نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۲، ص. ۲۹۱-۲۸۲

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.2, May-Jun 2013, p. 282-291

به کارگیری برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی در مدیریت منابع آب

خداکرم سلیمی فرد[1*]- خدیجه مصطفایی دولت آباد[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۰/۷
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۰/۲۴

چکیده

در این تحقیق برای مدیریت منابع آب، از روش برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی استفاده می‌شود. این روش یک مدل چند معیاری پشتیبانی تصمیم‌گیری است و در شرایط عدم اطمینان پاسخ‌های رضایت بخشی را تولید می‌نماید. در این مقاله رضایت بهره‌برداران و نیز پیامدهای زیست‌محیطی بهره‌برداری از منابع آب بررسی می‌شود. همچنین، با تجزیه و تحلیل حساسیت، اثر تغییر در پارامترها بر روی خروجی مدل بررسی می‌گردد. مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای مدیریت منابع آب دشت بوشکان در سال ۱۳۸۸ بکار گرفته شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند، هدف‌های چندگانه را مد نظر قرار دهد. افزون بر این، با تعریف پارامترهای ریسک، تصمیم‌گیرنده می‌تواند سناریوهای گوناگونی از مقدار پارامترها را بررسی نماید.

واژه های کلیدی: مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی، شرایط عدم اطمینان

مقدمه

مدیریت منابع آب از اهمیت بسیار بالایی در توسعه کشاورزی برخوردار است (۲۶). از سه دیدگاه، آب نقشی کلیدی در توسعه پایدار دارد. نخست آنکه همچون یک محصول نهایی به مصرف می‌رسد. دوم آنکه، آب یک عنصر ورودی مهم در بسیاری از کسب و کارها می‌باشد. سومین دلیل این اهمیت، نقش کلیدی آب در زیست جانداران بر روی کره خاکی است (۱۲). توسعه پایدار اجتماعی- اقتصادی در کشورهای کم آب به میزان آب در دسترس و کاهش کیفیت آب محدود می‌گردد. کم‌توانی در زمینه مدیریت منابع می‌تواند برنامه‌های توسعه‌ای را در بخش‌های گوناگون اقتصاد، با ریسک بالایی روبرو سازد. شاید به دلیل همین نقش کلیدی آب در توسعه پایدار است که برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی کشور، آب را دارای ارزش ذاتی و سرمایه‌ای برای بهره‌برداری، پاسداشت و بازیافت دانسته است (۸). در چند سال گذشته، کمبود آب یک مسئله جدی در ایران بوده است. با وجود اینکه آمارهای سازمان‌های آب منطقه‌ای در بسیاری از استان‌ها گواه ناکافی بودن منابع آب زیرزمینی و بیانگر کاهش روزافزون و کمبود آب‌های سطحی است (۴)، اما مصرف آب در بخش کشاورزی هنوز نیز ناکارآمد و اصراف گرایانه است و با هرزرفت فراوان همراه می‌باشد (۱۰).

با توجه به اثر شگرف اقتصادی و زیست‌بومی کمبود آب و نیاز به تصمیم‌گیری کارآمد در مدیریت منابع محدود آب، ارائه روش‌های شایسته تصمیم‌گیری به منظور کنترل مصرف بالای آب در آبیاری مورد توجه قرار گرفته است (۱). طراحی و انتخاب روش‌های بهبود یافته آبیاری اجازه می‌دهد تا منابع آبی با بازده بالا و توزیع یکنواخت بکار گرفته شود. از این رو، شماری از پژوهشگران برای دستیابی به شیوه‌های کارآمد بهره‌گیری از منابع کمیاب آب تلاش نموده‌اند. نصیری قیداری و همکاران (۱۱) با به کارگیری ترکیبی از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تاپسیس، الگویی برای تعیین وزن معیارهای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری کشاورزی پیشنهاد دادند. علیرضایی و همکاران (۴ و ۶) با به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها، کارآیی و عملکرد هشت شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری را ارزیابی نمودند. بر پایه یافته‌های پژوهشی، آنان پیشنهادهایی نیز برای بهبود عملکرد این شرکت‌ها ارائه نمودند. فتحی و زیبایی (۶) با به کارگیری برنامه‌ریزی چند هدفه، مدلی برای برداشت کارآمد از منابع آبی سفره‌های زیرزمینی پیشنهاد دادند. مدل پیشنهادی آنان می‌تواند در گزینش الگوی کشت، راهبرد و روش آبیاری، به کشاورزان کمک نماید تا سود خود را بیشینه نمایند.

