دوره‌ی ۳۲، شـماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۵، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۵۰ -۳۴
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.123047.1137

پژوهش‌های آبخیزداری

تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان دشت ابرکوه با تحلیل سلسله-مراتبی

ساناز پورفلاح
(نویسنده‌ی مسئول)* فارغ التحصیل کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد
محمدرضا اختصاصی
استاد دانشکده‌ی منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
حسین ملکی‌نژاد
دانشیار دانشکده‌ی منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
فاطمه برزگری
استادیار دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه پیام نور

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: sanaz.falah12@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۲۶ مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

چکیده
در چند دهه‌ی اخیر منابع آب زیرزمینی در بسـیاری از نقاط جهان، به‌خصوص مناطق خشـک و نیمه‌خشـک با افت شدید روبه‌رو شـده است. در این شـرایط، تعیین مهم‌ترین مشکلات و بهترین راه‌کارهای مدیریتی برای حفظ این ذخایر کاری مهم اسـت. هدف این پژوهش شـناخت دلایل مؤثر در بی‌تعادلی آبخوان دشـت ابرکوه استان یزد اسـت. معیارها و زیرمعیارهای مشـکلات منابع آب زیرزمینی و راه‌کارهای مدیریتی آبخوان به‌روش سلسـله‌مراتبی طراحی، و ارزش وزنی آن‌ها در نرم‌افزار اکسـپرت چویس تعیین شد. نتیجه‌ها نشان داد که عامل کشاورزی با وزن نسبی ۷۶/۰۰٪ درمقایسه با صنعت، آب‌آشامیدنی و بهداشتی در ایجاد بی‌تعادلی آبخوان مؤثر است. مهم‌ترین مشکلات این بخش به‌ترتیب کشیدن فراتر از مجاز آب (۲۲/۶٪)، رقابت در بهره‌برداری از آب کشـاورزی (۲۰/۱۰٪)، سـامانه‌ی آبیاری (۱۴/۵۰٪)، الگوی کشـت (۱۲/۵۰٪)، سطح زیرکشت (۸/۲۰٪)، کندن چاه‌های غیرمجاز (۶/۰۰٪) و توسـعه‌ی صنت‌های پرآب‌خواه (۴/۵۰٪) اولویت‌بندی کرده شـد. با توجه به شناختن مهم‌ترین مشکلات، راه‌کارهای مدیریتی برای مهارکردن بحران مدیریت مصرف آب، اصلاح سامانه‌ی آبیاری و الگوی کشـت شناسایی و امتیازدهی شـد. برای دسـت‌یابی به این راه‌کارها، زیرمعیارهای مدیریتی شامل نصب‌کردن شمارنده‌های حجمی، رویارویی با آب‌کشی غیرمجاز، جداسازی آب آشامیدنی و بهداشتی، توسعه‌ی صنعت‌های کم‌آب‌خواه توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، دشت ابرکوه، مدیریت منابع آب زیرزمینی، مدیریت بحران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

میانگین بارش سالانه در بخش بزرگی از کشور ایران به‌علت بودن در ناحیه‌ی آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک ناچیز است. در این شرایط به‌دلیل کم‌بود منابع آب سطحی، آب‌های زیرزمینی نقشی اساسی در تأمین‌کردن آب نیازداشته‌ی بهره‌برداری‌های مختلف نظیر کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی دارند (صداقت ۱۹۹۲). برداشت‌کردن بی‌رویه‌ی آب از سفره‌های آب زیرزمینی در برخی مناطق موجب افت‌کردن شدید تراز ایستآبی و کاهش منابع آب زیرزمینی شده است. در این شرایط، به‌کاربردن ابزارهای مدیریتی، نقش مهمی در حفظ ذخایر زیرزمینی دارد. اهمیت نقش مدیریت به‌ویژه از راه تصمیم‌گیری مناسب برای مهار و تعدیل‌کردن بحران بسیار است. در علم مدیریت، تصمیم‌گیری نتیجه‌ی فرآیند انتخاب یک گزینه از بین دو یا چند گزینه‌ی متفاوت و یا دادن پاسخ مثبت یا منفی به یک موضوع است که کاربر را در رسیدن به مقصود یاری می‌دهد. به‌عبارتی، مدیر با به‌کاربردن روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند با درنظرگرفتن معیارهای متفاوت تصمیم‌سازی کند (بذرافکن ۲۰۱۴). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[1] یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری‌های چند شاخصی است. روش AHP دربرگیرنده مجموعه‌یی از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به شیوه‌ی منطقی است، به طوری‌که می‌توان گفت این روش از یک طرف وابسته به تصورهای شخصی و طرح‌ریزی سلسله‌مراتبی مساله است، و از طرف دیگر با منطق، درک و تجزیه برای تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مرتبط است (قدسی‌پور ۲۰۰۶). این روش به دلیل توانایی‌هایی که دارد در مدیریت جامع آبخیز به‌کار برده می شود، زیرا معیارهای برنامه‌ریزی و وزن‌دهی آن‌ها را در روشی باز و واضح بررسی می‌کند (دیستیگیرو و همکاران ۲۰۰۳).

پژوهش‌های زیادی در آبخیزها با روش AHP انجام شده است. گدورا و همکاران (۲۰۱۵) روش سلسله‌مراتبی را برای توسعه‌ی روش‌های مکان‌یابی و رتبه‌بندی محل مناسب برای بازیافت و توصیه‌ی آب‌های زیرزمینی به‌کار بردند. سه معیار اصلی مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی با ۱۲ زیرمعیار به‌صورت چهارچوب مقایسه‌یی زوجی با هم مقایسه کرده‌شد. نتیجه‌ها نشان داد که آبخوان نوبول در تونس با وسعت ۵۱۶۰ هکتار بهترین و مناسب‌ترین منطقه برای احیا و بازیافت‌کردن منابع آب است. این انتخاب بهترین مدیریت و کاهش هزینه را در پی خواهد داشت. هاتف و اختصاصی (۲۰۱۵) برای مدیریت‌کردن منابع آب مهدی‌شهر در استان سمنان، هفت عامل واحدهای سنگ‌شناسی، گسل، شیب، پستی‌وبلندی، زه‌کشی، گیاه‌شناسی و خط‌های هم‌باران را با سه روش سنجش‌ازدور[2] (RS)، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی[3] (GIS) و تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی کردند. نتیجه‌ها بیش‌ترین اهمیت را برای احتمال وجود آب‌های زیرزمینی این منطقه در عامل‌های سنگ‌شناسی و گسل‌ها به‌ترتیب با وزن‌نسبی ۰/۳۳ و ۰/۲۲٪ نشان داد. نتیجه‌های ارزیابی احتمال وجود آب زیرزمینی با روش‌های AHP و منطق فازی در حوزه‌ی شمالی استان ایلام نشان داد که بیش‌ترین احتمال وجود آب زیرزمینی در بخش‌های آهکی با تراکم زیاد شکستگی است (عباسی و همکاران ۲۰۱۵). احمدی و همکاران (۲۰۱۵) برای مکان‌یابی منطقه‌های مستعد برداشت آب آشامیدنی در آبخوان طبس، با تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فازی، به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی با حرکت در آبخوان کاهش خواهد یافت. در ارزیابی احتمال‌یابی آب‌های زیرزمینی، نتیجه‌ی تحقیق فتحی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) با فرآیند AHP، سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در حوزه‌ی مهدشیر نشان داد که از هفت معیار سنگ‌شناسی، خطواره[4]، شیب، پستی‌وبلندی، تراکم زه‌کشی، پوشش گیاهی و خط‌های هم‌باران) که با نظر کارشناسی و روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی شده بود، برای تخمین احتمال آب زیرزمینی بیش‌ترین برتری در معیار سنگ‌شناسی و خطواره است. سربو و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی آلودگی رودخانه‌ی سیبین[5] با روش‌های سلسله‌مراتبی و تصمیم‌گیری چندمعیاره، از چهار محل مختلف رودخانه در یک دوره‌ی ۱۲ ماهه نمونه‌برداری، و آلاینده‌ها را بر اساس میزان تأثیر بر آلودگی رودخانه اولویت‌بندی کردند. بارندگی، شیب و گروه‌های آب‌شناختی خاک مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر نفوذ و ذخیره‌ی آب باران در حوزه‌های استان کرمانشاه با فرآیند سلسله‌مراتبی بود (سلطانی و همکاران (۲۰۱۸). تاریگان و همکاران (۲۰۱۸) برای مدیریت منابع آب شهر مدان[6] با روش تحلیل سلسله‌مراتبی و پرسش‌نامه‌های دستی، زه‌کش‌های شهری را برای بازسازی و تعمیرات اولویت‌بندی کردند. نتیجه‌های روش سلسله‌مراتبی با خروجی پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده‌ی کارشناسان هم‌خوانی داشت، و محققان توانایی روش تحلیل

1- Analytical Hierrarchy Process (AHP)
2- Remote sensing
3- Geographic information system
۴ – هر نوع ساخت خطی در روی سطح یا درون یک سنگ که در اثر دگرشکلی ایجاد شده باشد خطواره نامیده می شود.
5- Cibin River
6- Medan City

www.SID.ir

Archive of SID

سلسله‌مراتبی را در تصمیم‌گیری مسائل مدیریت شهری تائید کردند.

