

## تعیین الگوی کشت دشت کاشمر بر اساس حفظ و نگهداری کیفیت منابع آب زیرزمینی

سمیه شیرزادی لسکوکلایه<sup>۱</sup> - محمود صبوچی صابونی<sup>۲\*</sup> - عباس جلالی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۷

### چکیده

در مطالعه حاضر با بررسی اثر مصرف کودهای شیمیایی و برداشت‌های بی‌رویه بر کیفیت منابع آب زیرزمینی، رتبه‌بندی محدودیت استفاده از زمین‌های کشاورزی برای حدود ۷۰۰ هکتار از اراضی دشت کاشمر تعیین شد. بدین منظور اراضی کشاورزی مورد مطالعه به ۸ زیربخش تقسیم شد و کیفیت و محدودیت استفاده بیشتر از این اراضی با استفاده از معیارها و فاکتورهای در نظر گرفته شده، توسط روش ویکور برنامه‌ریزی چندمعیاره رتبه‌بندی شدند. سپس، با طرح‌ریزی مدل برنامه‌ریزی آرمانی وزنی با در نظر گرفتن ۴ هدف زیست محیطی و اقتصادی به طور همزمان برای هر زیربخش، الگوی بهینه کشت و مدیریتی استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی و دستیابی به کشاورزی پایدار پیشنهاد شد. داده‌های مورد نیاز از اداره جهاد کشاورزی، سازمان آب منطقه‌ای و اداره هواشناسی شهرستان کاشمر در سال ۱۳۸۹ جمع‌آوری شد. نتایج مطالعه نشان داد که برای جلوگیری از صدمات بیشتر به کشاورزی منطقه، اولویت‌بندی محدودیت‌های استفاده از زمین بایستی اجرا شود. نتایج بررسی کیفیت منابع آب کشاورزی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ نشان داد که افزایش جبهه شوری در زیربخش‌های مختلف دشت گسترش یافته و در آینده‌ای نه چندان دور، کشاورزی منطقه آسیب جدی خواهد دید. بنابراین، لازم است که برنامه‌هایی از قبیل مدیریت منابع آب زیرزمینی، تغییر الگوی کشت، افزایش سطح زیرکشت گیاهان مقاوم‌تر به شوری، جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای آلی و توجه به کشاورزی پایدار در منطقه مورد توجه قرار گیرد تا بتوان مدیریت جامعی را در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی منطقه داشت.

**واژه‌های کلیدی:** برنامه ریزی آرمانی، روش ویکور، کشاورزی پایدار، کیفیت آب زیر زمینی

### مقدمه

از منابع آب زیرزمینی به صورت بی‌رویه افزایش یافته به طوری که آب به عنوان عامل محدودکننده و بازدارنده توسعه پایدار به خصوص در بخش کشاورزی شده است، علاوه بر این، خشک‌سالی‌های پی‌درپی نیز منابع آب را محدودتر ساخته و کم آبی به صورت بحران نمایان شده است (۲). با وجود مشکل کم آبی هنوز هم فرهنگ سنتی بر مصرف آب حاکم است به این معنی که نزد بیش‌تر کشاورزان آب به عنوان کالای اقتصادی در نظر گرفته نمی‌شود (۲). وضعیت آب و هوایی دشت کاشمر، میزان بارندگی، نفوذپذیری، خصوصیات خاک، شیب و برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، کیفیت زیست محیطی منبع طبیعی مورد استفاده را تحت تأثیر قرار داده است (۱). بنابراین، حفاظت از منابع آب زیرزمینی با استفاده از محدودیت‌های استفاده از زمین‌های کشاورزی، استراتژی مناسبی است که باید بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس لازم است که رتبه بندی استراتژی‌های محدودیت استفاده از زمین برای زیربخش‌های مختلف حوضه آبریز کاشمر که از کوه‌های شمالی آن سرچشمه می‌گیرد با درجات مختلفی از اثرات بالقوه روی کیفیت زیست محیطی منابع آب زیرزمینی (چاه‌ها) و زمین‌های کشاورزی

با توجه به شرایط اقلیمی، توزیع بارندگی، جهت شیب زمین، موقعیت جغرافیایی و قرارگرفتن ایران در ردیف کشورهای خشک جهان، آب در ایران یکی از عوامل محدودکننده توسعه محسوب می‌شود. فقدان سیستم‌های بهینه توزیع، نامناسب بودن الگوهای مصرف آب در کشور، بی‌توجهی به موازین زیست محیطی، اتلاف و ضایع شدن کمی و کیفی این عنصر حیات بخش، در بسیاری از مناطق کشور مشاهده می‌شود. از این رو توجه بیشتر به این مسائل قبل از بحرانی شدن وضعیت در این مناطق الزامی به نظر می‌رسد (۱). کشاورزی از دیرباز به عنوان زیربنای اقتصادی شهرستان کاشمر مطرح بوده و هم اکنون نیز هماهنگ با توسعه سایر فعالیت‌ها، متحول گردیده است. اما، در سال‌های اخیر بر اثر رشد بی‌رویه جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی و محصولات کشاورزی، برداشت آب به ویژه

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل  
\* - نویسنده مسئول: (Email: saboohi@uoz.ac.ir)

۳- کارشناس ارشد زراعت

یک انرژی تجدید شدنی و مهم در منطقه کاتالکا در استانبول است. نمونه پژوهش‌های برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی، تعیین الگوی بهینه کشت و مدل برنامه‌ریزی آرمانی (GP<sup>۱</sup>) نیز شامل موارد زیر می‌باشند. حاجی بیروس و همکاران (۱۲) با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره اهداف متضادی را که در تخصیص آب سد پلاستیراس یونان وجود دارد را بررسی و اثرات متقابل آن‌ها را در تعیین مقدار آب لازم برای حداکثر کردن مطلوبیت مصرف کنندگان بیان کردند. هیون و همکاران (۱۳) به منظور مدیریت حوزه آبریز سیر دریا مدلی را با هدف مدیریت پایداری که تقاضای همه مصرف کنندگان را پاسخ دهد ارائه نمودند. آن‌ها دلیل اصلی مشکلات زیست محیطی در دریای آرال را ضعف مدیریتی در منابع آب حوزه‌های آبریز آمودریا و سیر دریا بیان کردند. شیرزادی و صبوخی (۴) میزان تخصیص بهینه آب منطقه ساوجبلاغ را در سال‌های خشک، متوسط و مرطوب، با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه تعیین و درصد تغییرات آن را با شرایط موجود مقایسه نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که سطح زیرکشت در سال خشک به طور محسوسی کمتر از سال مرطوب و مقادیر بهینه پمپاژ در ماه‌های مختلف سال کمتر از میزان پمپاژ فعلی منطقه می‌باشد. ضیایی و صبوخی (۵) بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی با رویکرد حد تغییرات مجاز را در نیشابور بررسی نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها با توجه به سناریوها و آرمان‌های در نظرگرفته شده در مدل، جهت دستیابی به آرمان‌های بالاتر، نشان داد که سطح زیرکشت محصولات ذرت دانه‌ای و سیب زمینی نسبت به وضعیت موجود بایستی افزایش و گندم و جو کاهش یابد.

