



دوره‌ی ۳۲، شماره‌ی 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)\* فارغ‌التحصیل 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

\*ایانامه‌ی 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 بسیاری از نقاط جهان، به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک با افت شدید روبه‌رو شده است. در این شرایط، تعیین مهم‌ترین مشکلات و بهترین راه‌کارهای مدیریتی برای حفظ این ذخایر کاری مهم است. هدف این پژوهش شناخت دلایل مؤثر در بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه استان یزد است. معیارها و زیرمعیارهای مشکلات منابع آب زیرزمینی و راه‌کارهای مدیریتی آبخوان به‌روش سلسله‌مراتبی طراحی، و ارزش وزنی آن‌ها در نرم‌افزار اکسپرت چویس تعیین شد. نتیجه‌ها نشان داد که عامل کشاورزی با وزن نسبی  $0.76/0.0$  درمقایسه با صنعت، آب‌آشامیدنی و بهداشتی در ایجاد بی‌تعادلی آبخوان مؤثر است. مهم‌ترین مشکلات این بخش به‌ترتیب کشیدن فراتر از مجاز آب ( $0.22/6$ )، رقابت در بهره‌برداری از آب کشاورزی ( $0.20/10$ )، سامانه‌ی آبیاری ( $0.14/50$ )، الگوی کشت ( $0.12/50$ )، سطح زیرکشت ( $0.8/20$ )، کندن چاه‌های غیرمجاز ( $0.6/0.0$ ) و توسعه‌ی صنایع پرآب‌خواه ( $0.4/50$ ) اولویت‌بندی کرده شد. با توجه به شناختن مهم‌ترین مشکلات، راه‌کارهای مدیریتی برای مهار کردن بحران مدیریت مصرف آب، اصلاح سامانه‌ی آبیاری و الگوی کشت شناسایی و امتیازدهی شد. برای دستیابی به این راه‌کارها، زیرمعیارهای مدیریتی شامل نصب کردن شمارنده‌های حجمی، رویارویی با آب‌کشی غیرمجاز، جداسازی آب آشامیدنی و بهداشتی، توسعه‌ی صنایع کم‌آب‌خواه توصیه می‌شود.

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

## مقدمه

میانگین بارش سالانه در بخش بزرگی از کشور ایران به علت بودن در ناحیه‌ی آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک ناچیز است. در این شرایط به دلیل کمبود منابع آب سطحی، آب‌های زیرزمینی نقشی اساسی در تأمین کردن آب نیازداشته‌ی بهره‌برداران می‌تواند داشته‌باشد (۱۹۹۲). برداشت کردن بی‌رویه‌ی آب از سفره‌های آب زیرزمینی در برخی مناطق موجب افت شدید تراز ایست‌آبی و کاهش منابع آب زیرزمینی شده است. در این شرایط، به کار بردن ابزارهای مدیریتی، نقش مهمی در حفظ ذخایر زیرزمینی دارد. اهمیت نقش مدیریت به‌ویژه از راه تصمیم‌گیری مناسب برای مهار و تعدیل کردن 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. به عبارتی، مدیر با به کار بردن روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند با در نظر گرفتن معیارهای متفاوت تصمیم‌سازی کند (بذرافکن ۲۰۱۴). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چند شاخصی است. روش AHP دربرگیرنده مجموعه‌ی از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری به شیوه‌ی منطقی است، به طوری که 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 به کار برده می‌شود، زیرا معیارهای برنامه‌ریزی و وزن‌دهی آن‌ها را در روشی باز و واضح بررسی می‌کند (دیستگیکرو 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 به کار بردند. سه معیار اصلی مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی و فنی با ۱۲ زیرمعیار به صورت چهارچوب مقایسه‌ی زوجی با هم مقایسه کرده‌شد. نتیجه‌ها نشان داد که آبخوان نوبول در تونس با وسعت ۵۱۶۰ هکتار بهترین و مناسب‌ترین منطقه برای احیا و بازیافت کردن منابع آب

