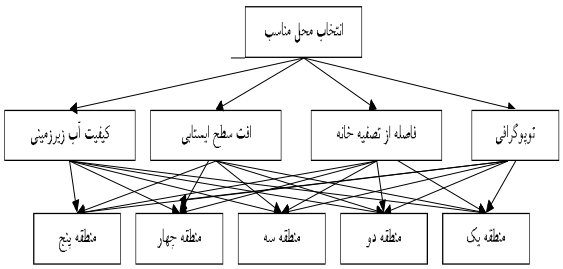
$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = Q_{demand} \quad (18)$$

که در آن، X_i،y_i مختصات چاه iام، $[X_{min}، X_{max}]$ محدوده طولی فضای جستجو، $[y_{min}، y_{max}]$ محدوده عرضی فضای جستجو، S_i میزان افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در محل چاه i ام بر حسب متر، S_{max} میزان حداکثر افت مجاز سطح آب زیرزمینی بر حسب متر، Q_{max} و Q_{min} به ترتیب حداقل و حداکثر نرخ پمپاژ مجاز برحسب متر مکعب در سال است.

تعیین محل های مناسب حفر چاه با روش تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌ها جهت تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. در این فرایند گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها وجود دارد. اساس تحلیل در این فرایند استفاده از مقایسه زوجی است 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 2). سطح یک در سلسله مراتب نمایانگر هدف است انتخاب بهترین محل حفر چاه در سطح یک قرار دارد سطح دوم معیارهای مساله شامل توپوگرافی، فاصله از تصفیه خانه، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی قرارداده می‌شود در سطح آخر گزینه‌ها قرار می‌گیرند.

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 نهایتا با تلفیق وزن‌ها وزن نهایی و یا وزن مطلق مشخص خواهد شد.



شکل 2: پارامتر های انتخابی در روش سلسله مراتبی تحلیلی

برای تلفیق لایه‌ها روش‌های متفاوتی وجود دارد در این تحقیق از روش هم‌پوشانی شاخص وزنی استفاده شده است. این روش به عنوان یک روشی ساده و مناسب در تحلیل‌های ترکیبی داده‌های مکانی مطرح است و دارای انعطاف‌پذیری بالایی در ترکیب داده‌ها بوده و برای تعیین اهمیت نسبی هر پارامتر نسبت به سایر پارامترها، از میزان تاثیرگذاری آن‌ها در امر مکان‌یابی استفاده نخواهد شد. هریک 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 اوزان متفاوتی خواهند داشت. در نهایت تمامی پارامترهای اصلی با وزن هایی که به کمک روش AHP به هر یک از آن‌ها تعلق گرفته با هم تلفیق شده و نقشه زون‌بندی بدست می آید.

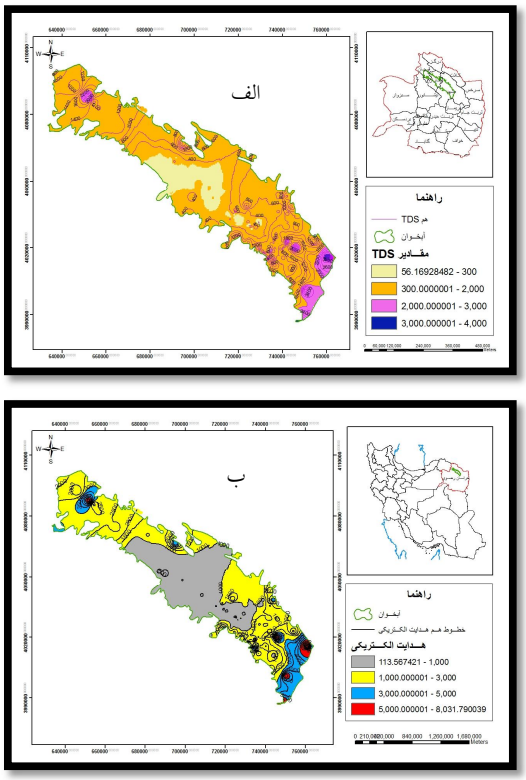
پیاده‌سازی تابع هدف در مدل PSO و تعیین مقادیر حداقل و حداکثر مربوط به قیدهای مسئله بر اساس شرایط آبخوان، اولین مرحله در حل مسئله است. نرخ برداشت از هر چاه معادل 26.6 لیتر در ثانیه با پمپاژ 4800 ساعت در سال و مقدار نیاز آبی سالیانه 1590000 مترمکعب و پارامترهای مربوط به الگوریتم PSO مطابق جدول 22 در نظرگرفته شده است.