به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران در منطقه نیمه خشک و کم

۱- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر
(*- نویسنده مسئول: Email: salimifard@pgu.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

باران خاورمیانه، خشکسالی یک تهدید همیشگی برای کشور است. بابایی (۱) با بررسی پدیده خشکسالی و پیامدهای اثرگذار آن، راه حل‌ها و پیشنهادهایی برای مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی پیشنهاد داده است.

کمیابی آب و مسایل هم پیوند با بهره‌گیری کارآمد از منابع کمیاب آب در آبیاری زمین‌های کشاورزی در کانون توجه شماری از پژوهشگران دیگر کشورها نیز بوده است. مدیریت حوضه آبریز رودخانه یکی از مسئله‌های پیچیده تصمیم‌گیری شناخته شده است. زوی و خان (۳۶) برای مدیریت برداشت آب شهری و کشاورزی از حوضه آبریز رودخانه، یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه دادند. هدف آنان کمینه سازی ریسک‌های مربوط به نیازمندی‌های تولید در بخش کشاورزی بود به گونه‌ای که بتوان شرایط نامطمئن آب و هوایی و نیز تغییر در سیاست‌های دولتی و تقاضا را در نظر گرفت.

یکی از جنبه‌های پرهوادار پژوهش در زمینه مدیریت منابع آب، بررسی سیاست‌های دولت و تأثیر آن‌ها بر منابع آب است. شمار زیادی از پژوهش‌ها از جمله پژوهش بشیر و همکاران (۱۵)، چانگ و همکاران (۱۸)، هیپل (۲۵)، چانگ و همکاران (۱۹)، مقصود و همکاران (۳۱)، جیراج و ودولا (۲۷)، ضرغامی و زیداروفسکی (۳۷)، براوو و گونزالز (۱۶) بر ارائه روش‌هایی برای تخصیص کارآ و مدیریت کارآمد منابع آب تمرکز نموده‌اند.

گو و همکاران (۲۴) برای مدیریت منابع آب در شرایط نبود اطمینان، یک مدل برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای تصادفی فازی ارائه دادند. آنان نشان دادند که روش پیشنهادی می‌تواند دگرگونی در سیاست‌های دولتی و تاثیر آن‌ها بر منابع آب را مدل نماید. همچنین، با بررسی سناریوهای گوناگون، مدل پیشنهادی می‌تواند بهترین رویکرد مدیریتی برای بهره‌گیری از منابع کمیاب آب را تعیین نماید. لی و همکاران (۲۸) یک مدل دو مرحله‌ای برای مدیریت برداشت آب از حوضه آبریز رودخانه ارائه دادند. این مدل، بر پایه برنامه‌ریزی تصادفی، اثر سیاست‌های از پیش تعریف شده دولتی بر منابع آب را بررسی می‌نماید و با در نظر گرفتن شرایط نبود اطمینان، به تصمیم‌گیرنده کمک می‌نماید تا میزان مناسب برداشت آب را تعیین نماید.

لی و همکاران (۲۹) یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای بررسی سیاست‌های مدیریت منابع آب ارائه دادند. بورت و همکاران (۱۷) یک مدل شبیه سازی برای بررسی سیاست‌های گوناگون برداشت آب کشاورزی و آشامیدنی و اثر آن بر میزان آب در دسترس در آینده ارائه دادند. همچنین، آنان توانستند پیامدهای اجتماعی و اقتصادی هر یک از سیاست‌ها را نیز بررسی نمایند.