است. این انتخاب بهترین مدیریت و کاهش هزینه را در پی خواهد داشت. هانف و اختصاصی (۲۰۱۵) برای مدیریت کردن منابع آب مهدی‌شهر در استان سمنان، هفت عامل واحدهای سنگ‌شناسی، گسل، شیب، پستی‌وبلندی، زه‌کشی، گیاه‌شناسی و خط‌های هم‌باران را با سه روش سنجش‌از‌دور<sup>۱</sup> (RS)، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> (GIS) و تحلیل سلسله‌مراتبی بررسی کردند. نتیجه‌ها بیش‌ترین اهمیت را برای احتمال وجود آب‌های زیرزمینی این منطقه در عامل‌های سنگ‌شناسی و گسل‌ها به ترتیب با وزن نسبی 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 طیس، 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 فتنی‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) با فرآیند AHP، سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در حوزه‌ی مهدشیر نشان داد که از هفت معیار سنگ‌شناسی، خط‌واره<sup>۳</sup>، 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 سیبب<sup>۴</sup> 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<sup>۵</sup> 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 Hierarchy 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 می‌شود.

5- Cibir River

6- Medan City

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

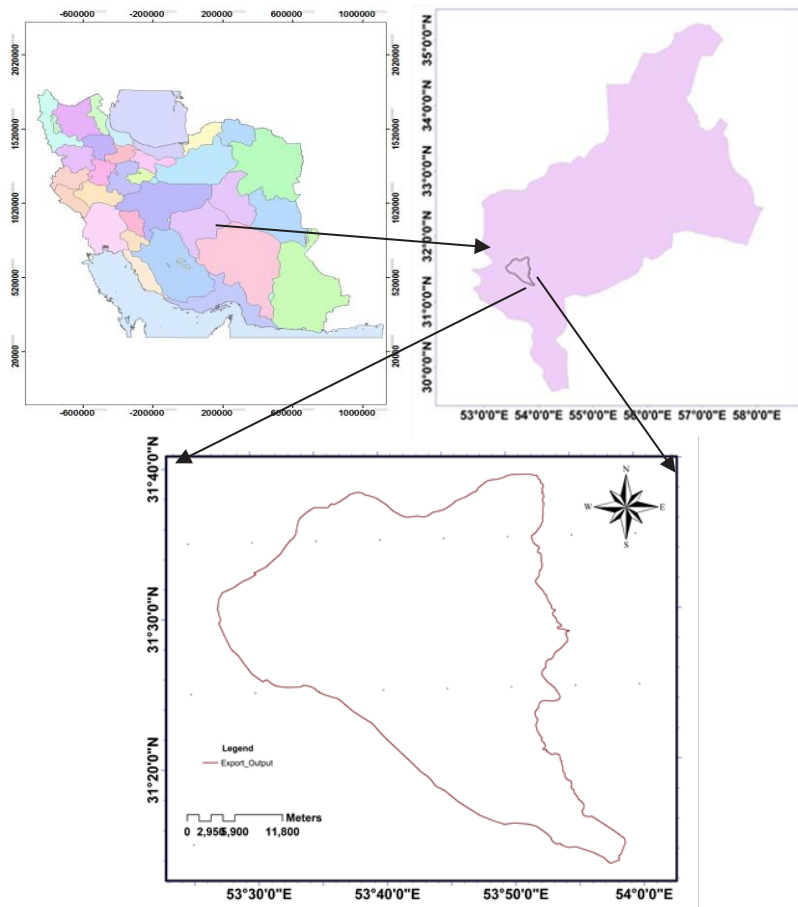
یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این روش که بر مقایسه‌های زوجی بنا شده است امکان بررسی حالت‌های مختلف را به مدیران می‌دهد. اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، ایجاد کردن نمایش تصویری از مساله است که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شود. در تحلیل سلسله‌مراتبی 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 در نهایت ارزش وزنی هر یک از آن‌ها تعیین می‌شود (اصغرپور، ۲۰۰۹). عددی که برای مقایسه‌ی زوجی به کار برده می‌شود از یک تا نه است که سنجشی به معیار است. کاربرد AHP بر پایه‌ی پی‌روی از سه اصل ایجاد ساختار و آراستن آن بر پایه‌ی موضوع، برقرار کردن برتری از راه مقایسه‌ی زوجی، و برقرار کردن سازگاری منطقی از اندازه‌گیری است.