شهرستان کاشمر در جنوب غربی استان خراسان رضوی و در حاشیه شرقی دشت کویر واقع شده است. میزان ریزش‌های جوی در شهرستان کاشمر ۶۸۰ میلیون مترمکعب در سال است که در حدود ۴۸۳ میلیون مترمکعب (۷۱ درصد) به صورت مستقیم تبخیر شده و حدود ۱۵۶ میلیون مترمکعب (۲۳ درصد) به صورت روان آب سطحی و ۴۱ میلیون مترمکعب (۶ درصد) به سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ می‌کند. تنوع محصولات کشاورزی در این شهرستان زیاد بوده و انواع محصولات مناطق نیمه گرمسیری و معتدل در آن کشت می‌شود (۲). آب‌های زیرزمینی، منبع غالب آب در بخش را شامل می‌شود و میزان تخلیه آب بسیار بیشتر از میزان تغذیه آن است به طوری که متوسط افت سطح آب‌های زیرزمینی در شهرستان کاشمر بیش از یک متر در سال گزارش شده است (۲). این شهرستان یکی از مناطق بحرانی از نظر کمبود منابع آبی است و به تدریج بر میزان مشکلات آن افزوده می‌شود افزون بر آن، با بحران منابع آب و تبعات حاصله از آن مواجه خواهد شد. عوامل موثر در تغذیه سفره آب‌های زیرزمینی شامل نفوذ بارندگی در سطح حوضه، جریان‌های سطحی ورودی از حوضه‌های

طرح‌ریزی شود. از آنجایی که ارزیابی تخریب و زیان بالقوه به منابع آب زیرزمینی بر اثر استفاده از زمین‌های کشاورزی بر اساس چندین معیار اندازه‌گیری و بیان می‌شود، روش تجزیه و تحلیل چندمعیاره به عنوان تکنیکی برای بررسی مشکل عدم کیفیت و آسیب به منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت. در تجزیه و تحلیل چندمعیاره هیچ جوابی به طور همزمان همه معیارها را تأمین نمی‌کنند بلکه یک راه‌حل توافقی برای یک مسئله با معیارهای متضاد می‌تواند در شناسایی یک جواب قابل قبول به تصمیم‌گیرنده کمک نماید. در این مطالعه از روش ویکور<sup>۱</sup> استفاده شد که این روش، بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده را برای یافتن اولویت بندی توافقی گزینه‌ها برطبق انتخاب معیارها<sup>۲</sup> توسعه می‌دهد (۱۷ و ۱۹). در سال‌های اخیر، بهینه‌سازی چندمعیاره به طور گسترده در مدیریت منابع زیست محیطی به کار گرفته شده است (۸ و ۱۰). در زمینه کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM<sup>۳</sup>) از طریق روش ویکور در زمینه کشاورزی مطالعات زیادی صورت نگرفته است اما نمونه مطالعاتی که از روش ویکور در سایر زمینه‌های تحقیقاتی استفاده کرده‌اند شامل موارد زیر می‌باشند. کریستبال (۱۱) انتخاب پروژه انرژی تجدید پذیر در اسپانیا را با استفاده از روش ویکور مورد مطالعه قرار داد. در این مطالعه از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>۴</sup>) برای تعیین وزن‌ها و درجه اهمیت معیارهای مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که بیوماس<sup>۵</sup> گیاه، برطبق گزینه‌های در نظر گرفته شده در مدل، بهترین انتخاب می‌باشد. آقاجانی و همکاران (۷) با استفاده از روش ویکور تعدیل شده<sup>۶</sup>، انتخاب ترجیحات استخراج گودال سطحی را بررسی نمودند. در این مطالعه یک مدل ارزیابی بر مبنای داده‌های مقطعی، اعداد فازی و اعداد فاصله‌ای ارائه شد. لیو و همکاران (۱۶) روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تعدیل شده ویکور را برای بهبود کیفیت خدمات هواپیمایی مسافربری خانوادگی در تایوان به کار بردند و در نهایت بهبود برنامه‌های مختلف برای افزایش خشنودی مشتریان بیان کردند. کایا و قهرمان (۱۵) برنامه‌ریزی برای انرژی تجدید پذیر چندمعیاره را با روش توأم سلسله مراتبی و ویکور فازی<sup>۸</sup> در استانبول را برای انتخاب بهترین سیاست انرژی و مکان تولید پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد که از بین گزینه‌های در نظر گرفته شده برای ایجاد توربین‌های بادی، انرژی باد

- 1- VIKOR Method
- 2- Alternative
- 3- Criteria
- 4- Multi Criteria Decision Making
- 5- Analytic Hierarchical Process
- 6- Biomass
- 7- Modified VIKOR Method
- 8- Integrated Fuzzy Vikor & AHP Methodology

9- Goal Programming

طالبی، انگور، زعفران و انار است و آب زیرزمینی استحصالی از چاه‌های نمونه ذکر شده تنها تأمین‌کننده آب این محصولات است. داده‌های مورد نیاز مطالعه از جهادکشاورزی و اداره آب منطقه‌ای شهرستان کاشمر طی سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ و اداره هواشناسی کاشمر طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۹ جمع‌آوری شد.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، برای رتبه‌بندی و شناسایی مناطق بحرانی جهت ادامه فعالیت کشاورزی و استفاده از سفره آب‌های زیرزمینی منطقه، از روش برنامه‌ریزی چندمعیاره از طریق روش ویکور استفاده شد. افزون بر آن، به منظور جلوگیری از نابودی زمین‌های کشاورزی در این مناطق و به طور کلی دستیابی به اهداف مورد نظر مطالعه همچون تعیین الگوی بهینه کشت منطقه، میزان برداشت بهینه آب و کشاورزی پایدار در منطقه، روش برنامه‌ریزی آرمانی نیز طرح‌ریزی شد. اهداف مورد نظر، شامل حداقل کردن شوری و عدم کیفیت آب کشاورزی، حداقل نمودن استفاده از کودهای شیمیایی، حداقل نمودن برداشت منابع آب زیرزمینی جهت کاهش تخریب سفره‌های آب زیرزمینی و حداکثرسازی سود کشاورزان منطقه در نظر گرفته شد که سه هدف اول جزء اهداف زیست‌محیطی و هدف آخر مربوط به اهداف اقتصادی می‌باشد.

### روش برنامه‌ریزی چندمعیاره با استفاده از رهیافت ویکور

از آنجایی که برای تعیین اولویت‌بندی مناطق بحرانی کشاورزی معیارهای متعددی وجود دارند که باهمدیگر در تضاد هستند. بنابراین تعیین یک راه حل توافقی نسبت به یک راه حل بهینه ترجیح داده می‌شود که روش ویکور رهیافت مناسب و قابل کاربرد با تجزیه و تحلیل چندمعیاره است و می‌تواند با انتخاب اولویت‌بندی مجموعه‌ای از معیارهای متضاد، در تشخیص راه حل توافقی و وزن معیارها به کار رود (۱۷، ۱۸، ۲۰، ۲۱). گزینه‌ها یا زیربخش‌های مورد نظر در این مطالعه شامل ۸ منطقه کشاورزی با چاه‌های نمونه مشخص شده شامل کلاته خان، حاجی آباد، ارغا، شوراب نقاب، علی آباد برکال، غرب شوراب، شرق سعدالدین و جعفر آباد است و پنج معیارهای در نظر گرفته شده برای هر زیربخش، شامل عدم کیفیت آب برای ارزیابی اثرات بالقوه زیست‌محیطی دشت کاشمر، بارندگی، نفوذ پذیری، شیب زمین‌های کشاورزی، فاصله هر زیربخش کشاورزی با چاه نمونه تا مبدأ برداری (حوضه آبریز) می‌باشد. از آنجایی که عواملی همچون شیب، میزان بارندگی، فاصله هر زیربخش تا حوضه آبریز می‌تواند نقش مهمی در انتقال عدم کیفیت (شوری) داشته باشند. بنابراین، این عوامل به عنوان معیارهای بررسی کیفیت هر زیربخش انتخاب شدند.

مجاور، جبهه‌های ورودی زیرزمینی، آب‌های انتقال داده شده از حوضه‌های دیگر، نفوذ سیلاب، آب برگشتی از مزارع و پساب‌های شهری و صنعتی است که مقدار آن‌ها بستگی به شرایط مناطق مختلف دشت کاشمر دارد (۱).