روسی و همکاران (۳۴) به گستره‌ای از سیاست‌های بالقوه اشاره می‌کند که باید در یک بستر تصمیم‌گیری چند معیاری ارزیابی و دسته‌بندی شوند. این سیاست‌ها در بر گیرنده سنجه‌ها و برنامه‌های اجرایی بلند مدت پیش، هنگام و پس از بروز خشکسالی است. راجو و کومار (۳۳) با به کارگیری تکنیک‌های چند معیاری و فازی یک مطالعه موردی برای انتخاب سیستم آبیاری با عملکرد بهینه در هندوستان انجام دادند. گومز-لیمون و مارتینز (۲۲) در زمین‌های کشاورزی حوضه رودخانه‌ای در اسپانیا، میزان بهینه آمیخته محصول را تعیین کردند و مدلی ارائه دادند که رفاه کشاورزان منطقه را بیشینه می‌کند. براوو و گونزالز (۱۶) در زمینه کنترل منابع آب سطحی و زیرزمینی یک مدل تصمیم‌گیری برای شرایط نبود اطمینان ارائه دادند. رویکرد آنان بر پایه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی است که با رویکردهای پیشین در زمینه تخصیص و کنترل منابع آب، متفاوت است. برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی، یک رویکرد بر پایه ریسک‌پذیری در شرایط نبود اطمینان است. این رویکرد تغییرپذیری چندین هدف را در نظر می‌گیرد و ماتریس‌های تغییرپذیری به وسیله ضریب ترجیح تصمیم‌گیرندگان و ضرایب ریسک‌پذیری مربوط به هدف‌ها، موزون می‌گردند. صبوحی و همکاران (۳) با استفاده از یک مدل ریاضی راه‌کارهای مختلف مدیریت منابع آب را تجزیه و تحلیل نمودند و استفاده از سیاست‌های مناسب مالیاتی را برای کنترل بهره‌برداری از منابع آب پیشنهاد دادند.

با بررسی پیشینه پژوهش، آشکار می‌گردد که مسئله مدیریت منابع آب یکی از حوزه‌های جذاب پژوهشی است. اهمیت این موضوع در مناطقی مانند استان بوشهر که کم باران هستند و با کمبود منابع غنی آب زیرزمینی روبرو می‌باشند، دو چندان می‌شود. در این پژوهش با توجه به اهمیت مدیریت منابع آب و نیاز استان بوشهر، با استفاده از رویکرد پیشنهادی (۱۶)، یک روش علمی برای مدیریت بهینه منابع آب در استان بوشهر پیشنهاد می‌گردد. ساختار این مقاله بدین صورت می‌باشد که در بخش ۲، روش شناسی پژوهش شرح داده می شود. در بخش۳، مطالعه موردی پژوهش تشریح و مدل‌سازی می‌گردد، و در بخش ۴ نیز یافته‌های حل مدل و تحلیل حساسیت آن ارائه می‌شود. در پایان نیز مقاله در بخش ۵ جمع‌بندی می‌گردد.

مواد و روش ها

تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان (۱۳، ۲۱ و ۲۳) یکی از حوزه‌های پرشور پژوهشی در مدیریت، مهندسی و اقتصاد است. دانشمندان پژوهش عملیاتی تلاش می‌کنند با معرفی روش‌های علمی، به تصمیم‌گیرندگان کمک نمایند در چنین شرایطی بهترین تصمیم را بگیرند. یکی از تکنیک‌های برنامه‌ریزی در شرایط عدم اطمینان، برنامه‌ریزی محدودیت شانس (۲۰) می‌باشد. در برخی از شرایط معین، با استفاده از این تکنیک می‌توان برخی مسئله‌های ساده را حل نمود، اما حل بسیاری از مسئله‌های واقعی با این تکنیک بسیار پیچیده و پرهزینه می‌باشد. روش ارزش مورد انتظار فازی تصادفی

(۳۰) رویکرد دیگری است که می‌تواند برای حل مسئله‌های برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی بکار گرفته شود.

برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی یک مدل چند معیاری پشتیبانی تصمیم‌گیری است و در شرایط عدم اطمینان برای مجموعه‌ای از معادلات مربوط به هدف‌های وزن داده شده، جواب‌های رضایت بخشی ارائه می‌دهد. پس زمینه این نوع مدلسازی در تئوری بیشینه سازی مطلوبیت مورد انتظار در شرایط ریسک (۳۲) ریشه دارد. برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی (۱۴) یک رویکرد مبتنی بر ریسک‌پذیری مطلق در شرایط عدم اطمینان است. این روش در مقایسه با روش ارزش مورد انتظار فازی تصادفی، دارای پیچیدگی کمتر است و به کارگیری آن آسانتر می‌باشد (۳۵).

در این پژوهش از برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی استفاده شده است. برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی، تغییرپذیری هدف‌ها را بر اساس ماتریس‌های تغییرپذیری ترجیح تصمیم‌گیرندگان و ضرایب ریسک‌پذیری مربوط به هدف‌ها، وزن دهی می‌نماید.