جدول 2. پارامتر های مربوط به الگوریتم PSO

ضریب شناخت) C1)	ضریب اجتماعی (C2)	ضریب وزن اینرسی (w)	عامل انقباض (X)	تعداد ذرات	حداکثر تعداد تکرار
2/25	1/75	0/4 - 1/2	0/9	25	300

لایه اطلاعاتی مقادیر *TDS* در کل محدوده مطالعاتی از داده‌های 40 حلقه چاه مشاهداتی محاسبه گردید و با توجه به این نتایج و استفاده از رابطه (8) هزینه مربوط به تصفیه آب محاسبه گردید. (شکل 3)

روند تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی برای سال‌های 1390 تا 1396بررسی و نقشه تغییرات ترسیم شد (شکل 4). نتایج نشان داد که در سال 1390 و 1396 به ترتیب 18 و 12//5درصد از کل سطح آب‌های زیرزمینی دشت برای مصارف مطلوب و23 و 30 درصد از آن نامطلوب بوده که نشان از کاهش کیفیت آب از 18 درصد به 12.5 درصد دارد.

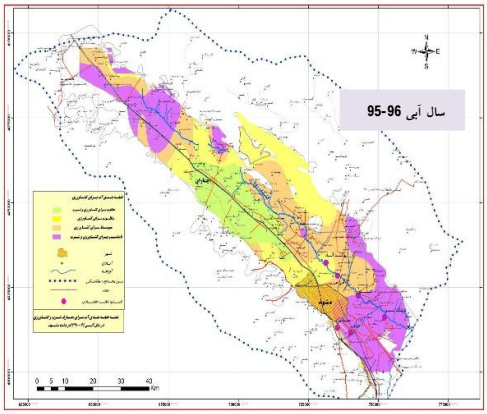


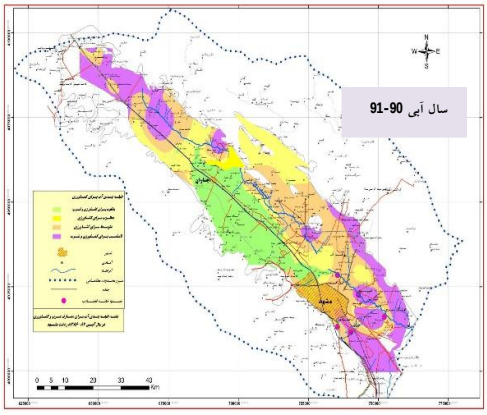
شکل 3: الف) نقشه TDS منطقه مطالعه میلی گرم بر لیتر(ppm). ب) نقشه هم هدایت هیدرولیکی برحسب میکرومهوس بر سانتی متر

همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌شود با گذشت زمان سطح آب‌های مطلوب کاسته شده و همچنین سطح آب‌های نامطلوب برای این مصارف افزایش یافته است. به عبارتی از سال 1390 تا سال 1396حدود 30 درصد از منابع آب مناسب کاهش و 30 درصد منابع آب نامناسب افزایش یافته است.

پس از تعیین نقشه‌های کیفی آب و تعیین پارامترهای لازم، مدل PSO اجرا گردید که نتایج حاصل از10 بار اجرای مدل در جدول 3 ارائه شده است. همچنین نمودار همگرایی بهترین مقدار تابع هزینه در شکل 5 نشان داده شده است. هزینه‌های طرح بهینه بدست آمده توسط مدل PSO نسبت به طرح اصلی حدود 5 درصد کاهش داشت. بررسی اجزای هزینه‌ها نشان می‌دهد که سهم هزینه حفاری و استخراج آب نسبت به دیگر هزینه‌ها بیشتر بوده است.