در سال‌های اخیر به علت توسعه بهره‌برداری، افت سطح آب زیرزمینی، تغییر جهت جریان آب زیرزمینی بر اثر افزایش شوری و پیش‌روی آن به طرف غرب دشت کاشمر جبهه خروجی به جبهه ورودی تغییر یافته است. با توجه به متوسط بارندگی سالیانه ۲۲۵ میلی‌متر دشت کاشمر، کمبود بارندگی، پراکندگی نامنظم آن و ریزش در فصول غیر زراعی، منبع اصلی تأمین نیاز آبی رو به افزایش منطقه، منابع آب زیرزمینی می‌باشد و حدود ۹۶/۳ درصد آب استحصالی از آب زیرزمینی در بخش کشاورزی، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱).

در این مطالعه به منظور کنترل تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی در اثر اضافه برداشت و اثر آن بر حوضه اصلی آبریز دشت کاشمر، حدود ۷۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی آن در نظر گرفته شد و به ۸ زیربخش با ۸ چاه عمیق تقسیم بندی شد تا تغییرات کیفی این زیربخش‌ها بر اثر برداشت منابع آب زیرزمینی برای آبیاری اراضی بررسی شود. بدین منظور، ۸ حلقه چاه در راستای شمال تا جنوب دشت کاشمر به عنوان نمونه انتخاب شدند که هر کدام از چاه‌ها، زمین‌های کشاورزی واقع در شمال غرب، غرب، جنوب غرب و جنوب دشت کاشمر را آبیاری می‌کنند. این چاه‌ها (واقع در هر زیربخش) بر اساس منطقه تحت آبیاری در راستای شمال به جنوب دشت بر اساس وسعت منطقه تحت آبیاری و اهمیت کشاورزی زیربخش انتخاب گردیدند که به ترتیب شامل کلاته خان، حاجی آباد، ارغا، شوراب نقاب، علی آباد برکال، غرب شوراب، شرق سعدالدین و جعفر آباد می‌باشند.

با توجه به منشأ سفره آب‌های زیرزمینی که از کوه‌های شمال غرب شهرستان کاشمر سرچشمه می‌گیرند، نزدیک‌ترین چاه به حوزه آبریز، چاه واقع در زیربخش کلاته خان است که به عنوان مبدأ نمونه‌برداری انتخاب شد و فاصله دیگر چاه‌ها تا این حوضه آبریز جهت به‌دست آوردن معیارهای مربوط به کیفیت آب و شوری سنجیده شد و با نمونه‌برداری از آب چاه‌های واقع در این مسیر (شمال به جنوب) روند کیفیت آب، میزان آب، دبی، تغییرات فیزیکی و شیمیایی آب و همچنین اثرات کیفیت آب زیرزمینی بر زمین‌های کشاورزی اطراف (آبیاری شده با این آب) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به آن چه گفته شد و محدودیت آب در منطقه، هدف اصلی مطالعه حاضر، تعیین اولویت‌بندی مناطق بحرانی جهت ادامه کشاورزی، الگوهای بهینه کشت محصولات زراعی هر زیربخش و میزان پمپاژ بهینه با در نظر گرفتن کیفیت و حداقل نمودن شوری خاک می‌باشد. مساحت هر منطقه کشاورزی آبیاری شده توسط چاه‌های نمونه در نظر گرفته شده بین ۵۰ تا ۱۰۰ هکتار و محصولات زراعی آن شامل گندم، جو،

جدول ۱- راهنمای کیفیت آب آبیاری

درجه بهره برداری برای آبیاری				معیارهای کیفی آب	
خطرناک	مسأله ساز	بدون مشکل	واحد		
بزرگتر از ۳	۰.۷-۳	کوچکتر از ۰.۷	دسی زمینس برمتر (ds/m)	هدایت الکتریکی (EC)	شوری
بزرگتر از ۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	کوچکتر از ۴۵۰	میلی گرم در لیتر (mg/l)	موادجامد (TDS)	
بزرگتر از ۹	۳-۹	کوچکتر از ۳	ندارد	SAR	سمیت یون
بزرگتر از ۱۰	۴-۱۰	کوچکتر از ۴	میلی اکی والان در لیتر (Meq/L)	کلر (CL)	
محدوده نرمال ۶/۵-۸/۴					اسیدیته (PH)
محدودیت مصرف آب برای کشاورزی زمانی که بیش از ۲/۵ باشد			میلی اکی والان در لیتر (Meq/L)	مازاد کربنات و بیکربنات در هر لیتر نسبت به کلسیم و منیزیم	(R.S.C)

منبع: علیزاده، ۱۳۸۷

$$DI_i = \left[ 10 - 9 \left( \frac{D_{max} - D_i}{D_{max} - D_{min}} \right) \right]^{-1} \times 10 \quad (۲)$$

$$PI_i = \frac{1}{6(TDS_i + EC_i + CL_i + SAR_i + PH_i + R.S.C_i)} \quad (۳)$$

اعداد ۹ و ۱۰ در روابط بالا، برای نرمال سازی و یکسان سازی واحدهای فاکتورها و معیارها به کار می رود که با این کار اعداد نرمال شده بین ۰ و ۱ مرتب می شوند.

الگوریتم اولویت بندی به روش ویکور به صورت مراحل زیر است (۹):

تعیین حداقل  $f_i^-$  و حداکثر  $f_i^*$  مقدار برای ۵ معیار در نظر گرفته شده در تمامی زیربخشها: m بیان کننده زیربخش یا هرمنطقه کشاورزی و n بیان کننده معیارها در هر زیربخش می باشد. در این مطالعه m=۸ و n=۵ در نظر گرفته شدند.

$$f_i^* = \max \left[ (f_{ij}^*) \mid j = 1, 2, \dots, m \right] \quad (۴)$$

$$f_i^- = \min \left[ (f_{ij}^-) \mid j = 1, 2, \dots, m \right] \quad (۵)$$

محاسبه مقادیر مطلوب معیارها ( $S_j$ ) و مقادیر نامطلوب آنها ( $R_j$ ) برای هر زیربخش.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{(f_i^* - f_{ij}^-)}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (۶)$$

$$R_j = \max \left[ W_i \frac{(f_i^* - f_{ij}^-)}{(f_i^* - f_i^-)} \mid i = 1, 2, 3, \dots, n \right] \quad (۷)$$

$f_{ij}$  مقدار معیار  $i$ ام در زیربخش  $j$ ام و  $w_i$  وزن هر معیار است. در این مطالعه براساس نظر کارشناسان فرض شد که همه معیارها اثرات مشابهی بر اهمیت رتبه بندی هر زیربخش دارند. بنابراین، وزن هر معیار  $w_1=w_2=\dots=w_n=1/n=0.2$  انتخاب شد.