دشت ابرکوه، از مناطق مهم کشاورزی و صنعتی در استان یزد است. متاسفانه در دهه‌ی اخیر برداشت بی‌رویه و برداشت بیش‌ازحد از آبخوان این دشت، منجر به وضعیت بحرانی شده است. براساس آخرین گزارش‌های برداشت سازمان آب منطقه‌یی ۷۳۰ چاه با مجموع تخلیه‌ی سالانه ی ۱۵۷ میلیون مترمکعب و ۳۱ قنات (دایر) با تخلیه‌ی سالانه‌ی ۰/۰۴۴ میلیون مترمکعب در محدوده‌ی بررسی‌شده هست. بررسی نمودار آبی این آبخوان در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ بیانگر افت تراز آبخوان به‌میزان ۱۹/۶۴ متر است. روش AHP تاکنون در سامان‌دهی منابع آب زیرزمینی و تعادل‌بخشی به آن به‌کاربرده نشده است. بنابراین، در این پژوهش با توجه به شرایط موجود، با روش AHP مهم‌ترین عامل‌های موثر در ایجاد بحران منابع آبی منطقه شناسایی، و مناسب‌ترین راه‌حل‌های تعادل‌بخشی آبخوان داده می‌شود. تمام گزینه‌ها و معیارهای مؤثر بر منابع آب زیرزمینی بر اساس نظر خبرگان جمع‌آوری شد.

مواد و روش‌ها

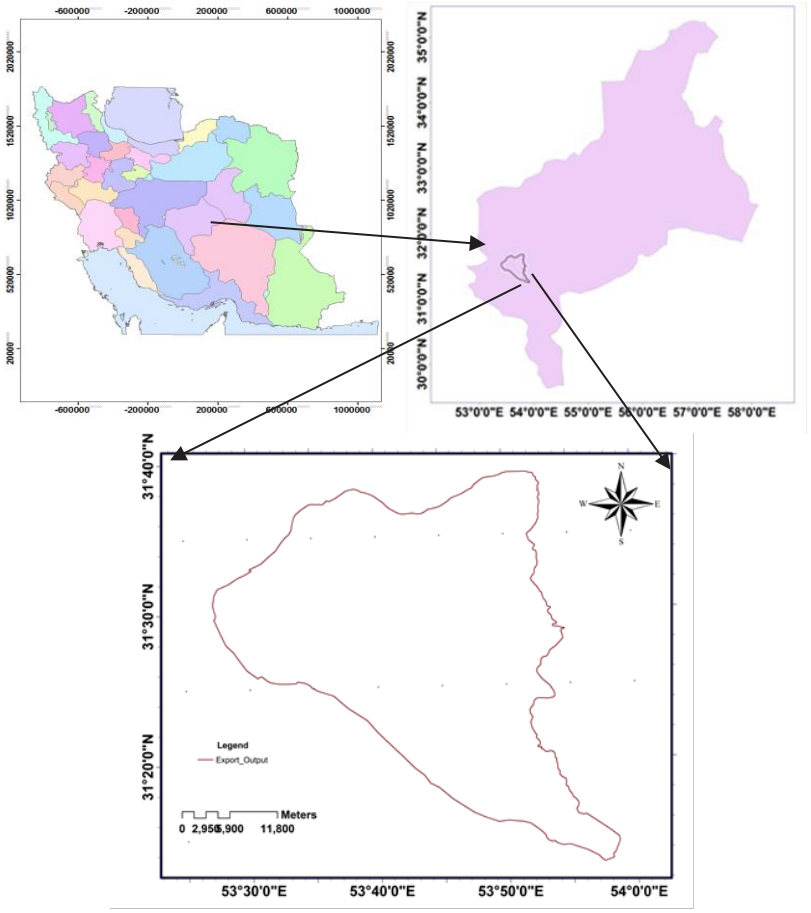
منطقه‌ی بررسی‌شده دشت ابرکوه با وسعت ۱۲۵۰ کیلومترمربع بین طول‌های ″۲۰ ′۳۹ °۵۲ تا ″۵۷ ′۳۰ °۵۳ شرقی و عرض‌های ″۵۳ ′۴۰ °۳۰ تا ″۰۶ ′۳۱ °۳۱ شمالی، جزئی از آبریز کویر ابرکوه-سیرجان است، که از شمال به حوزه‌ی طاقستان، از شرق به زیرحوزه‌ی نیر-دهشیر، از جنوب و جنوب‌شرق به زیرحوزه‌ی مروست، و از غرب به حوزه‌ی آباده-اقلید در استان فارس محدود می‌شود (سازمان آب منطقه‌یی استان یزد، ۲۰۰۹) (شکل ۱). محدوده‌ی پژوهش از دید ساختاری-رسوبی در پهنه‌ی ایران مرکزی است، و پی‌سنگ منطقه از سنگ‌های آذرین و دگرگون‌شده است. داده‌های آب‌شناسی و هواشناسی در بازه‌ی زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که اقلیم این منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح‌شده از نوع سرد و خشک است. در سال ۱۳۹۶ بیشینه‌ی بارندگی ۲۴ ساعته ۴۹ میلی‌متر، میانگین بارش سالانه ۵۸/۸ میلی‌متر، و بیش‌ترین دما ۴۶/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد در مرداد، کمینه‌ی دما ۱۴/۴- درجه‌ی سانتی‌گراد در دی، و میانگین دمای سالانه ۱۸/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد بود. تبخیر سالانه از تراز آزاد ۳۲۵۵ میلی‌متر و بیشینه‌ی تبخیر و تعرق منطقه در خرداد، تیر، مرداد، و شهریور بود.

روش AHP

یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این روش که بر مقایسه‌های زوجی بنا شده است امکان بررسی حالت‌های مختلف را به مدیران می‌دهد. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجادکردن نمایش تصویری از مساله است که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شود. در تحلیل سلسله‌مراتبی تراز یک هدف را نشان می‌دهد، ترازهای میانی معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری، و تراز آخر گزینه‌های تصمیم‌گیری است. مهم‌ترین بخش در این مرحله انتخاب معیارها و عامل‌های مؤثر بر هدف تصمیم است (قدسی‌پور، ۲۰۰۷). در روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نخست ساختار تهیه می‌شود، و سپس معیارهای مناسب تصمیم‌گیری با یک‌دیگر مقایسه، و درنهایت ارزش وزنی هر یک از آن‌ها تعیین می‌شود (اصغرپور، ۲۰۰۹). عددهایی که برای مقایسه‌ی زوجی به‌کار برده می‌شود از یک تا نه است که سنجشی به‌معیاراست. کاربرد AHP بر پایه‌ی پی‌روی از سه اصل ایجاد ساختار و آراستن آن بر پایه‌ی موضوع، برقرارکردن برتری از راه مقایسه‌ی زوجی، و برقرارکردن سازگاری منطقی از اندازه‌گیری است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- محدوده‌ی آبخوان دشت ابرکوه.

سلسله‌مراتب برای معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در راه‌کارها و مشکلات منطقه برای تعادل‌بخشی آبخوان دشت ابرکوه طراحی شد. پرسش‌نامه‌یی برای مقایسه‌ی زوجی معیارها و زیرمعیارها آماده شد، و ۲۰ پرسش‌نامه برای نظرسنجی به خبرگان (کارشناسان سازمان آب منطقه‌یی استان یزد و اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان ابرکوه، کشاورزان نمونه و متصدیان امور آب چاه‌ها و قنات‌های شهرستان ابرکوه) داده شد. دلیل انتخاب این خبرگان آگاهی آنان از مسائل فنی، اقتصادی و اجتماعی حوزه‌ی دشت ابرکوه و شناخت کامل آنان از شرایط محیطی دشت و دانش آنان از مدیریت منابع آب بود.