هزینه تصـــفیه آب با توجه به محدود بودن برداشـــت آب نسبت به دیگر موارد مقدار کمتری است اما در دراز مدت این افزایش هزینه تاثیر گذار خواهد بود.



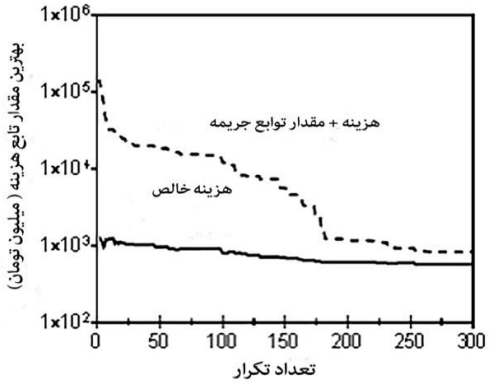


شکل4 : نقشه یکپارچه کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف شرب و کشاورزی منطقه مطالعاتی

جدول 3. نتایج حاصل از 10 بار اجرای مدل

نتایج	هزینه خالص (میلیون تومان)
بهترین	553/7
بدترین	646/9
میانگین	600/7
انحراف معیار	35/7

حساسیت مدل با فرض افزایش و کاهش 50 درصدی هدایت هیدرولیکی و نرخ پمپاژ نسبت به شرایط اصلی بررسی گردید. افزایش و کاهش مقدار هدایت هیدرولیکی تاثیر کمتری در جواب نهایی دارد و می‌توان نتیجه گرفت که مدل نسبت به پارامتر هدایت هیدرولیکی حساسیت زیادی ندارد.



شکل 5: نمودار همگرایی بهترین مقدار تابع هزینه

جدول 4: هزینه های طرح بهینه و طرح موجود (برحسب میلیون تومان)

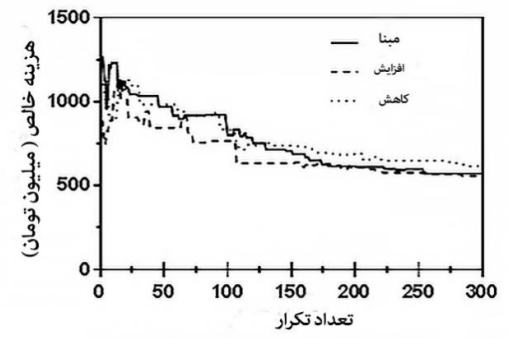
مشخصات	هزینه حفاری	هزینه انتقال آب	هزینه نمک زدایی	مجموع هزینه‌ها
طرح بهینه	617.31	398.62	72.58	1,088.13
طرح درحال بهره‌برداری	534.85	527.82	73.302	1,136.2

جدول 5: تحلیل حساسیت مدل نسبت به تغییر هدایت هیدرولیکی

مشخصات طرح آبرسانی	هزینه خالص (میلیون تومان)	نسبت تغییرات
طرح بهینه	1,086.8	---
افزایش هدایت هیدرولیکی	1,058.3	% 2/5
کاهش هدایت هیدرولیکی	1,143.8	% 2/5

نرخ پمپاژ چاه در تعداد چاه‌های مورد نیاز و همچنین در هزینه پمپ انتخابی و هزینه انرژی تاثیرگذار خواهد بود. حساسیت مدل نسبت به تغییر نرخ پمپاژ بصورت افزایش