معیار عدم کیفیت آب نیز براساس ۶ فاکتور هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیمی (SAR)، اسیدیته (pH)، کلر (CL)، مواد جامد باقیمانده کل (TDS) و کربنات اضافی (R.S.C) تعیین شد. که از بین این فاکتورها، دو عامل هدایت الکتریکی که معرف مجموع املاح محلول در آب و (SAR) که بیان کننده نسبت یون سدیم به یون کلسیم و منیزیم می باشند بیش از سایر فاکتورهای کیفی، جهت مصارف کشاورزی مؤثر هستند. علاوه بر مسئله شوری وجود کربنات اضافی در آب عامل محدود کننده دیگری است که با R.S.C نمایش داده می شود و عبارت است از مازاد کربنات و بیکربنات در هر لیتر نسبت به کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان. در این رده بندی چنانچه مقدار R.S.C بیش از ۲/۵ میلی اکی والان باشد مصرف آب در کشاورزی دارای محدودیت است (۶). از آنجایی که فاکتورهای ذکر شده برای تعیین اهمیت معیار عدم کیفیت و معیارهای دیگر برای تجزیه و تحلیل چندمعیاره، مقیاس های مختلف دارند با استفاده از روابط ۱ تا ۳ نرمالیزه می شوند (۹).

$$XI_i = 10 - 9 \left( \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \right) \quad (۱)$$

(X : R, S, F, TDS, EC, CL, SAR, PH and R.S.C)  
 رابطه ۱ شاخص نرمال سازی معیارهای بارندگی (R)، شیب (S)، نفوذپذیری (F)، مواد معلق در آب (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، میزان کلر (CL)، نسبت جذب سدیمی (SAR)، اسیدیته (pH) و کربنات اضافی (R.S.C) می باشد روابط نرمال سازی برای دو معیار دیگر، فاصله (DI) و عدم کیفیت آب (PI) نیز با استفاده از روابط ۲ و ۳ انجام می شود. PI به صورت متوسط شاخص های مواد معلق در آب، هدایت الکتریکی، میزان کلر، نسبت جذب سدیمی، اسیدیته و کربنات اضافی بیان می شود (۹).

$$\min Z = \beta_1 \frac{n_1}{S} + \beta_2 \frac{p_2}{Q} + \beta_3 \frac{p_3}{F} + \beta_4 \frac{p_4}{W} \quad (14)$$

$$\text{MaxNR} = \sum_c GM(c)X(c) - \sum_c \sum_m \{WREQ(c, m) \times c_w\} - \quad (15)$$

$$C_p \sum_c \sum_m P(c, m) + n_1 - p_1 = S \quad (16)$$

$$\sum_c \sum_m P(c, m) + n_2 - p_2 = W \quad (17)$$

$$\sum N_i X_i + n_3 - p_3 = F \quad (18)$$

$$\sum q_i x_i + n_4 - p_4 = Q \quad (19)$$

$$\sum_c (WREQ(c, m)X_c) \leq \text{Allocation}(m) \quad (20)$$

$$, m = 1, \dots, 11$$

$$\sum_c^6 1P(c, m) \leq \text{pump}(m) \quad (21)$$

$$, m = 1, 2, \dots, 10$$

$$\sum_c^n X(c) \leq T \quad (22)$$

وزن  $\beta_i$  در نظر گرفته شده در مدل به صورت زیر تعریف شد.

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\sum_1^4 \alpha_i}, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (23)$$

$\alpha_i$  وزن نسبی تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده با اهداف شخصی می‌باشد (۲۲). که در این مطالعه برای حداکثر سازی سود ناخالص کشاورزان وزن نسبی ۲ و سه هدف دیگر وزن نسبی ۱ در نظر گرفته شد.

رابطه ۱۴ تابع هدف مدل برنامه‌ریزی چندهدفه وزنی است که به صورت حداقل سازی مجموع وزنی انحرافات مثبت و منفی انحرافات از هر هدف در نظر گرفته شد. محدودیت‌های مدل نیز شامل محدودیت‌های هدف، روابط ۱۵ تا ۱۸ که به ترتیب بیان کننده محدودیت حداکثر سازی سود ناخالص، حداقل سازی پمپاژ آب، حداقل سازی مصرف کود و حداقل نمودن شوری (افزایش کیفیت آب) می‌باشند و محدودیت‌های سیستمی شامل روابط ۱۹ تا ۲۱ است. رابطه ۱۹، کل آب مورد استفاده را نشان می‌دهد که به وسیله محصولات در منطقه در هر ماه مورد استفاده قرار می‌گیرد که از کل آب تخصیصی مجاز در یک ماه معین نایستی تجاوز کند. رابطه ۲۰، Pump(m): پمپاژ مجاز در منطقه آبیاری برای هر ماه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در منطقه، ۱۰ ماه از سال اجازه پمپاژ داده شده است. رابطه ۲۱ نیز بیان می‌کند که مجموع سطح زیر کشت محصولات منطقه باید کوچک‌تر مساوی کل سطح قابل کشت آبی منطقه باشد.

لازم به توضیح است که به دلیل در نظر گرفتن توأم محصولات زراعی و باغی منطقه مورد مطالعه، برای تعیین جواب‌های دقیق‌تر مدل، محدودیت حداکثر کردن درآمد ناخالص کشاورز (رابطه ۱۵) در قالب دو محدودیت شامل محصولات باغی و زراعی به طور جداگانه

محاسبه  $Q_j$  به عنوان معیاری از اولویت بندی برای هر زیربخش.

$$Q_j = \gamma \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - \gamma) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (8)$$

$\gamma$ : وزن مربوط به حداکثر مطلوب و  $(1 - \gamma)$ : وزن مربوط به مقادیر نامطلوب که به طور معمول در مطالعات ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۱۴).

$$S^* = \min \left[ (S_j) \mid j = 1, 2, 3, \dots, m \right] \quad (9)$$

$$S^- = \max \left[ (S_j) \mid j = 1, 2, 3, \dots, m \right] \quad (10)$$

$$R^* = \min \left[ (R_j) \mid j = 1, 2, 3, \dots, m \right] \quad (11)$$

$$R^- = \max \left[ (R_j) \mid j = 1, 2, 3, \dots, m \right] \quad (12)$$

محاسبه مقدار  $Q'_j$  برای هر زیربخش که به عنوان شاخص محدودیت استفاده از زمین‌های کشاورزی است، که با استفاده از رابطه ۱۳ نرمالیزه شده است. بزرگ‌ترین مقدار این شاخص بیان‌کننده اجرای استراتژی رتبه‌بندی محدودیت استفاده از اراضی برای هر زیربخش است.

$$Q'_j = \left[ 10 - 9 \left( \frac{Q_{\max} - Q_j}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) \right]^{-1} \times 10 \quad (13)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m$$

جهت تعیین میزان برداشت بهینه آب کشاورزی، حداقل نمودن ضرر به سفره آب زیرزمینی، کاهش شوری و الگوی بهینه کشت از روش برنامه‌ریزی چندهدفه وزنی<sup>۱</sup> (WGP) با در نظر گرفتن چهار هدف استفاده شد. این اهداف عبارتند از: ۱) حداکثر کردن سود کشاورزان: افزایش سود ناخالص کشاورزان به میزان ۲۰ درصد سود ناخالص فعلی منطقه، ۲) حداقل نمودن شوری و افزایش کیفیت خاک منطقه، ۳) کاهش مصرف کود شیمیایی به میزان ۲۰ درصد مصرف فعلی و ۴) حداقل کردن برداشت آب از چاه: کاهش برداشت آب به میزان ۲۰ درصد برداشت فعلی. از میان اهداف ذکر شده تنها حداکثر کردن سود ناخالص از اهداف مورد نظر کشاورز است و سه هدف دیگر با هدف حداکثر کردن سود کشاورز در تضاد بوده و از اهداف زیست محیطی است. مدل برنامه‌ریزی آرمانی وزنی در این مطالعه برای حداقل کردن انحرافات نامطلوب از اهداف استفاده شد. این انحرافات برای محاسبه به دلیل اختلافات در واحدها نرمال شدند. اهداف در مسئله به صورت مجموع متغیرهای انحرافی مثبت و منفی بیان شدند که این متغیرها بیان‌گر مقادیری هستند که برای نزدیک شدن به هدف باید به آن اضافه یا کم شوند (۲۲). محدودیت‌های سیستمی و محدودیت‌های هدف که دربرگیرنده اهداف متضاد مدل می‌باشند در ساختار کلی مدل برنامه‌ریزی چند هدفه به صورت زیر بیان شدند.