نرم‌افزار Expert Choice

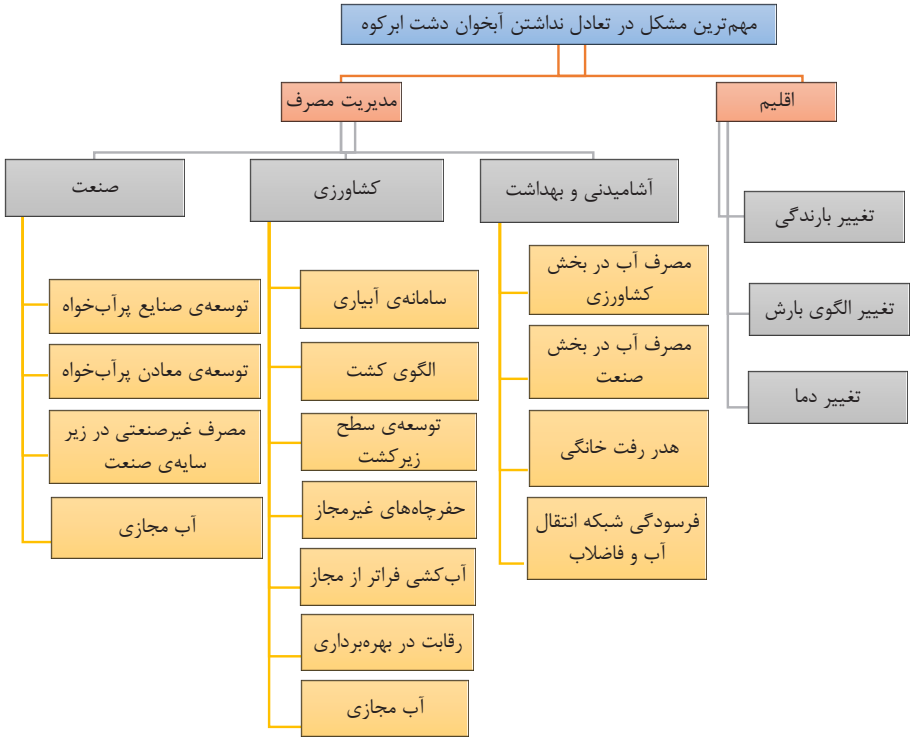
نرم‌افزار Expert Choice ابزاری قوی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این نرم‌افزار توانایی‌های زیادی دارد، و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی سؤال، تعیین اولویت‌ها و محاسبه‌ی وزن نهایی، امکان تحلیل‌کردن حساسیت تصمیم‌گیری در برابر تغییر عامل‌های مسئله را نیز دارد (بذرافکن، ۲۰۱۴). برای انجام‌دادن مقایسه‌های زوجی، پرسش‌نامه‌ها به‌صورت چهارچوب (چهارچوب) عددها وارد مدل Expert Choice۱۱شد و وزن هریک از معیارها و طبقه‌ها با روش مقایسه‌ی زوجی در نرم‌افزار محاسبه شد. پس از واردکردن هر چهارچوب مقایسه‌ی زوجی، مدل نموداری از وزن‌ها به نمایش درآورده، و با دستور ناسازگاری، نرخ ناسازگاری محاسبه و بررسی شد.

نتایج

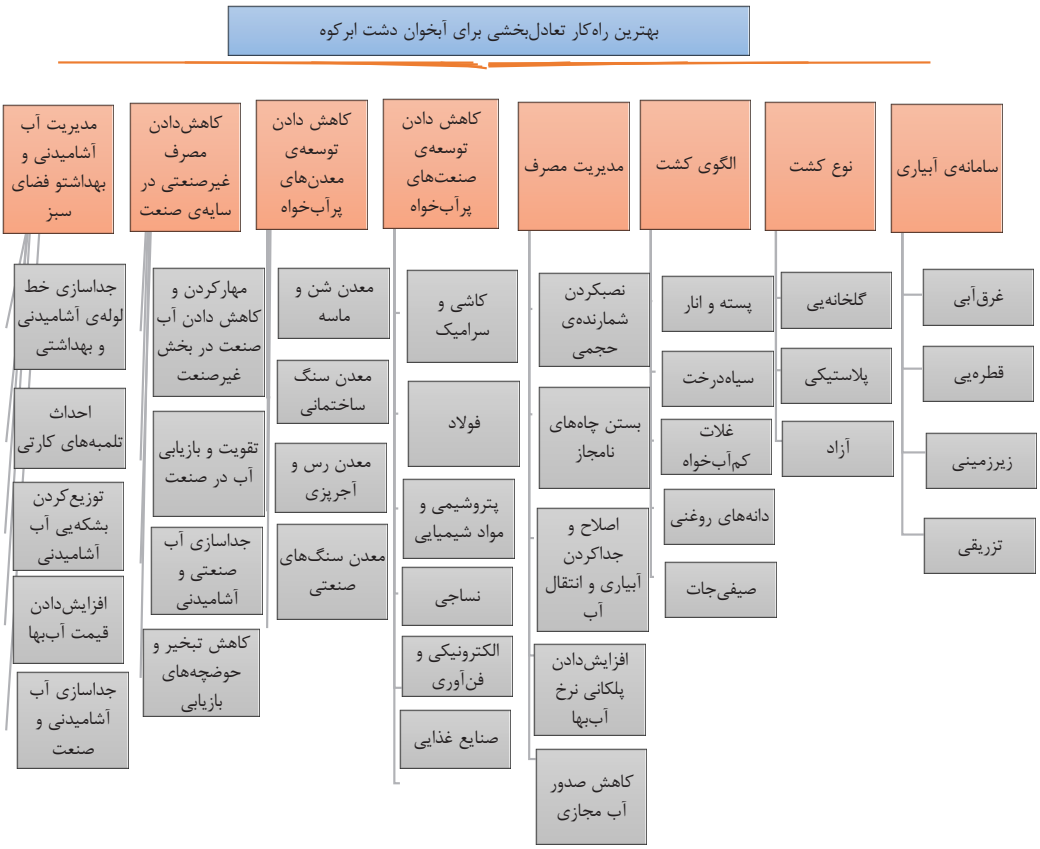
نتیجه‌ی کاربرد نرم‌افزار Expert Choice ۱۱ در تعیین سلسله‌مراتب معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در راه‌کارها و مشکلات منطقه در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- درخت سلسله‌مراتب مهم‌ترین مشکلات در بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه در نرم‌افزار Expert Choice11.



شکل۳- درخت سلسله‌مراتبی راه‌کارها برای تعادل بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه در نرم‌افزار Expert Choice11.

www.SID.ir

Archive of SID

در مدل تعیین دو معیار اصلی مدیریت مصرف آب و اقلیم مهم‌ترین مشکل‌های بی‌تعادلی سفره‌ی آب زیرزمینی تعریف شد. مدل AHP معیار مدیریت مصرف آب را با وزن به‌معیارشده‌ی ۷۴/۶۰٪ برتری داد. جدول ۱ چهارچوب مقایسه‌ی زوجی مهم‌ترین مشکل بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی مهم‌ترین مشکل بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه.

معیارها	اقلیم	مدیریت مصرف آب	وزن به‌معیارشده (٪)
اقلیم	۱/۰۰	۰/۳۴	۲۵/۴۰
مدیریت مصرف آب	۲۰/۹۳	۱/۰۰	۷۴/۶۰

برای بررسی معیار اقلیم، سه زیرمعیار تغییر بارندگی، افزایش دما، و تغییر الگوی بارش (برف و باران) در نظر گرفته شد (شکل ۲). باتوجه به وزن‌دهی مدل AHP، زیرمعیارها نیز با ترتیب تغییر بارندگی، تغییر الگوی بارش و تغییر دما با نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ اولویت‌بندی شد (جدول ۲).

جدول ۲- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیارهای اقلیم در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	تغییر بارندگی	تغییر دما	تغییر الگوی بارش	وزن به‌معیارشده (٪)
تغییر بارندگی	۱/۰۰	۵/۴۳	۴/۴۷	۶۹/۹۰
تغییر دما	۰/۱۸	۱/۰۰	۰/۳۹	۳۰/۰۰
تغییر الگوی بارش	۰/۲۲	۲/۵۵	۱/۰۰	۱۰/۰۰

زیرمعیار تغییر بارندگی با وزن ۶۹/۹۰٪ با اختلاف زیادی بر سایر زیرمعیارهای اقلیمی (تغییرات دما و الگوی بارش) اولویت گرفت (جدول ۲). برای مدیریت مصرف آب، سه زیرمعیار کشاورزی، صنعتی، آشامیدنی و بهداشتی مشخص شد (شکل ۲). اولویت‌بندی زیرمعیارها در مدل AHP با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ با ترتیب کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی و بهداشت انجام شد. زیرمعیار کشاورزی در چهارچوب مقایسه‌ی زوجی با وزن ۷۵/۶۰٪ نقش مهم‌تری در بی‌تعادلی‌بخشی آبخوان دشت ابرکوه داشت (جدول ۳).