سلسله‌مراتبی را در تصمیم‌گیری مسائل مدیریت شهری تأیید کردند.

دشت ابرکوه، از مناطق مهم کشاورزی و صنعتی در استان یزد است. متأسفانه در دهه‌ی اخیر برداشت بی‌رویه و برداشت بیش‌ازحد از آبخوان این دشت، منجر به وضعیت بحرانی شده است. براساس آخرین گزارش‌های برداشت سازمان آب منطقه‌ی ۷۳۰ چاه با مجموع تخلیه‌ی سالانه ۱۵۷ میلیون مترمکعب و ۳۱ قنات (دایر) با تخلیه‌ی سالانه‌ی ۰/۴۴ میلیون مترمکعب در محدوده‌ی بررسی شده هست. بررسی نمودار آبی این آبخوان در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ بیانگر افت تراز آبخوان به میزان ۱۹/۶۴ متر است. روش AHP تاکنون در سامان‌دهی منابع آب زیرزمینی و تعادل‌بخشی به آن به کار برده نشده است. بنابراین، در این پژوهش با توجه به شرایط موجود، با روش AHP مهم‌ترین عامل‌های مؤثر 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 بررسی شده دشت ابرکوه با وسعت ۱۲۵۰ کیلومترمربع بین طول‌های ۲۰' ۳۹" ۵۲° تا ۵۷' ۳۰" ۵۳° شرقی و عرض‌های ۵۳' ۴۰" ۳۰° تا ۳۱' ۰۶" 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 منطقه‌ی استان یزد، ۲۰۰۹) (شکل ۱). محدوده‌ی پژوهش از دید ساختاری-سوبی در پهنه‌ی ایران مرکزی است، و پی‌سنگ منطقه از سنگ‌های آذرین و دگرگون شده



شکل ۱- محدوده‌ی آبخوان دشت ابرکوه.

سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری، طراحی سؤال، تعیین اولویت‌ها و محاسبه‌ی وزن نهایی، امکان تحلیل کردن حساسیت تصمیم‌گیری در برابر تغییر عامل‌های مسئله را نیز دارد (بذرافکن، ۲۰۱۴). برای انجام دادن مقایسه‌های زوجی، پرسش‌نامه‌ها به صورت چهارچوب (چهارچوب) عددها وارد مدل Expert Choice ۱۱ شد و وزن هر یک از معیارها و طبقه‌ها با روش مقایسه‌ی زوجی در نرم‌افزار محاسبه شد. پس از وارد کردن هر چهارچوب مقایسه‌ی زوجی، مدل نموداری از وزن‌ها به نمایش درآورده، و با دستور ناسازگاری، نرخ ناسازگاری محاسبه و بررسی شد.

#### نتایج

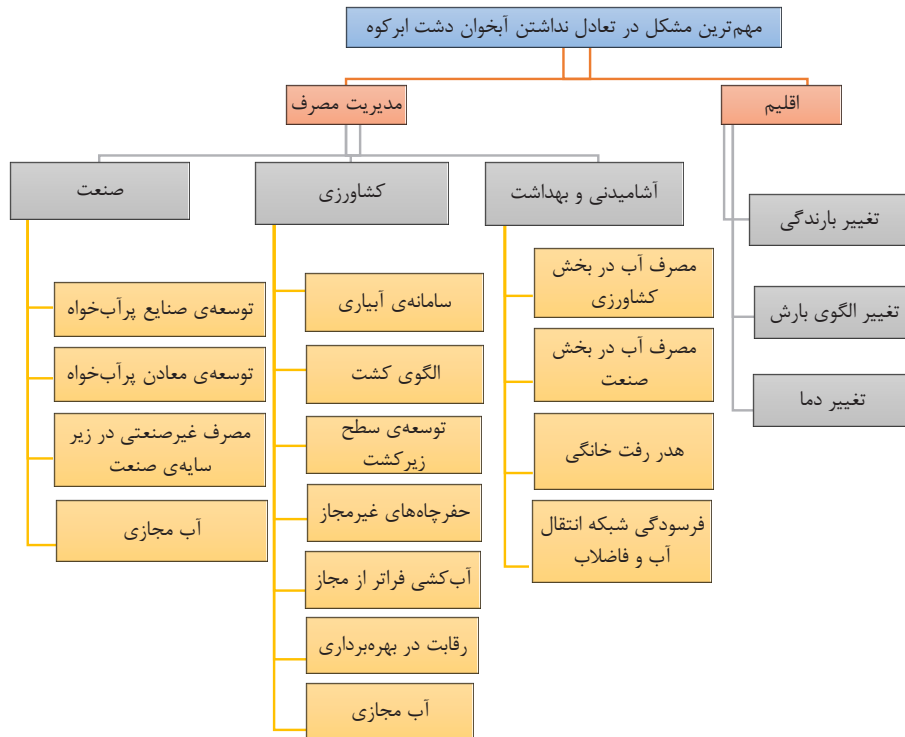
نتیجه‌ی کاربرد نرم‌افزار Expert Choice ۱۱ در تعیین سلسله‌مراتب معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در راه‌کارها و مشکلات منطقه در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شد.