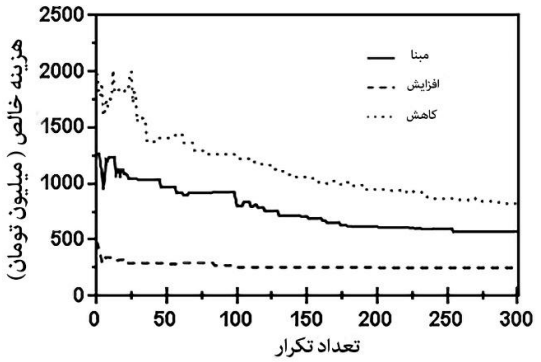
دو برابری و کاهش به نصف مقدار اولیه بررسی گردید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش 100 درصدی نرخ پمپاژ بیشینه، با اختصاص دو حلقه چاه نیاز آبی مورد نظر تامین می‌شود و هزینه‌ها حدود 56 درصد کاهش می‌یابند. همچنین با کاهش نرخ پمپاژ، تعداد چاه مورد نیاز برای تامین نیاز آبی به 7 حلقه افزایش یافته و هزینه‌ها 26 درصد افزایش می‌یابد. نتایج نشان دهنده حساسیت بالای مدل نسبت به نرخ پمپاژ بیشینه است.



شکل 6: نمودار همگرایی تحلیل حساسیت ضریب هدایت هیدرولیکی

جدول 6: تحلیل حساسیت نرخ پمپاژ بیشینه

مشخصات طرح آبرسانی	هزینه خالص (میلیون تومان)	نسبت تغییرات
طرح بهینه	1,086.8	-
افزایش نرخ پمپاژ بیشینه	473.1	%56
کاهش نرخ پمپاژ بیشبنه	1,368	%25

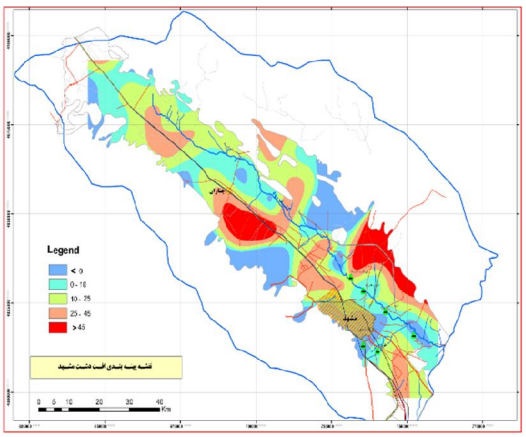


شکل 7: نمودار همگرایی تحلیل حساسیت نرخ پمپاژ بیشینه

بر اساس روش سلسله مراتبی AHP میزان تاثیرگذاری هر یک از پارامترهای درنظر گرفته شده برای اولویت‌بندی مناطق مناسب پساب تصفیه شده مورد ارزیابی قرار گرفته و وزن نسبی آن‌ها نسبت به همدیگر در جدول 7 آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد بیشترین ضریب مربوط به افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی و کمترین آن مربوط به توپوگرافی منطقه می‌باشد.

جدول 7: وزن معیارهای اصلی جهت انتخاب محل حفر چاه

معیار	کیفیت آب زیرزمینی	میزان افت سطح آب زیرزمینی	فاصله از تصفیه خانه	توپوگرافی منطقه	وزن
کیفیت آب زیرزمینی	1	0/33	6	6	0/33
میزان افت سطح آب زیرزمینی	3	1	5	5	0/51
فاصله از شهر مشهد	0/167	0/20	1	3	0/10
توپوگرافی منطقه	0/167	0/20	0/33	1	0/06



شکل 8: الف) نقشه رستری افت 20 ساله سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعه ب) نقشه رستری فاصله از شهر مشهد ج) نقشه رستری شوری آب زیرزمینی منطقه مطالعه د) نقشه رستری ارتفاع منطقه مورد مطالعه.

در این مطالعه لایه‌های رستری معیارهای توپوگرافی،

فاصله از محل مصرف (شهر مشهد)، میزان افت سطح ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی در محیط نرم افزاری GIS تهیه و هر معیار به پنج منطقه تقسیم‌بندی گردید (شکل 9).

هریک از معیارها خود به پنج منطقه تقسیم می‌شوند 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 جداول 10 الی 13 آورده شده است.