جدول۳- چهارچوب مقایسه دوتایی معیار مدیریت مصرف آب در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	کشاورزی	صنعتی	آشامیدنی و بهداشتی	وزن به‌معیارشده (٪)
کشاورزی	۱/۰۰	۶/۴۷	۶/۳۳	۷۵/۶۰
صنعتی	۰/۱۵	۱/۰۰	۲/۱۶	۱۵/۲۰
آشامیدنی و بهداشتی	۰/۱۵	۰/۴۶	۱/۰۰	۹/۲۰

با توجه به گستردگی فعالیت‌های کشاورزی در دشت ابرکوه، نتیجه‌های جدول ۳ پذیرفتنی است و با شرایط منطقه تطابق دارد. زیرمعیارهای کشاورزی با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ با ترتیب آب‌کشی غیرمجاز (۲۵/۷۰٪)، رقابت در بهره‌برداری (۲۲/۹۰٪)، سامانه‌ی آبیاری (۱۶/۵٪)، الگوی کشت (۱۴/۷۰٪)، توسعه‌ی سطح زیرکشت (۹/۴۰٪)، کندن چاه‌های غیرمجاز (۶/۹۰٪) و صدور آب مجازی (۴/۰۰٪) اولویت‌بندی شد (جدول ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۴- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیار کشاورزی در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	سامانه‌ی آبیاری	الگوی کاشت	توسعه‌ی سطح زیرکشت	کندن چاه‌های غیرمجاز	آب‌کشی فراتر از مجاز	صدور آب مجازی	رقابت در بهره‌برداری بیش‌تر	وزن به‌معیار شده (٪)
سامانه‌های آبیاری	۱/۰۰	۲/۳۵	۳/۲۷	۲/۳۹	۰/۳۱	۲/۴۴	۰/۴۸	۱۶/۵۰
الگوی کاشت	۰/۴۲	۱/۰۰	۲/۳۵	۴/۵۲	۰/۴۲	۴/۲۷	۰/۴۴	۱۴/۷۰
توسعه‌ی سطح زیرکشت	۰/۳۰	۰/۴۲	۱/۰۰	۲/۸۴	۰/۴۲	۳/۰۶	۰/۳۷	۹/۴۰
کندن چاه‌های غیرمجاز	۰/۴۱	۰/۲۲	۰/۳۵	۱/۰۰	۰/۳۱	۴/۱۵	۰/۳۳	۶/۹۰
آب‌کشی فراتر از مجاز	۳/۱۵	۲/۳۵	۲/۳۳	۳/۱۴	۱/۰۰	۵/۰۸	۰/۴۹	۲۵/۷۰
صدور آب مجازی	۰/۴۰	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۱/۰۰	۰/۲۹	۴/۰۰
رقابت در بهره‌برداری بیش‌تر	۲/۰۸	۲/۲۵	۲/۶۵	۲/۹۶	۲/۰۴	۳/۴۳	۱/۰۰	۲۲/۹۰

برای زیرمعیار صنعت چهار زیرمعیار توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه، توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه، مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی، و صدور آب مجازی در نظر گرفته شد، که با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ با ترتیب توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه (۵۹/۹۰٪)، توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه (۲۳/۷۰٪)، مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعت (۹/۴۰٪)، و صدور مجازی منابع آب (۷/۰۰٪) اولویت‌بندی شد (جدول ۵).

جدول۵- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیار صنعت در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	توسعه‌ی صنعت-های پرآب‌خواه	توسعه‌ی معدن-های پرآب‌خواه	مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی	صدور آب مجازی (ردپای آب)	وزن به‌معیارشده (٪)
توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه	۱/۰۰	۴/۱۰	۵/۸۵	۵/۴۸	۵۹/۹
توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه	۰/۲۴	۱/۰۰	۳/۷۸	۳/۵۷	۲۳/۷
مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی	۰/۱۷	۰/۲۶	۱/۰۰	۲/۹۴	۹/۴
صدور آب مجازی (ردپای آب)	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۳۴	۱/۰۰	۷/۰۰

بیش‌ترین اولویت در زیرمعیار صنعتی توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه با وزن ۵۹/۹۰٪ بود و اختلاف آن با دیگر زیرمعیارها زیاد بود (جدول ۵). در زیرمعیار آشامیدنی و بهداشتی، با توجه به وزن‌دهی مدل با نرخ ناسازگاری ۰/۰۸، اولویت‌بندی زیرمعیارها با ترتیب مصرف آب در کشاورزی و فضای سبز زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی (۵۷/۷۰٪)، مصرف آب صنعتی زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی (۲۴/۳۰٪)، هدررفت آب خانگی (۱۰/۴۰٪) و فرسودگی شبکه‌ی انتقال آب و فاضلاب (۷/۶۰٪) انجام شد (جدول ۶).

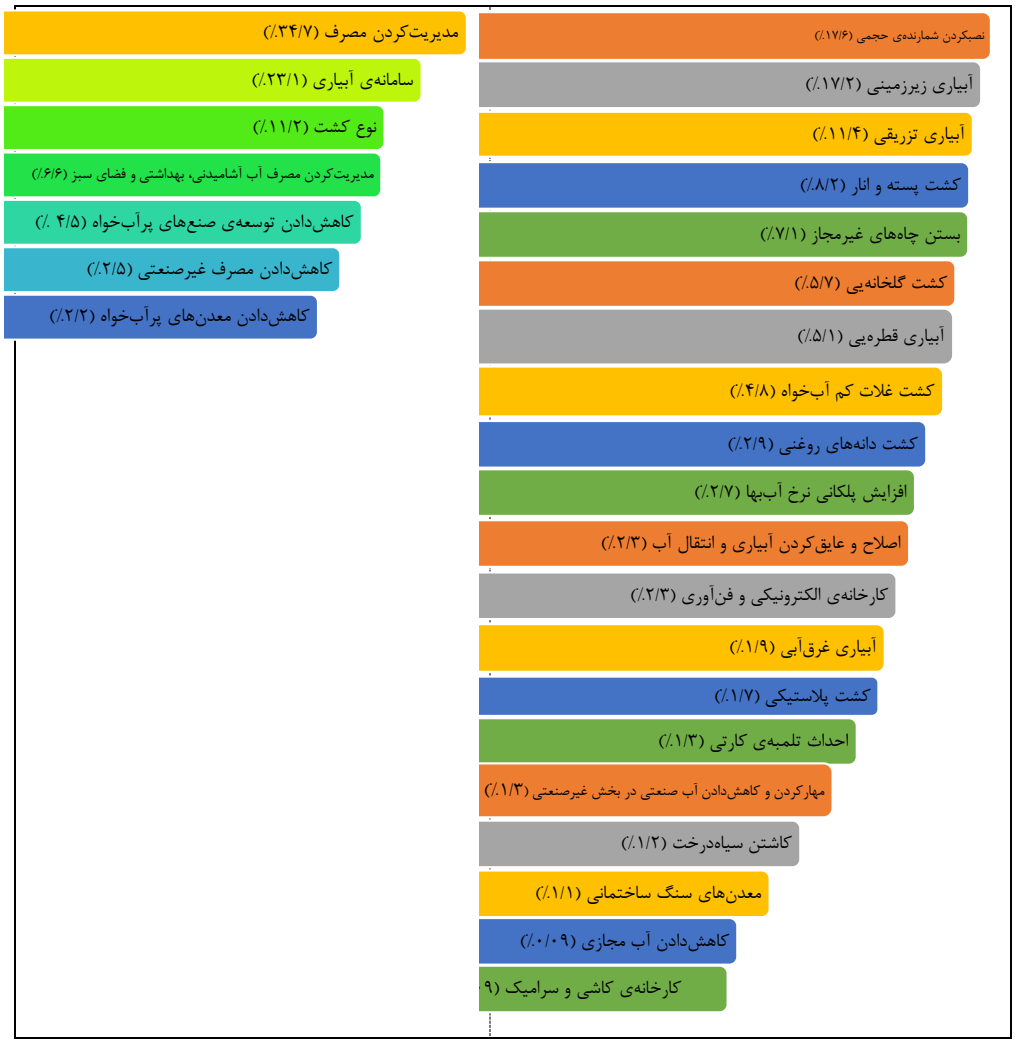
جدول۶- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیار آشامیدنی و بهداشتی در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	مصرف آب در کشاورزی و فضای سبز زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی	مصرف آب صنعتی زیر سایه-ی آشامیدنی و بهداشتی	هدررفت آب خانگی	فرسودگی شبکه‌ی انتقال آب و فاضلاب	وزن به‌معیارشده (٪)
مصرف آب در کشاورزی و فضای سبز زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی	۱/۰۰	۳/۸۷	۵/۱۲	۴/۸۹	۵۷/۷۰
مصرف آب صنعتی زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی	۰/۲۵	۱/۰۰	۳/۷۳	۳/۲۱	۲۴/۳۰
هدررفت آب خانگی	۰/۱۹	۰/۲۶	۱/۰۰	۲/۰۲	۱۰/۴
فرسودگی شبکه‌ی انتقال آب و فاضلاب	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۴۹	۱/۰۰	۷/۶

www.SID.ir

Archive of SID

بیش‌تریـــن اهمیت دربی‌تعادلی ســـفره‌ی آب زیرزمینی دشـــت ابرکوه در کشـــاورزی با وزن ۷۵/۶۰٪ اســـت (شـــکل ۴، چپ). آب‌کشی فراترازمجاز با وزن نهایی ۲۲/۶٪، رقابت در بهره‌برداری با وزن ۲۰/۱۰٪ و ســـامانه‌ی آبیاری با وزن ۱۴/۵۰٪، مهم‌ترین زیرمعیارهـــای موثـــر بر بی‌تعادلی آبخوان دشـــت ابرکوه اســـت (شکل ۴، راست). زیرمعیارهای مصرف آب در بخش غیرصنعتی در زیر ســـایه‌ی صنعت، هدررفت خانگی و فرســـودگی شبکه ی انتقـــال آب و فاضلاب به‌ترتیب بـــا وزن نهایی ۰/۷، ۰/۵ و ۰/۴٪ ضعیف‌ترین زیرمعیارها است.