سلسله‌مراتب برای معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در راه‌کارها و مشکلات منطقه برای تعادل بخشی آبخوان دشت ابرکوه طراحی شد. پرسش‌نامه‌ی برای مقایسه‌ی زوجی معیارها و زیرمعیارها آماده شد، و ۲۰ پرسش‌نامه برای نظرسنجی به خبرگان (کارشناسان سازمان آب منطقه‌ی استان یزد و اداری 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

## تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان...



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

## بهترین راه‌کار تعادل‌بخشی برای آبخوان دشت ابرکوه



شکل ۳- درخت سلسله‌مراتبی راه‌کارها برای تعادل بخشی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه در نرم‌افزار Expert Choice11.

برتری داد. جدول ۱ چهارچوب مقایسه‌ی زوجی مهم‌ترین مشکل بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه را نشان می‌دهد.

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 به‌معیار شده‌ی ۷۴/۶۰٪

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

معیارها	اقلیم	مدیریت مصرف آب	وزن به‌معیار شده (%)
اقلیم	۱/۰۰	۰/۳۴	۲۵/۴۰
مدیریت مصرف آب	۲۰/۹۳	۱/۰۰	۷۴/۶۰

بارندگی، تغییر الگوی بارش و تغییر دما با نرخ ناسازگاری ۰/۰۶ اولویت‌بندی شد (جدول ۲).

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

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

زیرمعیارها	تغییر بارندگی	تغییر دما	تغییر الگوی بارش	وزن به‌معیار شده (%)
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

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 بی‌تعادلی بخشی آبخوان دشت ابرکوه داشت (جدول ۳).

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

### جدول ۳- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی معیار مدیریت مصرف آب در آبخوان دشت ابرکوه.

زیرمعیارها	کشاورزی	صنعتی	آشامیدنی و بهداشتی	وزن به‌معیار شده (%)
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

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).

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

## تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان...

**جدول ۴- 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	۰/۳۹	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

(۰/۵۹/۹۰٪)، توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه (۰/۲۳/۷۰٪)، مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعت (۰/۹/۴۰٪)، و صدور مجازی منابع آب (۰/۷/۰۰٪) اولویت‌بندی شد (جدول ۵).

**جدول ۵- چهارچوب مقایسه‌ی زوجی زیرمعیار صنعت در آبخوان دشت ابرکوه.**

زیرمعیارها	توسعه‌ی معدن - های پرآب‌خواه	توسعه‌ی صنعت - های پرآب‌خواه	مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی	صدور آب مجازی (ردپای آب)	وزن به‌معیار شده (%)
توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه	۱/۰۰	۴/۱۰	۵/۸۵	۵/۴۸	۵۹/۹
توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه	۰/۲۴	۱/۰۰	۳/۷۸	۳/۵۷	۲۲/۷
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