#### 1- Weighted goal programming model

هر ماه، نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود دشت کاشمر در وضعیت مناسبی از نظر میزان بارندگی سالیانه نبوده و متوسط بارندگی سالیانه آن در سال ۱۳۸۸ نسبت به ۱۳۸۷ کاهش یافته است.

در جدول ۲ فاکتورهای مختلف بررسی معیار کیفی آب زیرزمینی برای زیربخش های مختلف در سال های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ ارائه شده است. همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می شود و بر اساس راهنمای کیفی آب آبیاری ارائه شده در جدول ۱، تمامی زیربخش ها به جز حاجی آباد و ارغا دارای هدایت الکتریکی بیشتر از  $0.7 (ds/m)$  آستانه تحمل و سه زیربخش آخر (غرب شوراب، شرق سعدالدین و جعفرآباد) منطقه بحرانی از نظر عدم کیفیت آب زیرزمینی می باشند. بررسی نسبت جذب سدیمی (SAR) در زیربخش های مختلف نیز نشان داد که به دلیل بالا بودن نسبت جذب سدیمی بالاتر از ۳ تمامی زیربخش ها به جز کلاته خان در محدوده بحرانی از نظر شوری هستند. همچنین تمامی مناطق به جز زیربخش ارغا دارای مقدار کربنات اضافی آب کمتر از  $2/5$  هستند که مطلوب می باشد. بررسی میزان کلر (سمیت آب) و مواد جامد باقی مانده نیز نشان داد که بر اساس مقادیر استاندارد کیفیت آب ارائه شده در جدول ۱ غرب شوراب، جعفرآباد و شرق سعدالدین جزء مناطق بسیار بحرانی و عدم کیفیت آب می باشند. همچنین میزان اسیدیت تمامی زیربخش ها در آستانه بحرانی هستند.

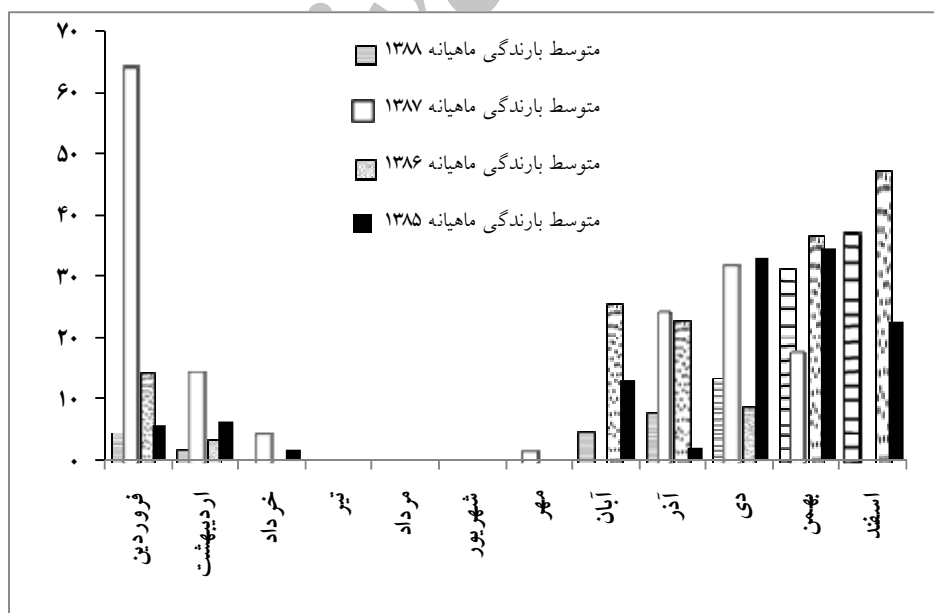
در نظر گرفته شد.

در روابط توضیح داده شده،  $X(c)$ : سطح زیرکشت هر محصول، GM: سود ناخالص برای هر محصول به غیر از هزینه های آب،  $WREQ(c,m)$ : نیاز آبی هر محصول در هر ماه بر حسب مترمکعب/هکتار با راندمان آبیاری ۴۰٪،  $Cw$ : قیمت آب در مترمکعب،  $Cp$ : هزینه پمپاژ یک مترمکعب آب زیرزمینی و انتقال آن،  $P(c,m)$ : حجم آب زیرزمینی پمپاژ شده در منطقه آبیاری برای هر محصول و در هر ماه بر حسب مترمکعب می باشد. در تابع هدف ذکر شده نیز،  $S$ : حداکثر سود ناخالص کشاورزان منطقه با ۲۰٪ افزایش سود،  $W$ : کل آب مورد استفاده با ۲۰٪ کاهش برداشت،  $Q$ : حداکثر مقدار عدم کیفیت و شوری مجاز برای کشاورزی در اراضی و  $F$ : کل کود مورد استفاده در منطقه با ۲۰٪ کاهش مصرف کود شیمیایی است.

## نتایج و بحث

در ابتدا نتایج مربوط به رتبه بندی محدودیت استفاده از زمین های کشاورزی و سپس نتایج حاصل از بهینه سازی مقدار پمپاژ آب و الگوی بهینه کشت با توجه به اهداف مختلف ارائه شد. در نمودار ۱ وضعیت بارندگی منطقه مورد مطالعه طی سال های مختلف نشان داده شده است.

بر اساس نمودار ۱، وضعیت بارندگی در سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۸ در



نمودار ۱- وضعیت بارندگی در ماه ها و سال های مختلف کاشمر

منبع: اداره هواشناسی کاشمر

جدول ۲- فاکتورهای مختلف معیار عدم کیفیت آب کشاورزی در زیربخش های مختلف دشت کاشمر در سال زراعی ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹

فاکتورهای کیفی							سال	زیربخش
کربنات اضافی (R.S.C)	مواد جامد باقیمانده کل (TDS)	کلر (Cl)	اسیدیته (pH)	نسبت جذب سدیمی (SAR)	هدایت الکتریکی (EC)	کالته خان		
۰/۷۱	۴۴۲/۸۹	۲	۸	۳/۲۱	۰/۷۰۳	۱۳۸۷	کالته خان	
۰/۵۱	۵۲۷/۹۴	۴	۸/۲	۲/۸۶	۰/۸۳۸	۱۳۸۹	کالته خان	
۲/۱۳	۳۳۰/۷۵	۰/۷	۸/۳	۴/۹۷	۰/۵۲۵	۱۳۸۷	حاجی آباد	
۱/۶۵	۳۷۲/۳۳	۰/۸	۸/۳	۴/۲	۰/۵۹۱	۱۳۸۹	حاجی آباد	
۲/۶۷	۳۵۱/۶۳	۱/۲	۸/۴	۸/۰۳	۰/۵۰۱	۱۳۸۷	ارغا	
۲/۸	۳۳۹/۵۷	۱	۸/۲	۶/۰۸	۰/۵۳۹	۱۳۸۹	ارغا	
۰/۵۸	۱۳۱۰/۴	۱۴/۲	۸/۲	۹/۷۷	۲/۰۸	۱۳۸۷	شوراب نقاب	
۱/۶۴	۴۹۳/۲۹	۱/۸	۸/۴	۵/۵۳	۰/۷۸۳	۱۳۸۹	شوراب نقاب	
۰/۲۶	۱۵۳۰/۹	۱۲/۸	۸/۲	۹/۶۲	۲/۴۰۳	۱۳۸۷	علی آباد برکال	
۰/۳۱	۱۶/۳۸	۱۷	۸/۱	۱۲/۵۴	۲/۶	۱۳۸۹	علی آباد برکال	
۰/۱۱	۶۹۴/۹	۸۰	۷/۷	۲۲/۱۹	۱/۱۰۳	۱۳۸۷	غرب شوراب	
۰/۱۸	۶۲۰۵/۵	۶۸	۸/۴	۲۴/۷۱	۰/۸۵	۱۳۸۹	غرب شوراب	
۰/۱	۷۸۴۹/۸	۸۱	۸/۱	۲۳/۸۳	۱۲/۴۶	۱۳۸۷	شرق سعدالدین	
۰/۱	۸۱۹۰	۸۰	۸	۲۱/۱۱	۱۳	۱۳۸۹	شرق سعدالدین	
۰/۱	۸۱۹۶/۳	۹۰	۷/۶	۲۴/۵	۱۳/۰۱	۱۳۸۷	جعفرآباد	
۰/۱	۸۸۵۷/۸	۹۴	۷/۹	۲۵/۸۵	۱۴/۰۶	۱۳۸۹	جعفرآباد	