شکل۵- اولویت‌بندی مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان دشت ابرکوه.
وزن‌های نسبی معیارها در نمودار چپ، و زیرمعیارها و وزن نسبی آن‌ها در نمودار راست نشان داده شد.

مدل تعیین بهترین راه‌کار

پس از شناسایی مهم‌ترین مشکلات در آبخوان زیرزمینی منطقه، بهترین راه‌کار مدیریتی برای مهارکردن این مشـــکلات تهیه شد. برای تعیین و ترســـیم مدل بهترین راه‌کار ۸ معیار اصلی انتخاب شد (شکل ۳). پس از واردکردن معیارها به مدل AHP وزن‌دهی آن‌ها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ اولویت‌بندی شد (جدول ۷).
ســـامانه‌ی آبیاری، الگوی کشـــت، نوع کشـــت، مدیریت مصرف آشامیدنی و بهداشتی و فضای سبز، کاهش توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خـــواه، کاهش مصـــرف غیرصنعتـــی و کاهش توســـعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه به‌ترتیب بهترین راه‌کارهای تعادل‌بخشـــی آبخوان دشـــت ابرکوه (جدول ۷) اســـت. برای شفاف‌سازی مساله و دادن بهتریـــن راه‌کار، بـــه ازای هرکـــدام از معیارهای منتخب، زیرمعیارهایـــی برگزیده و اولویت‌بندی زیرمعیارها با روش AHP انجام شد (شکل ۳).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی بهترین راه‌کار برای تعادل‌بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه.

وزن به‌معیارشده (٪)	مدیریت مصرف آب آشامیدنی و بهداشتی و فضای سبز	کاهش مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعت	کاهش توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه	کاهش توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه	مدیریت مصرف	الگوی کشت	نوع کشت	سامانه‌ی آبیاری	زیرمعیارها
۲۳/۱۰	۵/۸۹	۵/۰۰	۶/۸۹	۶/۸۹	۰/۲۵	۲/۰۸۲	۴/۰۰	۱/۰۰	سامانه‌ی آبیاری
۱۱/۲۰	۳/۰۰	۷/۰۰	۶/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۰/۴۸	۱/۰۰	۰/۲۵	نوع کشت
۱۵/۳۰	۳/۰۸	۶/۸۹	۶/۷۸	۴/۸۸	۰/۳۶	۱/۰۰	۲/۰۸	۰/۴۸	الگوی کشت
۳۴/۷۰	۵/۰۰	۸/۸۹	۶/۷۸	۷/۹۶	۱/۰۰	۲/۷۶	۰/۳۳	۴/۰۰	مدیریت مصرف
۴/۵۰	۰/۲۶	۵/۰۰	۲/۸۸	۱/۰۰	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۱۴	کاهش توسعه‌ی صنعت-های پرآب‌خواه
۲/۲۰	۰/۲۶	۰/۵۰	۱/۰۰	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	کاهش توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه
۲/۵۰	۰/۳۴	۱/۰۰	۲/۰۰	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۰	کاهش مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعت
۶/۶۰	۱/۰۰	۲/۸۸	۳/۷۷	۳/۷۷	۰/۲۰	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۱۶	مدیریت مصرف آب آشامیدنی و بهداشتی و فضای سبز

نتیجه‌ی اولویت‌بندی زیرمعیارهای نوع کشت با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ بیانگر این است که اولویت نوع کشت با ترتیب کشت گلخانه‌یی با وزن ۷۴/۱۰٪، کشت پلاستیکی (کشت با خاک‌پوش پلاستیکی) با وزن ۱۹/۰۰٪، و کشت آزاد (کشت بی‌خاک) با وزن ۶/۹۰ است (جدول ۸).

جدول۸- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای نوع کشت در آبخوان دشت ابرکوه.

وزن به‌معیارشده (٪)	آزاد	پلاستیکی	گلخانه‌یی	زیرمعیارها
۷۴/۱۰	۷/۸۹	۵/۳۰	۱/۰۰	گلخانه‌یی
۱۹/۰۰	۳/۷۳	۱/۰۰	۰/۱۸	پلاستیکی
۶/۹۰	۱/۰۰	۰/۲۶	۰/۱۲	آزاد

برای تعیین مناسب‌ترین سامانه‌ی آبیاری در تعادل‌بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه، زیرمعیارها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ به ترتیب آبیاری زیرزمینی (۳۹/۰۰٪)، تزریقی (۳۷/۰۰٪)، قطره‌یی (۱۶/۹۰٪) و غرقابی (۶/۴۰٪) اولویت‌بندی شد (جدول ۹).

جدول۹- چهارچوب مقایسه دوتایی زیرمعیارهای سامانه‌ی آبیاری در آبخوان دشت ابرکوه.

وزن به‌معیارشده(٪)	تزریقی	زیرزمینی	قطره ای	غرقابی	زیرمعیارها
۶/۴۰	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۲	۱/۰۰	غرقابی
۱۶/۹۰	۰/۳۲	۰/۳۳	۱/۰۰	۴/۳۶	قطره ای
۳۹/۰۰	۲/۲۵	۱/۰۰	۲/۹۶	۵/۴۳	زیرزمینی
۳۷/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۴	۳/۱۱	۴/۱۹	تزریقی

اولویت‌بندی زیرمعیارهای الگوی کشت نیز با توجه به هدف، با ترتیب کشت پسته و انار، غلات کم‌آب‌خواه، دانه‌های روغنی، سیاه‌درخت، صیفی‌جات و غلات پرآب‌خواه با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ بود (جدول ۱۰).

7- Soilless culture

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱۰- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای الگوی کشت در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	پسته و انار	سیاه‌درخت (زردآلو)	غلات کم‌آب‌خواه (گندم و جو)	غلات و علوفه‌ی پرآب‌خواه (ذرت، سورگوم و یونجه)	دانه‌های روغنی (آفتابگردان، کلزا)	صیفی‌جات	وزن به‌معیارشده (٪)
پسته و انار	۱/۰۰	۷/۰۹۴۱	۴	۹	۳/۰۸۷	۹/۰۰	۴۶/۱۰
سیاه‌درخت	۰/۱۴	۱/۰۰	۰/۲۵	۳	۰/۲۵	۳/۰۸۷	۷/۰۰
غلات کم‌آب‌خواه (گندم و جو)	۰/۲۵	۴	۱/۰۰	۵/۷۹	۱/۸۶	۸/۰۰	۲۲/۳۰
غلات و علوفه‌ی پرآب‌خواه (ذرت، سورگوم و یونجه)	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۷	۱/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۱	۲/۸۰
دانه‌های روغنی (آفتابگردان، کلزا)	۰/۳۲	۴/۰۰	۰/۵۳	۴/۷۸	۱/۰۰	۶/۰۰	۱۷/۱۰
صیفی‌جات	۰/۱۱	۰/۳۲	۰/۱۲	۴/۶۴	۰/۱۶	۱/۰۰	۴/۷۰

اولویت پسته و انار به‌دلیل نیاز آبی کم و صرفه‌ی اقتصادی، بیش‌ترین است (جدول ۱۰). زیرمعیارهای مدیریت مصرف آب در تعادل‌بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه با نرخ ناسازگاری ۰/۱۰ اولویت‌بندی شد. راه‌کارهای مدیریتی در این معیار را می‌توان بر اساس اولویت، با ترتیب نصب‌کردن شمارنده‌ی (کنتور) حجمی، بستن چاه‌های غیرمجاز، افزایش‌دادن پلکانی نرخ آب‌بها، اصلاح و عایق‌بندی کردن آبیاری و انتقال آب، و کاهش‌دادن صدور آب مجازی (محصولات پرآب‌خواه) معرفی کرد (جدول ۱۱) نتیجه‌های این جدول برتری و اهمیت نصب کردن شمارنده‌ی حجمی و بستن چاه‌های غیرمجاز به دیگر معیارها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای مدیریت مصرف آب در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	نصب‌کردن شمارنده‌ی حجمی	بستن چاه‌های غیرمجاز	اصلاح و عایق‌کردن آبیاری و انتقال آب	افزایش‌دادن نرخ پلکانی آب بها	کاهش‌دادن صدور آب مجازی (محصولات پرآب‌خواه)	وزن به‌معیارشده (٪)
نصب‌کردن شمارنده‌ی حجمی	۱/۰۰	۴/۰۰	۹/۰۰	۸/۰۰	۹/۰۰	۵۷/۶۰
بستن چاه‌های غیرمجاز	۰/۲۵	۱/۰۰	۳/۸۸	۳/۸۸	۹/۰۰	۲۳/۲۰
اصلاح و عایق‌کردن آبیاری و انتقال آب	۰/۱۱	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۵۰	۶/۰۰	۷/۵۰
افزایش نرخ پلکانی آب‌بها	۰/۱۲	۰/۲۵	۲/۰۰	۱/۰۰	۴/۰۰	۸/۹۰
کاهش‌دادن صدور آب مجازی (محصولات پرآب‌خواه)	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۵	۱/۰۰	۲/۸۰