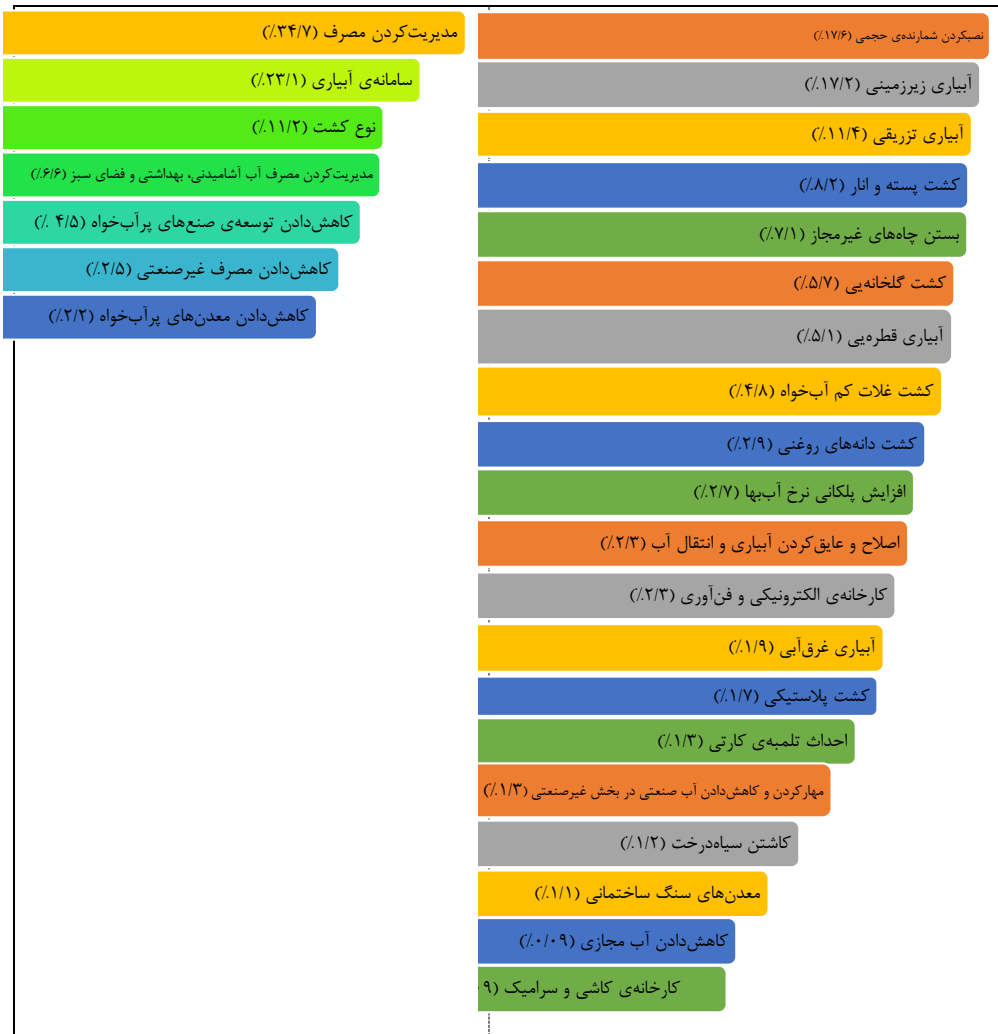
بیش‌ترین اولویت در زیرمعیار صنعتی توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه با وزن ۰/۵۹/۹۰٪ بود و اختلاف آن با دیگر زیرمعیارها زیاد بود (جدول ۵). در زیرمعیار آشامیدنی و بهداشتی، با توجه به وزن دهی مدل با نرخ ناسازگاری ۰/۰۸، اولویت‌بندی زیرمعیارها با ترتیب مصرف آب در کشاورزی و فضای سبز زیر سایه‌ی آشامیدنی و بهداشتی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

**جدول ۶- 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 به‌معیار شده (%)
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

(شکل ۴، راست). زیرمعیارهای مصرف آب در بخش غیرصنعتی در زیر سایه صنعت، هدررفت خانگی و فرسودگی شبکه ی انتقال آب و فاضلاب به ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۷، ۰/۵ و ۰/۱۴٪ ضعیف‌ترین زیرمعیارها است.

بیش‌ترین اهمیت دربی تعادلی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت ابرکوه در کشاورزی با وزن ۷۵/۶۰٪ است (شکل ۴، چپ). آب‌کشی فراترازمجاز با وزن نهایی ۲۲/۶٪، رقابت در بهره‌برداری با وزن ۲۰/۱۰٪ و سامانه‌ی آبیاری با وزن ۱۴/۵۰٪، مهم‌ترین زیرمعیارهای موثر بر بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه است



شکل ۵- 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.