منبع: اداره آب منطقه ای شهرستان کاشمر

جدول ۳- شاخص محدودیت استفاده از زمین های کشاورزی (Q') با استفاده از روش VIKOR برای هر زیربخش

فاصله بارندگی	نفوذپذیری	شیب	آلودگی	ارزش رتبه بندی زمین Q	مقدار نرمال شده رتبه بندی محدودیت زمین Q'	کالته خان
۱۰	۱۰	۱۰	۲/۲۵	۰/۵	۰/۲۱	کالته خان
۷/۱۲	۶/۷۹	۱۰	۳/۱۶	۰/۴۳	۰/۲۸	حاجی آباد
۶/۴۴	۵/۵۳	۷	۳/۰۷	۰/۵۲	۰/۲	علی آباد برکال
۵/۷۶	۵/۰۵	۷	۳/۶۱	۰/۲۸	۱	ارغا
۴/۳۰	۳/۴۴	۱	۳/۶۰	۰/۷۹	۰/۱	شوراب نقاب
۲/۶۶	۲/۴۰	۴	۷/۱۲	۰/۳۷	۰/۳۸	غرب شوراب
۱/۷۳	۱/۴۱	۱	۷	۰/۷۸	۰/۱	جعفرآباد
۱	۱	۱	۶/۵۳	۰/۷۲	۰/۱۱	شرق سعدالدین

منبع: یافته های تحقیق

معیارهای نرمال شده مؤثر بر رتبه بندی محدودیت استفاده از زمین، جهت تعیین اولویت بندی زیربخش های کشاورزی در نظر گرفته شدند که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۳ نشان شده است. همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می شود براساس معیارهای نرمال شده میزان بارندگی، نفوذپذیری، شیب اراضی کشاورزی و فاصله هر زیربخش از حوضه آبریز، زیربخش ارغا نسبت به دیگر زیربخش ها از درجه اهمیت بالاتری جهت اجرای محدودیت استفاده از اراضی کشاورزی با توجه به بیشترین مقدار به دست آمده Q'،

مقایسه فاکتورهای کیفی در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ در جدول ۲ نشان می دهد که مقادیر فاکتورهای معیار عدم کیفیت آب در سال ۱۳۸۹ نسبت به ۱۳۸۷ افزایش یافته است که بیان کننده روند صعودی افزایش عدم کیفیت آب زیرزمینی و شوری بر اثر استفاده های بی رویه کشاورزی از اراضی است و محدودیت استفاده از زمین های کشاورزی را بیش از پیش نمایان می کند. فاکتورهای معیار عدم کیفیت آب زیرزمینی بعد از نرمالیزه شدن با استفاده از رابطه ۳، به عنوان یک معیار عدم کیفیت همراه با سایر

استفاده زمین در رتبه پنجم بوده که در سال ۱۳۸۹ در رتبه چهارم اولویت بندی قرار گرفت که نشان دهنده پیشروی جبهه شور و افزایش عدم کیفیت آب از جنوب به شمال دشت کاشمر می باشد. این امر تمهیداتی را جهت جلوگیری از نابودی کشاورزی منطقه، کاهش عدم کیفیت آب های زیرزمینی و استفاده مناسب و مطلوب از منابع زیرزمینی دشت کاشمر جهت دستیابی به کشاورزی پایدار را می طلبد. از این رو الگوی بهینه کشاورزی برای زیربخش های مختلف دشت کاشمر با استفاده از اجرای مدل برنامه ریزی آرمانی با در نظر گرفتن ۴ هدف اقتصادی و زیست محیطی به طور هم زمان تعیین شد. به عنوان نمونه یکی از نتایج حاصل از اجرای برنامه ریزی آرمانی در تعیین مقادیر بهینه سطوح زیرکشت محصولات مختلف، بهبود عدم کیفیت آب، صرفه جویی در مقدار مصرف کودشیمیایی و میزان برداشت بهینه برای زیربخش کلاته خان در جدول ۵ نشان داده شده است.

همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می شود سطح زیرکشت بهینه محصولات در مقابل الگوی کشت فعلی منطقه ارائه شده است که با اعمال الگوی بهینه کشت، می توان کیفیت آب منطقه را بهبود بخشید و به کشاورزی پایدار نزدیک شد. نتایج مدل برای آرمان حداقل کردن عدم کیفیت آب، انحراف مثبت ۰/۰۸ را نشان داد یعنی با سطح زیرکشت بهینه پیشنهادی، ۰/۰۸ واحد به آرمان عدم کیفیت اضافه می شود اما نسبت به وضعیت کشاورزی با سطح زیرکشت فعلی باعث کاهش عدم کیفیت آب زیرزمینی حدود ۸/۶ درصد می شود. لازم به ذکر است که در مدل در نظر گرفته شده، کیفیت مطلوب آب در منطقه ۲/۵۶ است (۵) که با اجرای سطح زیرکشت بهینه می توان به مقدار مطلوب کیفیت، نزدیک شد.

همچنین آرمان مصرف کود با انحراف مثبت ۵۶۳ به دست آمد که حدود ۱۷/۸۷ درصد در مصرف کود شیمیایی صرفه جویی می شود.

برخوردار می باشد. بنابراین با توجه به نتایج، اولویت بندی زیربخش ها جهت عملی کردن محدودیت استفاده از اراضی کشاورزی، به ترتیب شامل ارغا، غرب شوراب، حاجی آباد، کلاته خان، علی آباد، شرق سعدالدین، جعفرآباد و شوراب نقاب هستند.

جهت مشاهده پیشروی جبهه شوری و عدم کیفیت منابع آب زیرزمینی، روش ویکور براساس اطلاعات سال ۱۳۸۷ در زیربخش های مختلف دشت کاشمر نیز اجرا شد و مقدار نرمال شده ی رتبه بندی محدودیت استفاده از زمین های کشاورزی ( $Q^*$ ) برای سال ۱۳۸۷ نیز بدست آمد که در جدول ۴ در مقایسه با مقادیر به دست آمده سال زراعی ۱۳۸۹ بیان شده است.