زیرمعیارهای کاهش صنعت‌های پرآب‌خواه نیز با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ با ترتیب صنعت‌های الکترونیکی و فن‌آوری، کاشی و سرامیک، فولاد، صنعت‌های غذایی، پتروشیمی و مواد شیمیایی و نساجی اولویت‌بندی شد (جدول ۱۲)

8- Insulation

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱۲- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای صنعت‌های پرآب‌خواه در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	کاشی و سرامیک	فولاد	پتروشیمی و مواد شیمیایی	نساجی	الکترونیکی و فناوری	صنعت‌های غذایی	وزن به‌معیارشده (٪)
کاشی و سرامیک	۱/۰۰	۳/۰۰	۵/۸۹	۵/۸۹	۰/۱۴	۳/۰۰	۲۰/۱۰
فولاد	۰/۳۳	۱/۰۰	۵/۷۶	۶/۰۰	۰/۲۵	۳/۰۰	۱۴/۵۰
پتروشیمی و مواد شیمیایی	۰/۱۶	۰/۱۷	۱/۰۰	۲/۰۹	۰/۱۲	۱/۰۰	۴/۴۰
نساجی	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۴۷	۱/۰۰	۰/۱۱	۰/۲۵	۲/۸۰
الکترونیکی و فناوری	۶/۸۹	۴/۰۰	۸/۰۰	۸/۸۹	۱/۰۰	۵/۰۰	۵۱/۶۰
صنعت‌های غذایی	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۰۰	۳/۸۸	۱/۰۰	۱/۰۰	۶/۶۰

وزن نسبی ۵۱/۶۰٪ برای زیرمعیار صنعت‌های الکترونیکی و فن‌آوری نشان‌دهنده‌ی این است که در آبخوان دشت ابرکوه، امکان گسترش‌دادن صنعت‌های کم‌آب‌خواه فراهم است. اولویت‌بندی زیرمعیارهای کاهش توسعه‌ی معدن با نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ به‌ترتیب معدن سنگ‌های ساختمانی، سنگ‌های صنعتی، شن و ماسه، رس و آجرپزی است (جدول ۱۳). ترتیب زیرمعیارهای کاهش مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی با ترتیب مهارکردن و کاهش‌دادن آب صنعت در بخش غیرصنعتی (کشاورزی)، تقویت‌کردن بازگشت آب در صنعت، جداکردن آب صنعتی و آشامیدنی، کاهش‌دادن تبخیر از حوضچه‌های بازگردانی آب با نرخ ناسازگاری ۰/۱۰ بود (جدول ۱۴).

جدول۱۳- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیارهای کاهش‌دادن توسعه‌ی معدن در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	معدن‌های شن و ماسه	معدن‌های سنگ ساختمانی	معدن‌های رس و آجرپزی	معدن‌های سنگ‌های صنعتی	وزن به‌معیارشده (٪)
معدن‌های شن و ماسه	۱/۰۰	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۳۴	۱۰/۳۰
معدن‌های سنگ ساختمانی	۴/۰۰	۱/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۹۰۲۶	۵۶/۲۰
معدن‌های رس و آجرپزی	۱/۰۰	۰/۲۵	۱/۰۰	۰/۳۴	۱۰/۳۰
معدن‌های سنگ‌های صنعتی	۲/۸۸	۰/۲۴	۲/۸۸	۱/۰۰	۲۳/۲۰

جدول۱۴- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای کاهش‌دادن مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	مهارکردن و کاهش‌دادن آب صنعتی در بخش غیرصنعتی (کشاورزی)	تقویت بازیافت آب در صنعت	جداسازی آب صنعتی و آشامیدنی	کاهش تبخیر از حوضچه‌های بازیافت	وزن به‌معیارشده (٪)
مهارکردن و کاهش‌دادن آب صنعتی در بخش غیرصنعتی (کشاورزی)	۱/۰۰	۵/۰۰	۶/۰۰	۶/۰۰	۶۲/۸۰
تقویت بازیافت آب در صنعت	۰/۲۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۴/۰۰	۱۸/۷۰
جداسازی آب صنعتی و آشامیدنی	۰/۱۶	۰/۵۰	۱/۰۰	۳/۸۸	۱۲/۸۰
کاهش‌دادن تبخیر از حوضچه‌های بازیافت	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۲۵	۱/۰۰	۵/۷۰

زیرمعیارهای مدیریت آب آشامیدنی، بهداشتی و فضای سبز، با نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ وزن‌دهی شد. ترتیب این وزن‌دهی جداسازی خط‌های لوله‌ی آب آشامیدنی و بهداشتی، احداث تلمبه‌های کارتی ایستگاهی در جاهای مختلف شهر، توزیع آب آشامیدنی در شهر با بشکه، جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی، و افزایش‌دادن پلکانی قیمت آب‌بها است (جدول ۱۵).

www.SID.ir

Archive of SID

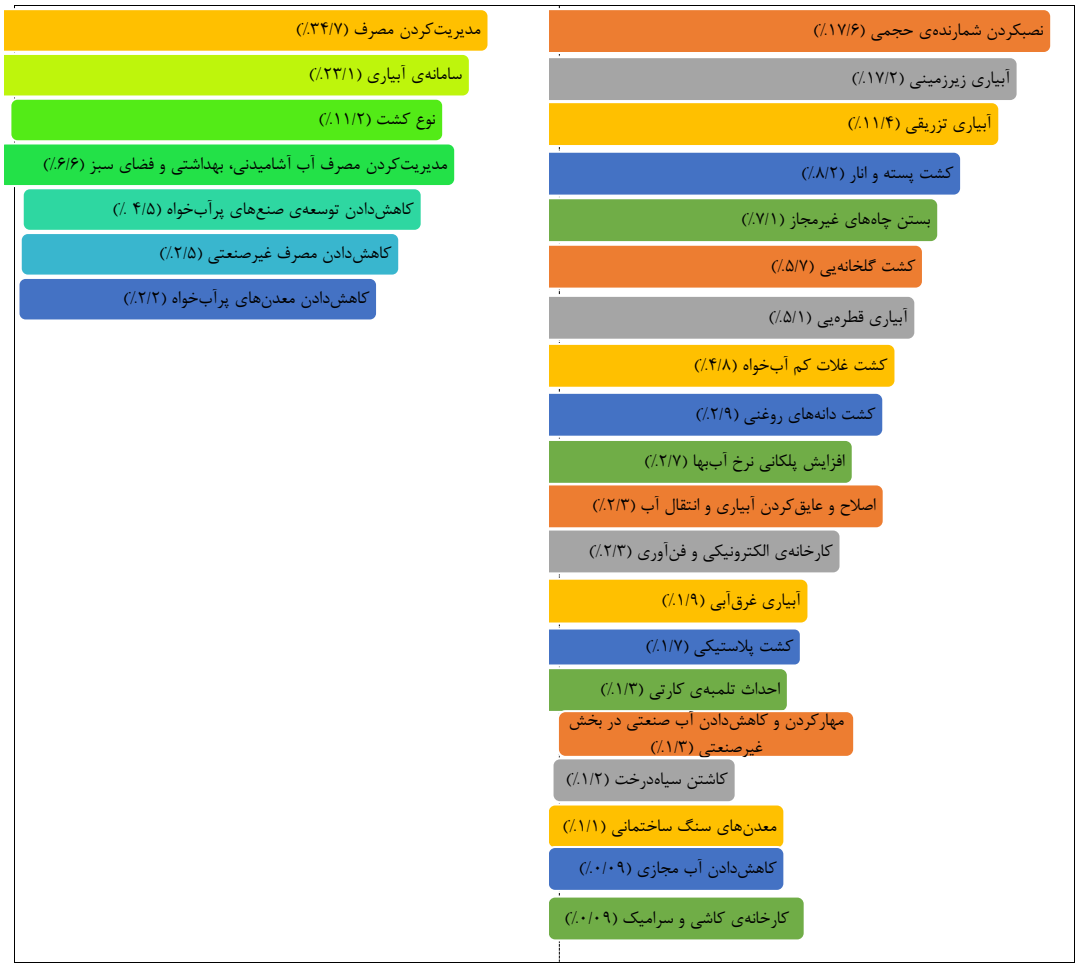
جدول۱۵- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای مدیریت آب آشامیدنی، بهداشتی و فضای سبز در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	جداسازی خط‌های لوله‌ی آب آشامیدنی و بهداشتی	احداث تلمبه‌های کارتی ایستگاهی در جاهای مختلف شهر	توزیع‌کردن بشکه‌یی آب آشامیدنی در شهر	افزایش‌دادن آب‌بهای قیمت پلکانی	جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی	وزن به‌معیارشده (٪)
جداسازی خط‌های لوله‌ی آب آشامیدنی و بهداشتی	۱/۰۰	۳/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۸/۰۰	۵۲/۶۰
احداث تلمبه‌های کارتی ایستگاهی در جاهای مختلف شهر	۰/۳۳	۱/۰۰	۲/۸۸	۶/۸۹	۶/۸۹	۲۶/۲۰
توزیع‌کردن بشکه‌یی آب آشامیدنی در شهر	۰/۱۴	۰/۱۴	۱/۰۰	۶/۸۹	۲/۰۰	۱۱/۸۰
افزایش‌دادن پلکانی قیمت آب‌بها	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۱/۰۰	۰/۳۴	۳/۴۰
جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۵۰	۲/۸۸	۱/۰۰	۵/۹۰