آشامیدنی و بهداشتی و فضای سبز، کاهش توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه، کاهش مصرف غیرصنعتی و کاهش توسعه‌ی معدن‌های پرآب‌خواه به ترتیب بهترین راه‌کارهای تعادل‌بخشی آبخوان دشت ابرکوه (جدول ۷) است. برای شفاف‌سازی مساله و دادن بهترین راه‌کار، به ازای هر کدام از معیارهای منتخب، زیرمعیارهایی برگزیده و اولویت‌بندی زیرمعیارها با روش AHP انجام شد (شکل ۳).

### مدل تعیین بهترین راه‌کار

پس از شناسایی مهم‌ترین مشکلات در آبخوان زیرزمینی منطقه، بهترین راه‌کار مدیریتی برای مهارکردن این مشکلات تهیه شد. برای تعیین و ترسیم 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). سامانه‌ی آبیاری، الگوی کشت، نوع کشت، مدیریت مصرف



## تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان...

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

وزن به- معیارشده (%)	مدیریت مصرف آب آشامیدنی و بهداشتی و فضای سبز	کاهش مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعت	کاهش توسعه‌ی معدن‌های پرآب- خواه	کاهش توسعه- ی صنعت‌های پرآب‌خواه	مدیریت مصرف کشت	الگوی کشت	نوع کشت	سامانه- ی 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	۰/۲۵	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) با وزن ۱۹/۰۰٪، و کشت آزاد (کشت بی‌خاک) با وزن ۶/۹۰٪ است (جدول ۸).

**جدول ۸- 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 (۰/۳۹٪)، تزریقی (۰/۳۷٪)، قطره‌یی (۰/۱۶٪) و غرقابی (۰/۶۴٪) اولویت‌بندی شد (جدول ۹).

**جدول ۹- چهارچوب مقایسه دوتایی زیرمعیارهای سامانه‌ی آبیاری در آبخوان دشت ابرکوه.**

وزن به‌معیارشده (%)	تزریقی	زیرزمینی	قطره‌ای	غرقابی	زیرمعیارها
۶/۴۰	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۲	۱/۰۰	غرقابی
۱۶/۹۰	۰/۳۲	۰/۳۳	۱/۰۰	۴/۳۶	قطره‌ای
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).

جدول ۱۰- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای الگوی کشت در آبخوان دشت ابرکوه.

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

نرخ آب‌بها، اصلاح و عایق‌بندی کردن آبیاری و انتقال آب، و کاهش دادن 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.

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 نصب کردن شمارنده‌ی (کنتور) حجمی، بستن چاه‌های غیرمجاز، افزایش دادن پلکانی

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

وزن به‌معیارشده (%)	کاهش دادن صدور آب مجازی (محصولات پرآب‌خواه)	پلکانی آب بها	اصلاح و عایق‌کردن آبیاری و انتقال آب	بستن چاه‌های غیرمجاز	نصب کردن شمارنده‌ی حجمی	زیرمعیارها
۵۷/۶۰	۹/۰۰	۸/۰۰	۹/۰۰	۴/۰۰	۱/۰۰	نصب کردن شمارنده‌ی حجمی
۲۲/۲۰	۹/۰۰	۳/۸۸	۳/۸۸	۱/۰۰	۰/۲۵	بستن چاه‌های غیرمجاز
۷/۵۰	۶/۰۰	۰/۵۰	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۱۱	اصلاح و عایق‌کردن آبیاری و انتقال آب
۸/۹۰	۴/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۰/۲۵	۰/۱۲	افزایش نرخ پلکانی آب‌بها
۲/۸۰	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱	کاهش دادن صدور آب مجازی (محصولات پرآب-خواه)

سرامیک، فولاد، صنعت‌های غذایی، پتروشیمی و مواد شیمیایی و نساجی اولویت‌بندی شد (جدول ۱۲)

زیرمعیارهای کاهش صنعت‌های پرآب‌خواه نیز با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ با ترتیب صنعت‌های الکترونیکی و فن‌آوری، کاشی و

## تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان...

**جدول ۱۲- 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	
						غذایی	غذایی
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

کاهش مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی با ترتیب مهار کردن و کاهش‌دادن آب صنعت در بخش غیرصنعتی (کشاورزی)، تقویت کردن بازگشت آب در صنعت، جداکردن آب صنعتی و آشامیدنی، کاهش‌دادن تبخیر از حوضچه‌های بازگردانی آب با نرخ ناسازگاری ۰/۱۰ بود (جدول ۱۴).