#### جدول ۴- مقایسه وضعیت محدودیت زمین های کشاورزی $Q^*$

	سال زراعی ۸۷	سال زراعی ۸۹
کلاته خان	۰/۱۹	۰/۲۱
حاجی آباد	۰/۳۴	۰/۲۸
ارغا	۱	۱
شوراب نقاب	۰/۱	۰/۱
علی آباد برکال	۰/۲۲	۰/۲
غرب شوراب	۰/۳۳	۰/۳۸
شرق سعدالدین	۰/۱۲	۰/۱۱
جعفرآباد	۰/۱۱	۰/۱

منبع: یافته های تحقیق

همان طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، نتایج حاصل از مقایسه وضعیت محدودیت استفاده از زمین های کشاورزی زیربخش های مختلف دشت کاشمر در راستای شمال به جنوب در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ بیان می کند که غرب شوراب در سال زراعی ۱۳۸۷ در رتبه سوم محدودیت بوده و در سال زراعی ۱۳۸۹ به رتبه دوم رسیده است همچنین زیربخش کلاته خان نیز در سال ۱۳۸۷ از نظر محدودیت

#### جدول ۵ - مقادیر بهینه اهداف و سطوح زیرکشت محصولات در منطقه زراعی کلاته خان

فعلی منطقه	بهینه	درصد تغییرات
گندم	۱۰	۲۰-
جو	۱۰	۳۰-
طالبی	۱۰	۲۰-
زعفران	۴۰	۰/۹-
انگور	۳۰	۶۲/۶-
سود ناخالص (میلیون ریال)	۷۴۹/۵۷	۳۴/۸-
برداشت آب (میلیون مترمکعب)	۱/۳۲	۰/۹۹-
کیفیت آب	۲/۸۹	۸/۶-
مصرف کود (هزار کیلوگرم)	۲۶/۴	۱۷/۸۷-

منبع: یافته های تحقیق



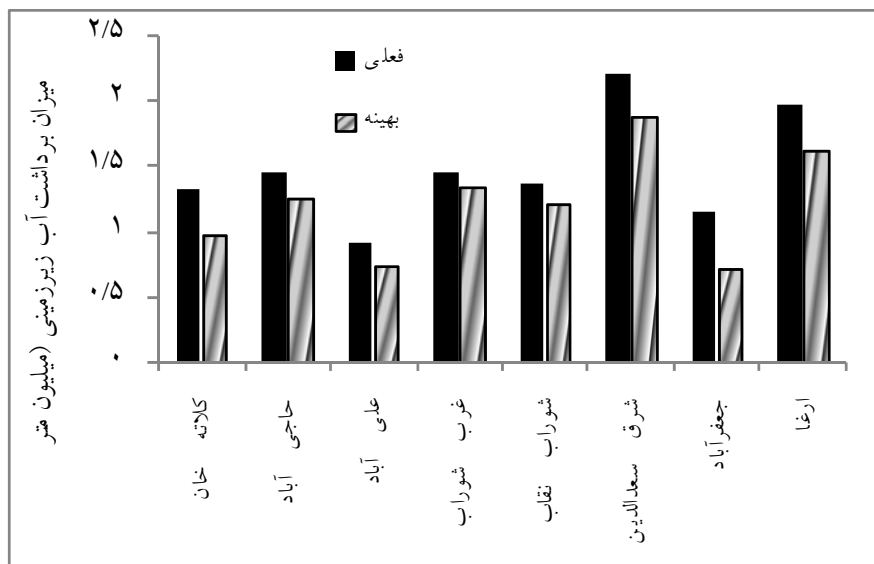
جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و تأمین همه اهداف مورد نظر در مطالعه، پیشنهاد می‌شود جهت استفاده پایدارتر از منابع آبی منطقه، سطح زیر کشت محصولات چند ساله نیز هرچه سریع‌تر تغییر یابد. مقایسه میزان برداشت بهینه و فعلی آب زیرزمینی از چاه‌های مشخص شده دشت کاشمر در زیربخش‌های مختلف در نمودار ۲ نشان داده شده است.

افزون بر آن، آرمان مقدار برداشت آب با انحراف ۰ به دست آمد که بیان‌کننده دستیابی صدها درصد به آرمان مورد نظر یعنی کاهش ۲۰ درصدی میزان پمپاژ آب زیرزمینی است. لازم به توضیح است که نتایج حاصل از اجرای مدل در تعیین الگوی کشت منطقه، با در نظر گرفتن کشاورزی پایدار به دست آمده است و برای برنامه‌ریزی آینده منطقه مناسب می‌باشد که بیان‌گر این واقعیت است که

جدول ۶ - مقادیر بهینه اهداف و سطوح زیر کشت محصولات به تفکیک مناطق زراعی در نظر گرفته شده

ارغاب	جعفر آباد	شرق سعدالدین	شوراب نقاب	غرب شوراب	علی آباد برکال	حاجی آباد	زیر بخش محصول	
							سطح زیر کشت	فعلی
-	-	-	-	-	۵	۸	گندم	
۱۴	۱۲	۲۵	۱۰	۲۰	-	۴	جو	
-	-	-	-	-	-	۱۰	طالبی	سطح زیر کشت
۳۶	-	-	۳۰	-	۱۰	۳۲	زعفران	
۵۰	-	-	-	-	۱۰	۴۶	انگور	
-	-	-	۴۰	-	۱۵	-	انار	فعلی
-	۲۸	۷۵	-	۶۰	۱۰	-	پسته	
۷۲۱/۴۴	۳۳۸/۱۴	۹۰۱/۸۱	۱۱۱۱/۹۶	۷۲۱/۴۴۹	۵۸۲/۵	۷۰۰/۹۴	سود ناخالص (میلیون ریال)	
۱/۹۷	۱/۱۴	۲/۲	۱/۳۵	۱/۴۴	۰/۹۱۱	۱/۴۵	برداشت آب (میلیون مترمکعب)	
۳/۶۱	۷	۶/۵۳	۳/۶۰	۷/۱۲	۳/۰۷	۳/۱۶	عدم کیفیت آب	
۱۹/۲	۸/۸۳	۱۰/۸	۱۹/۲	۶	۱۱/۲۸۰	۲۴/۷۶	مصرف کود (هزار کیلوگرم)	
-	-	-	-	-	۱۰/۸۱	۶/۵۳	گندم	
۲۲/۷۵	۶/۰۱	۱/۸۸	۱۰	۲۵/۳۶	-	۵	جو	
-	-	-	-	-	-	۶	طالبی	سطح زیر کشت
۳۲/۹۴	-	-	۳۰	-	۹/۸۱	۵۰	زعفران	
۲۴/۳۱	-	-	-	-	۳/۳۰	۱۸/۵۶	انگور	
-	-	-	۱۷/۴۲	-	۷/۶۱	-	انار	بهینه
-	۱۲/۳۸	۴/۹۵	-	۲۵۵/۸۹	۴	-	پسته	
۲۵۵/۸۹	۱۲۴/۹۱	۸/۶۴	۵۸۱/۱۹	۱/۳۴	۲۷۹/۹۳	۶۲۴/۹۰	سود ناخالص (میلیون ریال)	
۱/۶۲	۰/۷۲	۵/۷۶	۱/۲۱	۳/۶۱	۰/۷۵۵	۱/۲۵	برداشت آب (میلیون مترمکعب)	
۳/۱	۵/۰۵	۳۶/۳۶	۳	۱/۲۲	۲/۵۶	۲/۵۶	عدم کیفیت آب	
۵/۵۶	۷/۰۶	۳۶۱/۴۱	۱۵/۸۷	۱۲/۳۵	۸/۷۱۵	۱۶/۱۵	مصرف کود (هزار کیلوگرم)	
-	-	-	-	-	۱۱۶	-۱۸/۳۷	گندم	
۶۲/۵	-۴۹/۹	-۷۶/۹	۰	-	-	۲۵	جو	
-	-	-	-	-	-	-۴۰	طالبی	سطح زیر کشت
-۸/۵	-	-	۰	-	-۱/۹	۵۶/۲۵	زعفران	
-۵۱/۴	-	-	-	-	-۶۷	-۵۹/۶۵	انگور	
-	-	-	-۵۶/۴۵	-۵۷/۷	-۴۹/۳	-	انار	درصد تغییرات
-	-۵۵/۷۸	-۵۱/۵	-	-۶۴/۵	-۶۰	-	پسته	
-۶۴/۵	-۶۳/۰۶	-۵۹/۹	-۴۷/۷۲	-۶/۹	-۵۱/۹۴	-۱۰/۸	سود ناخالص (میلیون ریال)	
-۱۷/۷	-۳۶/۸	-۱۸/۱۸	-۱۰/۳۷	-۴۹/۳	-۱۷/۱۲	-۱۳/۷۹	برداشت آب (میلیون مترمکعب)	
-۱۴/۱۲	-۳۷/۸	-۲۴/۲	-۱۶/۶	-۷۹/۶۶	-۱۶/۶	-۱۸/۹۸	عدم کیفیت آب	
-۴۹	-۲۰	-۲۰	-۱/۳	-۳۸/۲۵	-۲۲/۷	-۳۴/۷۷	مصرف کود (هزار کیلوگرم)	