حساسیت پویای مدل بهترین راه‌کار برای تعادل‌بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی تحلیل، و همه‌ی معیارها، زیرمعیارها و وزن‌های آنها نمایش داده شد (شکل ۵). بیش‌ترین ارجحیت با معیار مدیریت مصرف با وزن ۳۴/۷۰٪، و پس از آن با دو معیار سامانه‌ی آبیاری و نوع کشت با وزن‌های ۲۳/۱۰ و ۱۱/۲۰٪ بود. نصب شمارنده‌ی حجمی با وزن نهایی ۱۷/۶۰٪، آبیاری زیرزمینی با وزن ۱۱/۷۰٪، و آبیاری تزریقی با وزن ۱۱/۴۰٪ مهم‌ترین زیرمعیارهای موثر در مدل بهترین راه‌کار بود. زیرمعیارهای معدن‌های سنگ ساختمانی، کاهش آب مجازی و کارخانه‌ی کاشی و سرامیک به‌ترتیب با وزن نهایی ۱/۱۰، ۰/۰۹ و ۰/۰۹٪ ضعیف‌ترین زیرمعیارها بود. معیارهای مدیریت مصرف، اصلاح سامانه‌ی آبیاری و اصلاح الگوی کشت، نقش مهمی در مهارکردن بحران منابع آب زیرزمینی منطقه دارد (شکل ۵). اولویت‌بندی زیرمعیارها در شکل ۵ نیز بیانگر تاثیر نصب‌کردن شمارنده‌های حجمی، بستن چاه‌های غیرمجاز، جداسازی آب آشامیدنی و بهداشتی، و توسعه‌ی صنعت‌های کم‌آب‌خواه مانند الکترونیکی و فن‌آوری در مهارکردن بحران است. از جمله مسائل مهم در منطقه توسعه‌ی بی‌رویه‌ی سطح زیرکشت باغ، سامانه‌ی آبیاری غرق آبی، کاشت محصولات پرآب‌خواه، و رقابت بهره‌برداران در برداشت از آب زیرزمینی است. بنابراین، تجهیزکردن چاه‌ها به شمارنده‌ی حجمی و اصلاح‌کردن سامانه‌ی آبیاری و الگوی کشت می‌تواند نقش مهمی در مهارکردن بحران داشته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- اولویت‌بندی مهم‌ترین راه‌کارهای مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان دشت ابرکوه.
وزن‌های نسبی معیارها در نمودار چپ، و زیرمعیارها و وزن نسبی آن‌ها در نمودار راست نشان داده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت، توسعه‌ی صنعتی و کشاورزی، و افزایش شهرنشینی موجب افزایش تقاضای مصرف آب و فشار بر منابع آب موجود شده است. افزایش تقاضای آب در منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل کم‌بود منابع آب سطحی منجر به برداشت بی‌رویه‌ی منابع آب زیرزمینی و افت‌کردن آبخوان‌ها شده است. ادامه‌ی چونین روندی تهدیدی جدی برای توسعه‌ی پایدار دانسته می‌شود (اوهارا، ۲۰۰۰؛ میکلین، ۲۰۰۲؛ وجریک، ۲۰۱۱؛ راهمان، ۲۰۱۲؛ گو و همکاران، ۲۰۱۶ و کاراتایو و همکاران، ۲۰۱۷). در این وضعیت، برای مهارکردن بحران به مدیریت مناسب منابع آبی نیاز است. این کار اغلب پیچیده است، و شرط موفقیت در آن به‌کاربردن نظر کاربران و مدیران منطقه‌یی است (کاراتایو و همکاران، ۲۰۱۷). با درنظرگرفتن این مساله، تحلیل AHP برای مدیریت‌کردن منابع آبی و تعادل‌بخشیدن به آبخوان دشت ابرکوه به‌کاربرده شد. همه‌ی معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار بر بی‌تعادلی منابع آب زیرزمینی منطقه براساس نظرکارشناسان و خبرگان تعیین شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از مدل Expert Choice۱۱ بررسی شد، و از آن‌جا که ضریب‌های معیارها و زیرمعیارها کم‌تر از ۰/۱ بود، سازگاری قضاوت‌ها تائید شد. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که عمده‌ترین معیار در ایجاد بحران فعلی منابع آب زیرزمینی در منطقه مدیریت‌کردن نادرست منابع آب زیرزمینی است. ضریب تاثیر این معیار براساس نتیجه‌های تحلیل سلسله‌مراتبی ۷۴/۶۰٪ بود. از طرفی، نتیجه‌ها نشان داد که در زمینه‌سازی ایجاد این بحران، مدیریت کشاورزی با ۷۶/۰۰٪ جلوتر از صنعت و آشامیدنی است در واقع، کشاورزی نه تنها آبخوان دشت ابرکوه را بحرانی کرده است، بلکه در بسیاری از دشت‌های کشور و دیگر نقاط جهان نیز، نبود مدیریت در کشاورزی منجر به افت سفره‌های زیرزمینی شده است (رستم‌زاده و همکاران ۲۰۱۵، مساعد و همکاران ۲۰۱۵، ویسی ۲۰۱۶، سلطانی ذوقی و رحیمی ۲۰۱۹، مسلمی ۲۰۱۶، بیجار و همکاران ۲۰۱۷، پالمنا و همکاران ۲۰۱۹). براساس نتیجه‌های این پژوهش، مهم‌ترین مشکلات زمینه‌ساز این بحران به‌ترتیب

www.SID.ir

Archive of SID

اولویت آب‌کشـــی فراترازمجاز (۲۲/۵۰٪)، رقابت در بهره‌برداری کشاورزی (۲۲/۱۰٪)، سامانه‌ی آبیاری (۱۴/۵۰٪)، الگوی کشت (۱۲/۵۰٪)، توسعه‌ی سطح زیرکشت (۸/۲۰٪)، کندن چاه‌های غیرمجاز (۶/۰۰٪)، و توســعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه (۴/۵۰٪) اســت. از آن‌جاکه دشت ابرکوه منطقه ی مهم کشاورزی است و کشــاورزی در آن بر پایه‌ی آب‌کشی از چاه‌های عمیق است، و از طرفی در منطقه رقابت شــدید بین بهره‌برداران در آب‌کشــی از چاه‌ها، روش‌های نامناسب آبیاری، و الگوی کشت نادرست است، صحت نتیجه‌های تحلیل AHP تایید میشود.

نتیجه‌های پرســش‌گری با آمــار و نمودارهــای موجود انطباق نزدیکی نشــان می‌دهــد. این یافته‌ها بــا پژوهش‌های محمدی و همــکاران (۲۰۱۱)، مهدوی و همــکاران (۲۰۱۳) نیکبخت و همکاران (۲۰۱۵) و زارع و همکاران (۲۰۱۷) در ســایر دشت‌ها مشابه اســت. باقری و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی مهم‌ترین عامل‌هــای موثــر بر افت‌کردن ســطح آبخوان دشــت ابرکوه و ایجادشــدن فروچاله‌ها عامل‌های الگوی کشت، آب‌کشی فراتراز حدمجاز، مصرف نادرست آب کشاورزی و آشامیدنی را عامل‌های مهم ایجاد بحران زیست‌محیطی منطقه دانستند، که با نتیجه‌های ما هم‌راستا است.

پس از شناســایی مشکل و تعیین‌کردن سهم بخش‌های مختلف در ایجادشــدن بحــران، راه‌کارهای مناســب بــرای مهارکردن بحران بررســی و اولویت‌بندی شــد. راه‌کارهای مختلف با روش تحلیل سلســله‌مراتبی رتبه‌بندی شــد. نتیجه‌ها نشــان داد که تعیین‌کردن راه‌کارهــای اصلی، معیارهای مدیریت‌کردن مصرف آب، اصلاح‌کردن ســامانه‌ی آبیاری و اصلاح‌کردن الگوی کشت به‌ترتیــب با ســهم ۳۴/۷۰، ۲۳/۱۰ و ۱۵/۳۰٪، بیش‌ترین تاثیر را در مهارکردن بحران داشت. نتیجه‌ی پژوهش‌های ابوالقاسمی و همــکاران (۲۰۱۶)، کاظمی و همــکاران (۲۰۱۶) و قبادیان و همکاران (۲۰۱۶) نیــز با راه‌کارهای اولویت‌بندی‌شــده در این پژوهش مشــابه اســت. در رتبه‌بندی زیرمعیارها نیز نصب‌کردن شمارنده‌های حجمی، بســتن چاه‌های غیرمجاز، جداسازی آب آشــامیدنی و بهداشتی، و توسعه‌ی صنعت‌های کم‌آب‌خواه مانند الکترونیکی و فن‌آوری بهترین پیشنهادهای مدیریتی برای مقابله با بی‌تعادلی آبخوان دشــت ابرکوه بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که با وجــود تغییرات اقلیمی، بــا مدیریت‌کردن صحیح منابع آب زیرزمینی دشــت ابرکوه به‌خصوص در کشــاورزی، تا حدی می‌توان تعادل را به آبخوان منطقه باز گردانید.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

Abbasi E, Heydari M. 2016. Evaluation of groundwater potential using AHP techniques and fuzzy logic. hydrogeomorphology Journal, 6: 93–75. (In Persian).