وزن نسبی ۰/۵۱/۶۰ 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 به ترتیب معدن سنگ‌های ساختمانی، سنگ‌های صنعتی، شن و ماسه، رس و آجرپزی است (جدول ۱۳).

**جدول ۱۳- 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 به‌معیار شده
					(/)
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

**جدول ۱۴- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای کاهش‌دادن مصرف غیرصنعتی در سایه‌ی صنعتی در آبخوان دشت ابرکوه.**

زیرمعیارها	مهار کردن و کاهش‌دادن آب صنعتی در بخش غیرصنعتی (کشاورزی)	تقویت بازیافت آب در صنعت	جداسازی آب صنعتی و آشامیدنی	کاهش تبخیر از حوضچه‌های بازیافت	وزن به‌معیار شده
					(/)
مهار کردن 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

ایستگاهی در جاهای مختلف شهر، توزیع آب آشامیدنی در شهر با بشکه، جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی، و افزایش‌دادن پلکانی قیمت آب بها است (جدول ۱۵).

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

جدول ۱۵- چهارچوب مقایسه‌ی دوتایی زیرمعیارهای مدیریت آب آشامیدنی، بهداشتی و فضای سبز در آبخوان دشت ابرکوه.

وزن به معیار شده (%)	جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی	افزایش دادن آب بهای قیمت پلکانی	توزیع کردن بشکته‌ی آب آشامیدنی در شهر	احداث تلمبه‌های کارت‌ی ایستگاهی در جاهای مختلف شهر	جداسازی خط‌های لوله‌ی آب آشامیدنی و بهداشتی	زیرمعیارها
۵۲/۶۰	۸/۰۰	۷/۰۰	۷/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	جداسازی خط‌های لوله‌ی آب آشامیدنی و بهداشتی
۲۶/۲۰	۶/۸۹	۶/۸۹	۲/۸۸	۱/۰۰	۰/۳۳	احداث تلمبه‌های کارت‌ی ایستگاهی در جاهای مختلف شهر
۱۱/۸۰	۲/۰۰	۶/۸۹	۱/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۴	توزیع کردن بشکته‌ی آب آشامیدنی در شهر
۳/۴۰	۰/۳۴	۱/۰۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	افزایش دادن پلکانی قیمت آب‌بها
۵/۹۰	۱/۰۰	۲/۸۸	۰/۵۰	۰/۱۴	۰/۱۲	جداکردن آب فضای سبز از آشامیدنی و بهداشتی

مهمی در مهار کردن بحران منابع آب زیرزمینی منطقه دارد (شکل ۵). اولویت‌بندی زیرمعیارها در شکل ۵ نیز بیانگر تاثیر نصب کردن شمارنده‌های حجمی، بستن چاه‌های غیرمجاز، جداسازی آب آشامیدنی و بهداشتی، و توسعه‌ی صنعت‌های کم‌آب‌خواه مانند الکترونیک‌ی و فن‌آوری در مهار کردن 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، تجهیز کردن چاه‌ها به شمارنده‌ی حجمی و اصلاح کردن سامانه‌ی آبیاری و الگوی کشت می‌تواند نقش مهمی در مهار کردن بحران داشته باشد.

حساسیت پویای مدل بهترین راه‌کار برای تعادل بخشی 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 به ترتیب با وزن نهایی ۱/۱۰، ۰/۰۹ و ۰/۰۹٪ ضعیف‌ترین زیرمعیارها بود. معیارهای مدیریت مصرف، اصلاح سامانه‌ی آبیاری و اصلاح الگوی کشت، نقش

## تعیین مناسب‌ترین راه‌کار مدیریتی برای تعادل‌بخشیدن به آبخوان...



شکل ۵- 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.