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار ۲- میزان برداشت بهینه و فعلی منابع آب زیرزمینی زیربخش‌های مختلف دشت کاشمر

منبع: یافته‌های تحقیق

بی‌توجهی به مسئله پایداری کشاورزی و منابع زیرزمینی، جبهه شور و عدم کیفیت در حال پیشروی می‌باشد. لذا، چنانچه این روند ادامه داشته باشد در آینده نزدیک علاوه بر اثرات خشک‌سالی با بحران منابع آب و تبعات آن روبه‌رو خواهیم شد. بنابراین برای رفع این مشکل بایستی علاوه بر تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، میزان برداشت را نیز متناسب کرده و برای جبران آن از روش‌های کم آبیاری و افزایش راندمان آبیاری بهره‌گرفت. تداوم برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی به تدریج شوری این منابع را افزایش داده و از کیفیت آن‌ها می‌کاهد که باعث شور شدن خاک نیز می‌شود. بنابراین با به کارگیری الگوی بهینه کشت که براساس برنامه‌ریزی آرمانی طرح‌ریزی شده برای هر زیربخش دشت کاشمر به دست آمد، می‌توان با مقدار بهینه برداشت از منابع آب و کاهش مصرف کود شیمیایی و جایگزینی آن با کودهای آلی، کیفیت زمین‌های کشاورزی و عدم کیفیت آب‌های زیرزمینی را بهبود بخشید و به کشاورزی پایدار در دشت کاشمر دست یافت. لذا پیشنهاد می‌شود علاوه بر آب شوئی خاک و زهکشی اراضی، از گیاهان مقاوم به شوری با مدیریت زراعی مناسب در این مناطق استفاده شود. فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و صنعتی نیز می‌تواند مکمل مناسبی برای تأمین آب کشاورزی علاوه بر استفاده از منابع آب زیرزمینی باشد. افزون بر آن، می‌تولد که منابع آب زیرزمینی را به عنوان یک نهاده مهم و با ارزش اقتصادی بالا تلقی نمود و فرهنگ صحیح استفاده از آن را جهت پایداری و حفاظت منابع ترویج داد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر بهینه برداشت در تمامی زیربخش‌ها از مقدار برداشت فعلی منطقه کم‌تر به دست آمد که بیان‌کننده اتلاف مقدار برداشت اضافی در منطقه و ضرر به سفره‌های آب زیرزمینی است. دیگر نتایج مربوط به اجرای مدل برنامه‌ریزی آرمانی و درصد تغییرات سودناخالص کشاورزان، الگوی کشت فعلی و بهینه، عدم کیفیت آب، میزان مصرف کود شیمیایی و مقدار بهینه برداشت آب زیرزمینی برای هر زیربخش در جدول ۶ در قسمت ضمیمه ارائه شده است.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل برنامه‌ریزی چند معیاره با استفاده از روش ویکور و برنامه‌ریزی آرمانی برای حدود ۷۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی دشت کاشمر اجرا شد. نتایج مطالعه نشان داد که جهت دستیابی به کشاورزی پایدار در دشت کاشمر، کاهش شوری و عدم کیفیت آب، کاهش افت بیشتر آب زیرزمینی و آسیب به سفره آب زیرزمینی اجرای رتبه بندی محدودیت‌های استفاده از زمین‌های کشاورزی و تغییر الگوی کشت ضروری است. نتایج حاصل از اجرای روش ویکور نشان داد که زیربخش ارغا در خطر شوری و عدم کیفیت آب زیرزمینی در برداشت‌های بیش از حد این منبع طبیعی است که بایستی جهت پایداری کشاورزی و منابع آب زیرزمینی این زیربخش، در الگوی کشت آن تجدید نظر نمود. همچنین مقایسه معیارها و فاکتورهای کیفیت آب طی سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ نشان داد که بر اثر

## منابع

- ۱- اداره آب منطقه ای شهرستان کاشمر. (۱۳۸۹). گزارش آب های زیرزمینی شهرستان کاشمر.
- ۲- اداره جهاد کشاورزی کاشمر. ۱۳۸۹. واحد طرح و برنامه.
- ۳- اداره هواشناسی کاشمر. ۱۳۸۹. آمار و اطلاعات.
- ۴- شیرزادی س. و صبوحی م. ۱۳۸۷. کاربرد برنامه‌ریزی چندهدفه در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه ساوجبلاغ. اقتصاد کشاورزی. جلد ۳(۲). ۸۳-۹۸.
- ۵- ضیایی س. و صبوحی صابونی م. (۱۳۸۷). بهینه سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی با رویکرد حد تغییرات مجاز: مطالعه موردی شهرستان نیشابور. اقتصاد کشاورزی. جلد ۳(۱). ۲۱۷-۲۱۹.
- ۶- علیزاده ا. ۱۳۷۸. رابطه آب خاک و گیاه. مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). ۳۵۳.
- 7- Aghajani Bazzazi A., Osanloo M., and Karimi B. 2011. Deriving preference order of open pit mines equipment through MADM methods: Application of modified VIKOR method. *Expert System With Applications* 38:2550-2556.
- 8- Bryan B.A., and Crossman N.D. 2008. Systematic regional planning for multiple objective natural resource management. *Journal of Environmental Management*.88, 1175-1189.
- 9- Chang C.L., and Chung H. 2009. Multi-Criteria analysis Via the VIKOR Method for Prioritizing Land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed. *Journal of Environmental Management*. 90: 3226-3230.
- 10- Chung E.S., and Lee K.S. 2009. Prioritization of water management for Sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. *Journal of Environmental management*. 90, 1502-1511.
- 11- Cristobal J.R. 2011. Multi- criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method. *Renewable Energy*.(36)498-502.
- 12- Hadjibiros K., Katsiri A., and Andreadakis A. 2005. Multi-criteria reservoir water management, *Global NEST Journal*, 7(3): 386-394.
- 13- Heaven S., Koloskov G.B., Lock A.C., and Tanton T.W. 2002. Water resource management in the Aral basin: a river basin management model for Syr Darya National Resources and Infrastructure Division. United Nation. Santiago, Chile. [online]: <http://www.eclac.cl/publications>.
- 14- Kackar R.N. 1985. Off-line quality control, parameter design and the Taguchi method. *J Qual Technol* 17:176-188
- 15- Kaya T., and Kahraman C. 2010. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*. (35)2517-2527.
- 16- Liou J.H., Tsai C., Lin R., and Tzeng G. 2010. A modified VIKOR multiple- criteria decision method for improving domestic airlines service quality. *Journal of Vir Transport Management*.1-5.
- 17- Opricovic S., and Tzeng G.H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 156: 445-455.
- 18- Opricovic S. 1998. Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- 19- Opricovic S., and Tzeng G.H. 2003. Fuzzy multicriteria model for post- earthquake land-use planning. *Natural Hazards Review*4 (2), 59-64.
- 20- Tong L.I., Chen C.C., and Wang C.H. 2007. Optimization of multi-response processes using the Vikor method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.31: 1049-1057.
- 21- Tzeng G.H., Lin C.W., and Opricovic S. 2005. Multi-Criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*.33: 1373-1383.
- 22- Xevi E., and Khan S. 2005. A multi-Objective optimization approach to water management. *Journal of Environmental Management*. 77: 269-277.