Abolghasemi M, GHobadinia M, GHasemi A, Nori M. 2016. The impact of underground irrigation and irrigation management on growth characteristics and yield components of rice in arid and semiarid. Journal of water and soil, 31(2): 411–421. (In Persian).

Ahmadi M, Shahidi A, Ghorbani Z. 2016. Location of susceptible areas for drinking water by combining multi-criteria and fuzzy decision-making methods. Journal of Health and Environment, 9(3): 331–346. (In Persian).

Asgharpour M. 2009. Multi-criteria decision making. (1st Ed.). Tehran University Press, 400 p. (In Persian).

Bazrafkan AS, Mohammadifar A A, Ekhtesasi MR. 2014. Book of Application of Group Decision-Making Models in Natural Resources Management. (1st Ed.). Shiraz Press, 52 p. (In Persian).

Bejar-Pizarro M, Ezquerro P, Herrera G. 2017. Mapping groundwater level and aquifer storage variations from insar measurements in the Madrid aquifer. Journal of Hydrology, 547: 678–689.

Destegigure J, Duberstein J. 2003. Proceeding if the 1st Interagency Conference on Research on Watershed. US Department of Agriculture, Agricultyral Research Service, Benson, Arizona. 227 p.

Fathizadeh H, Alipour H, Hasheminasab N, Karimi H. 2016. Potentiality of groundwater through a hierarchical analysis process using remote sensing and geographic information system in the Mahdishahr basin. Hydrogeology Journal, 8(3): 1–20. (In Persian).

Gdoura Kh, Anane M, Jallali S. 2015. Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water Resources. Conservation and Recycling Journal, 104. 19–30.

Ghobadian R, Bahrami Z, Dabagh Bagheri S. 2016. Applied management scenarios predict fluctuations in groundwater levels with conceptual and mathematical models MODFLOW. Journal of Ecohydrology, 3(3): 303-319. (In Persian).

Ghodsi Pour H .2006. Analytical Hierarchy Process AHP. Amir Kabir University of Technology press. 32 p.

Guo L, Zhou H, Xia Z, Huang F. 2016. Evolution opportunity and challenges of transboundary water and energy problems in Central Asia. SpringerPlus, 5(1):1918–1929.

Hatef A, Ekhtesasi MR. 2016. Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process using remote sensing and Geographic Information System. Geopersia Journal, 6(1): 75–88.

Karatayev M, Kapsalyamova Z, Spankulova L, Skakova A, Movkebayeva G, Kongyrbay A. 2017. Priorities and challenges for a sustainable management of water resources in Kazakhstan. Sustainability of Water Quality and Ecology (9):115-135.

Kazemi H, Tahmasbi Z, Kamkar B, SHetabi SH, Sadeghi S. 2016. Determination of suitable cropping pattern for Golestan province by geographical information system (GIS). Watershed Management Research (Pahjouhesh & Sazandegi), 110: 88–106. (In Persian).

Mahdavi M, Farokhzadeh B, Salajeghe A, Malekian A, Sori M. 2013. Simulation of hamedan-bahar aquifer and investigation of management scenarios by using pmwin. Watershed management research(

www.SID.ir

Archive of SID

pajouhesh & sazandegi). 98(1): 108–116. (In Persian).

Micklin P. 2002. Water in the Aral sea basin of Central Asia: cause of conflict or cooperation Eurasian Geogr. Econ. 43 (7): 505–528.

Mosaedi A, Hasanalizadeh M, Ghabaei Sough F. 2015. Investigation on the effects cultural project of implementation of agricultural water saving on the individual knowledge and attitudes in relation to water crisis. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 9(3): 540–549. (In Persian).

Moslemi H. 2017. Groundwater over-exploitation in the hashtbandi plain the province of hormozgan its consequences. Watershed Management Research, 30(4): 3–19. (In Persian)

Nikbakht J, Najib Z. 2015. Effect of increasing irrigation efficiency on groundwater fluctuations. Journal of Water Management and Irrigation, 5(1): 116–127. (In persina)

O'Hara S. 2000. Central Asia's water resources: contemporary and future management issues. Water Res. Dev. 16 (3): 423–441.

Pal Meena R, Karnam V, 2019. Irrigation management strategies in wheat for efficient water use in the regions of depleting water resources. Agriculture Water Management, 214: 38–46.

Panahi M, Misagi F, Asgari P. 2018. Simulation and estimate of groundwater level fluctuations using GMS, Environmental Sciences. 3(57): 19–38. (In Persian).

Rahaman, M., 2012. Principles of transboundary water resources management and water related agreements in Central Asia: an analysis. Int. J. Water Resour. Dev. 28 (3): 477–494.

Rostamzadeh H, Asadi E, Jafarzadeh J. 2015. Evaluation of the groundwater table using multi-criteria decision making and spatial analysis. Journal of Spatial Analysis of Environmental Risks, 2(1): 31–42. (In Persian).

Sedaghat M. 1992. Land and Water Resources, Payam Noor Press. 66 p.

Serbu R, Marza B, Borza S. 2016. A Spatial Analytic Hierarchy Process for Identification of water pollution with GIS softwater in an Eco-Economy Environment. Sustainability Journal, 8.1208.

Soltani M, Soleymani K, Habibnezhad M, Jalili KH. 2018. Comparative location of rainwater harvesting. desert ecosystem engineering journal, 6(17): 49–62. (In Persian).

Soltani Zoghi A, Haji Rahimi M. 2019. Estimation and comparison the exploitation amount from groundwater resources under alternative exploitation models and its effect on sustainability. Journal of Agricultural Economics Research, 10(4): 173–194. (In Persian).

Tarigan A, Rahmad D, Sembiring R, Iskandar R. 2018. An application of the AHP in water resources management: a case study on urban drainage rehabilitation in Medan City. IOP Conference series: Materials Science and Engineering.309.

Veysi H. 2016. Water needs and the consequences of water crisis in kerman province, Geography, 14(50): 283–308. (In Persian).

Wegerich, K., 2011. Water resources in Central Asia: regional stability or patchy make-up? Central Asian Survey 30 (2): 275–290.

Yazd Regional Water Organization. 2009. Geohydrology study of the Abarkouh plain. (In Persian).

Zare H, Aref S. 2017. Evaluation of the performance of classic irrigation systems in Hamadan. Journal of water research in agriculture, 31(4): 523–535. (In Persian).

www.SID.ir

Watershed Management Research

VOL. 32, No. 4, Ser. No: 125, Winter 2020, pp. 34 -50
DOI: 10.22092/wmej.2019.123047.1137

Determination of the Most Appropriate Management Strategy in Balancinge the Aquifer of the Abarkuh Plain Using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Sanaz Pourfallah*
(Corresponding Author)*Graduate Student in Watershed Management, Yazd University, Iran
Mohammad Reza Ekhtesasi
Professor, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Iran
Hossein Malekinezhad
Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desertification, Yazd University, Iran
Fatemeh Barzegari
Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Payame Noor University

*Corresponding Author Email: sanaz.falah12@yahoo.com
Received: 17 August 2018 Accepted: 12 March 2019

Abstract
Groundwater resources have shrunk noticeably in arid and semi-arid areas in recent decades. Therefore, determination of the most important problems of the aquifers and the best management strategies is important. The purpose of this study is to identify in the causes of the imbalance of groundwater in the Abarkuh Plain aquifer, in the Yazd Province. To attain this, the criteria and sub-criteria of groundwater problems were determined using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in the Expert Choice software. Then, aquifer management strategies were designed using the same process (AHP method). The results indicated that agriculture, with a relative weight of 76.00% compared to industry and domestic water is the most effective consuming sectors in creating the aquifer imbalance. The most important agents in this sector were over-exploitation of the aquifer (22.50%), competition in agricultural water utilization (20.10%), irrigation systems (14.50%), cultivation patterns (12.50%), cultivated land area (8.20%), illegal irrigation wells (6.00%), and the development of high water demand industries (4.50%). Furthermore, the most important solutions for crisis management were irrigation system reform and cultivation pattern correction. To acheive these solutions, management strategies including equipping the wells with the volumetric counters, prevention of illegal pumping, separation of drinking from sanitation water, and development of the low water-consuming industries are suggested.

Keywords: Abarkuh Plain, groundwater resources management, multi-criteria decision making, prioritization, risk management

www.SID.ir