نظر کارشناسان و خبرگان تعیین شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از مدل Expert Choice ۱۱ بررسی شد، و از آن‌جا که ضریب‌های معیارها و زیرمعیارها کم‌تر از ۰/۱ بود، سازگاری قضاوت‌ها تأیید 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 تأثیر 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، پالمن و همکاران ۲۰۱۹). براساس نتیجه‌های این پژوهش، مهم‌ترین مشکلات زمینه‌ساز این بحران به‌ترتیب

### 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 چنین روندی تهدیدی جدی برای توسعه‌ی پایدار دانسته می‌شود (لوه‌ار، ۲۰۰۰؛ میکین، ۲۰۰۲؛ وجریک، ۲۰۱۱؛ راهامان، 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 در نظر گرفتن این مسأله، 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

پس از شناسایی مشکل و تعیین کردن سهم بخش‌های مختلف در ایجاد شدن بحران، راه‌کارهای مناسب برای مهار کردن بحران بررسی و اولویت‌بندی شد. راه‌کارهای مختلف با روش تحلیل سلسله‌مراتبی رتبه‌بندی شد. نتیجه‌ها نشان داد که تعیین کردن راه‌کارهای اصلی، معیارهای مدیریت کردن مصرف آب، اصلاح کردن سامانه‌ی آبیاری و اصلاح کردن الگوی کشت به ترتیب با سهم ۳۴/۷۰، ۲۳/۱۰ و ۱۵/۳۰٪، بیش‌ترین تاثیر را در مهار کردن بحران داشت. نتیجه‌ی پژوهش‌های ابوالقاسمی و همکاران (۲۰۱۶)، کاظمی و همکاران (۲۰۱۶) و قبادیان و همکاران (۲۰۱۶) نیز با راه‌کارهای اولویت‌بندی‌شده در این پژوهش مشابه است. در رتبه‌بندی زیرمعیارها نیز نصب کردن شمارنده‌های حجمی، بستن چاه‌های غیرمجاز، جداسازی آب آشامیدنی و بهداشتی، و توسعه‌ی صنعت‌های کم‌آب‌خواه مانند الکترونیکی و فن‌آوری بهترین پیشنهادهای مدیریتی برای مقابله با بی‌تعادلی آبخوان دشت ابرکوه بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با وجود تغییرات اقلیمی، با مدیریت کردن صحیح منابع آب زیرزمینی دشت ابرکوه به‌خصوص در کشاورزی، تا حدی می‌توان تعادل را به آبخوان منطقه باز گردانید.

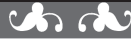
اولویت آب‌کشی فراترازمجاز (۲۲/۵۰٪)، رقابت در بهره‌برداری کشاورزی (۲۲/۱۰٪)، سامانه‌ی آبیاری (۱۴/۵۰٪)، الگوی کشت (۱۲/۵۰٪)، توسعه‌ی سطح زیرکشت (۸/۲۰٪)، کندن چاه‌های غیرمجاز (۶/۰۰٪)، و توسعه‌ی صنعت‌های پرآب‌خواه (۴/۵۰٪) است. از آن‌جاکه دشت ابرکوه منطقه‌ی مهم کشاورزی است و کشاورزی در آن بر پایه‌ی آب‌کشی از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

نتیجه‌های پرسش‌گری با آمار و نمودارهای موجود انطباق نزدیکی نشان می‌دهد. این یافته‌ها با پژوهش‌های محمدی و همکاران (۲۰۱۱)، مهدوی و همکاران (۲۰۱۳) نیکبخت و همکاران (۲۰۱۵) و زارع و همکاران (۲۰۱۷) در سایر دشت‌ها مشابه است. باقری و همکاران (۲۰۱۵) ضمن بررسی مهم‌ترین عامل‌های موثر بر افت کردن سطح آبخوان دشت ابرکوه و ایجاد شدن 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.

- 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, Agricultrayl 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).
- Ghods 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, Kongrybay 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 (Pahjoughesh & 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(

- 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.
- Roostamzadeh 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 makeup? 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).





## ***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 Balancing 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 achieve 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