جدول8: طبقه‌بندی میزان افت سطح آب زیرزمینی و وزن‌های مربوطه

وزن	منطقه 5	منطقه 4	منطقه 3	منطقه 2	منطقه 1	میزان افت سطح آب زیرزمینی
0/03	0/11	0/14	0/17	0/25	1	منطقه 1
0/07	0/14	0/2	0/33	1	4	منطقه 2
0/13	0/2	0/33	1	3	6	منطقه 3
0/26	0/33	1	3	5	7	منطقه 4
0/51	1	3	5	7	9	منطقه 5

جدول 9:طبقه‌بندی میزان کیفیت آب زیرزمینی و وزن‌های مربوطه

وزن	منطقه 5	منطقه 4	منطقه 3	منطقه 2	منطقه 1	کیفیت آب زیرزمینی
0/46	9	6	4	2	1	منطقه 1
0/28	8	5	2	1	0/5	منطقه 2
0/16	5	4	1	0/5	0/25	منطقه 3
0/07	4	1	0/25	0/2	0/17	منطقه 4
0/03	1	0/25	0/2	0/13	0/11	منطقه 5

جدول10: طبقه‌بندی میزان فاصله از شهر مشهد و وزن‌های مربوطه

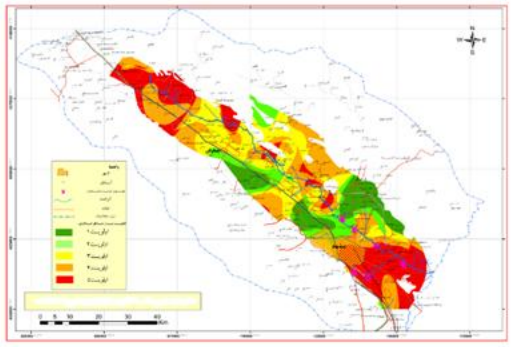
وزن	منطقه 5	منطقه 4	منطقه 3	منطقه 2	منطقه 1	فاصله از مشهد
0/45	9	7	4	2	1	منطقه 1
0/33	8	6	4	1	0/5	منطقه 2
0/13	5	3	1	0/25	0/25	منطقه 3
0/06	3	1	0/33	0/17	0/14	منطقه 4
0/03	1	0/33	0/2	0/13	0/11	منطقه 5

جدول 11: طبقه بندی میزان توپوگرافی و وزن‌های مربوطه

وزن	منطقه 5	منطق ه 4	منطق ه 3	منطق ه 2	منطق ه 1	توپوگراف ی منطقه
0/44	8	6	4	2	1	منطقه 1
0/30	8	5	3	1	0/5	منطقه 2
0/16	6	4	1	0/33	0/25	منطقه 3
0/07	3	1	0/25	0/2	0/17	منطقه 4
0/03	1	0/33	0/17	0/13	0/13	منطقه 5

بر اساس نتایج وزن دهی نقشه رستری (توپوگرافی، فاصله از شهر مشهد، 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. نتایج AHP نشان داد (جدول‌های 7 الی 10) که با توجه با نظرات کارشناسان و متخصصان آب، افت سطح آب و کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه بیشترین ضریب وزنی و فاصله از دشت مشهد و اختلاف ارتفاع مناطق مختلف نسبت به شهر مشهد (توپوگرافی) کمترین ضریب وزنی را داشتند. همچنین مناطقی که بیشترین افت، بهترین کیفیت آب، کمترین فاصله و ارتفاع کمتری نسبت به شهر مشهد داشتند، بیشترین ضریب وزنی و مناطقی که کمترین افت، بدترین کیفیت آب، بیشترین فاصله و ارتفاع بیشتری نسبت به شهر مشهد داشتند، کمترین ضریب وزنی را دارا بودند. همانطور که در شکل 9 مشاهده می‌گردد مناطقی که به عنوان اولویت اول مشخص گریده‌اند، کمترین 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 کمترین افت و بهترین کیفیت آبی را دارا بودند، بنابراین به عنوان اولویت اول مناطق حفر چاه انتخاب شدند. همچنین مناطقی که به عنوان اولویت پنجم مشخص گریده‌اند، بیشترین 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 بیشترین افت و بدترین کیفیت آبی را دارا بودند، بنابراین به عنوان اولویت پنجم مناطق حفر چاه تعیین شدند.



شکل 9: نقشه اولویت بندی مناطق حفر چاه در منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصله هزینه طرح بهینه نسبت به طرح موجود تا حدود 10 درصد کاهش یافته است. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت مشخص گردید که هدایت هیدرولیکی آبخوان تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج کسب شده ندارد. در مقابل تغییرات در نرخ پمپاژ بیشینه با اثرگذاری مستقیم بر چاه‌های مورد نیاز تاثیر چشم‌گیری در هزینه‌های نهایی دارد. با توجه به اینکه یکی از عوامل اصلی در تعیین محل حفر چاه و کاهش هزینه‌های استخراج منابع آب کیفیت منابع آب می‌باشد و با توجه به جهت کلی جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعه پیشنهاد می‌شود با تغییر مکان صنایع آلاینده که در بالادست شهر مشهد قرار دارند به قسمت‌های جنوبی دشت، از انتقال آلودگی به منابع آب شرب شهر مشهد جلوگیری شود. در راستای تعیین محل حفر چاه‌های بهره برداری در بخش شرب، کشاورزی و صنعت، آبخوان منطقه مطالعه مناطقی که در شمال شهر مشهد بین جاده سنتو و رودخانه کشف رود واقع شده و از سمت غرب تا جاده آرامگاه فردوسی محدود می‌شود دارای اولویت 1 جهت حفر چاه می‌باشند. متوسط افت سالیانه سطح آب در این قسمت از 1/13تا 0/3 متر متفاوت بوده و در این قسمت422 حلقه چاه عمیق وجود دارد که حدود60 حلقه از آن‌ها دارای آبدهی بیش از 20 لیتر در ثانیه را دارا هستند و بهترین مناطق برای حفر چاه برای تامین آب شرب هستند.

منابع مورد استفاده

اقتصادی، ف. قاسمیان، د. خیرخواه زرکش، ت. وثقفیان، ب.1390. مکان یابی مناطق مناسب تغذیه مصنوعی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور مدیریت آبهای زیرزمینی در منطقه شهریار استان یزد. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

رمضانی مهربان، ت.، ملک محمدی،ب.، جعفری، و رفیعی، ی.1390. مکان یابی محل های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با بکارگیری روش‌های تصمیم گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: استان هرمزگان، دشت شمیل و آشکارا (مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (14)14-1.

فهرست بها، 1398 سازمان برنامه و بودجه کشور

قاسمی نژاد، ا. 1394. برنامه ریزی چند منظوره تخصیص منابع آب با در نظر گرفتن اهداف کمی و کیفی (مطالعه موردی: مخزن دوستی). کارشناسی ارشد پایان نامه ، دانشگاه شهید بهشتی

علیزاده، ا.1386. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، چاپ سی و یکم

معروفی، ا. ترنجیان، ا. و زارع ابیانه، ح. 1388. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین هدایت هیدرولیکی و ph زه آب‌های آبراهه همدان بهار. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک دانشگاه علوم و کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 169-178: (2) 16.

وزارت نیرو، 1392. استاندارد شماره 577 صنعت آب

Arumugam, M. S, and M. V. C. Rao (2008) "On the improved performances of the particle swarm optimization algorithms with adaptive parameters, cross-over operators and root mean square (RMS) variants for computing optimal control of a class of hybrid systems," Applied Soft Computing Journal, 8(1), pp. 324–336.

Ayvaz MT, Elçi A (2013) A groundwater management tool for solving the pumping cost minimization problem for the Tahtali watershed (Izmir-Turkey) using hybrid hs-solver optimization algorithm. Journal of Hydrology 478:63–76.

Bertolini, M., Braglia, M. and G. Carmignnani (2006) Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. International Journal of Management , 88: 1384-1395.

Chaudhry S (2003) Unit cost of desalination. California Desalination Task Force, California Energy Commission, Sacramento, California.

Eberhart RC, Kennedy J (1995) A new optimizer using particle swarm theory. In: Proc. of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS-1995), 4-6 October, Nagoya, Japan, 39-43

Ch S, Kumar D, Prasad RK, Mathur S (2013) Optimal design of an in-situ bioremediation system using support vector machine and particle swarm optimization. Journal of Contaminant Hydrology 151:105–116.

Conkling H (1946) Utilization of ground-water storage in stream system development. Transactions of the American Society of Civil Engineers 111(1):275–305.

Elçi A, Ayvaz MT (2014) Differential-evolution algorithm based optimization for the site selection of groundwater production wells with the consideration of the vulnerability concept. Journal of Hydrology 511:736–749.

Hsiao C-T, Chang L-C (2002) Dynamic optimal groundwater management with inclusion of fixed costs. Journal of Water Resources Planning and Management 128(1):57–65.

Huang C, Mayer AS (1997) Pump-and-treat optimization using well locations and pumping rates as decision variables. Water Resources Research 33(5):1001–1012.

Katsifarakis KL, Petala Z (2006) Combining genetic algorithms and boundary elements to optimize coastal aquifers management. Journal of Hydrology 327(1-2):200–207.

Kennedy,J (1998) The behavior of Particle, Porto,V. W., Saravanan, N., Waagen,D., andEiben,.A.e.(eds),In:Evolutionary Programming VII,Springer,581-590.

McKinney DC, Lin M-D (1994) Genetic algorithm solution of groundwater management models. Water Resources Research 30(6):1897.

Mohtashami, A, Monfared SAH, Azizyan G, Akbarpour A, (2020*)* Determination of the optimal location of wells in aquifers with an accurate simulation-optimization model based on the meshless local Petrov-Galerkin. Arabian Journal of Geosciences **13,** 26.

Sadeghi tabas S, Samadi SZ, Akbarpour A, Pourreza Bilondi M (2016) Sustainable groundwater modeling using single-and multi-objective optimization algorithms, Journal of Hydroinformatics, 18(5), pp. 1-18, 2016.

Storck P, Eheart JW, Valocchi AJ (1997) A method for the optimal location of monitoring wells for detection of groundwater contamination in three-dimensional heterogeneous aquifers. Water Resources Research 33(9):2081.

Ozcan, R. 2007. Assessment of the water quality of troia for the multipurpose usages. Springer Sience. Environmental Monitoring and Assessment, 130: 389-400.

ISSN 2251-7480

Optimal Location of well drilling using PSO and AHP Algorithms (Case Study: Mashhad Plain)

Masuod Abdi [1], Hossain Ebrahimi [2*] and Abolfaz Akbarpour[3]

1) Department of Civil engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran
2*) Department of Water Science and Engineering, Shahr-e-qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
*Corresponding author email:ebrahimi165@yahoo.com
3) Department of Civil engineering, Birjand University, Birjand, Iran

Received: 27-09-2020 Accepted: 19-12-2020

Abstract

Determination of the optimal number of wells, their flowrate and their location are important issues for management of groundwater in arid and semi-arid aquifers In this research, particle swarm optimization algorithm and Analytical hierarchical analysis process were used to optimize the location and pumping rate of the drinking wells.The results showed that changing the location of wells due to the different thickness and water quality of the aquifers, will affect the cost of extraction and water treatment. on the other hand, the distance between the consumption area and the final destination will increase the cost of transmission, and it will Change the energy consumption of the pump in the process of water extraction and transfer. Based on the results, the cost of the optimal design has been reduced by about 10% compared to the existing design. The results also revealed that groundwater drawdown and its quality had the highest weight coefficient. Also, the areas that had the largest drawdown, the best water quality, the shortest distance and the lowest height, had the highest weight coefficient and the areas that had the lowest drawdown, the worst water quality, the longest distance and the highest height to the place of consumption, had the lowest weight. The best location of well for drilling with respect to the priority 1 was determined. The average annual drawdown in groundwater level in this area varies from 1.13 to 0.3 meters. There are 422 deep wells in this area. almost 60 of these wells had discharge rate of more than 20 liters per second and they were good option for replacing the city's drinking water supply wells.

Keywords: Groundwater, Particle Swarm Optimization, Hierarchical Analysis.