هدف‌های چندگانه در مدیریت منابع آب

در این تحقیق، دو هدف برای مدل ریاضی مسئله تعریف شده است. نخستین هدف در پیوند با مطلوبیت کشاورزان از آب دریافتی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی است. دومین هدف بر پایه پیامد زیست‌محیطی برداشت آب از منابع آبی تعریف می‌شود. به دیگر سخن، مطلوبیت دوری جستن از پیامدهای ناخواسته زیست‌محیطی برای دومین هدف در نظر گرفته شده است. بنابراین، می‌توان چنین گفت که مسئله چگونگی مدیریت منابع آب است به گونه‌ای که دو هدف ۱- مطلوبیت کشاورزان، و ۲- کاهش زیان‌های زیست‌محیطی بهینه گردد. دو هدف یاد شده اینگونه مدلسازی می‌شوند:

$$Eu_1\left(\sum_{i=1}^{m} q_i x_i\right) \rightarrow u_1(q_0) \qquad (۱)$$

$$Eu_2\left(\sum_{i=1}^{m} p_i x_i\right) \rightarrow u_2(p_0) \qquad (۲)$$

در رابطه ۱، u_1 و Eu_1 به ترتیب مطلوبیت بخش کشاورزی از آب مورد استفاده برای آبیاری و مطلوبیت مورد انتظار آن را نشان می‌دهند. این مطلوبیت به کشاورزان و دیگر سازمان‌های درگیر در بخش کشاورزی مربوط می‌شود. در رابطه ۲ نیز u_2 و Eu_2 به ترتیب مطلوبیت و مطلوبیت مورد انتظار دوری جستن از پیامدهای ناخواسته زیست‌محیطی به دلیل آبیاری زمین‌های کشاورزی را نشان می‌دهند. این مطلوبیت به همه کسانی مربوط می‌شود که پیامدهای ناخواسته زیست‌محیطی ناشی از آبیاری زمین‌های کشاورزی را دریافت می‌کنند. q_i و p_i ، ($i= 1, 2,..., m$) مقادیر تصادفی مربوط به آب در دسترس برای آبیاری و پیامدهای زیست‌محیطی در سال iام می‌باشند. ارزش این دو متغیر بر اساس گزارش‌های کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای در یک دوره زمانی ۹ ساله محاسبه شده است. در رابطه‌های ۱ و ۲، x_i متغیرهای تصمیم هستند و مقدار آن‌ها در بازه ($0 \le x_i \le 1$) تعریف می‌شوند. ارزش متغیر x_i بیانگر ضریب کاهشی است که میزان آب در دسترس برای آبیاری در سال i را محدود می‌کند. پارامترهای q_0 و p_0 به ترتیب مقادیر تعریف شده برای هدف اول و دوم می‌باشند. نماد $\rightarrow$ بدین معنی است که مطلوبیت مورد نظر باید تا حد امکان با مطلوبیت مورد انتظار هدف مربوطه پوشش داده شود.

در این مدل برای هر یک از هدف‌ها یک ضریب ترجیح (α_1 و α_2) در نظر گرفته می‌شود. افزون بر این به هر هدف نیز یک ضریب ریسک‌پذیری نسبت داده می‌شود. برای تعیین α_1 و α_2، از تصمیم‌گیرندگان (در این پژوهش سازمان آب استان) درخواست می‌شود تا تعیین نمایند به چه نسبتی هدف نخست را به هدف دوم ترجیح می‌دهند. برای تعیین ضریب ریسک‌پذیری نیز از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود تا تعیین نمایند که کدام یک از دو بخش کشاورزی و اثرپذیران دارای ریسک بیشتری می‌باشند. این کمیت به صورت نسبتی که بیانگر میزان اهمیت ریسک‌پذیری یک بخش به بخش دیگر است، نشان داده می‌شود.

مدل سازی برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی

همانگونه که بالسترو (۱۴) نشان داده است، شکل قطعی دو رابطه ۱ و ۲، و نیز هدف‌های یاد شده بالا، به صورت مدل برنامه‌ریزی پارامتری درجه دو زیر بازنویسی می‌شود.

$$\min XVX^T \qquad (۳)$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^{m} \bar{q}_i x_i \ge q_0 \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{m} (p_{i\max} - \bar{p}_i x_i) \ge p_0 \qquad (۵)$$

$$0 \le x_i \le 1 \quad \text{for all } i \qquad (۶)$$

همانگونه که رابطه ۵ نشان می‌دهد، ویژگی هر چه بیشتر بهتر برای دوری جستن از پیامدهای ناخواسته زیست‌محیطی در سوی چپ رابطه ۵ نشان داده شده است. در مدل برنامه‌ریزی درجه دو بالا، $X = [x_1, x_2, \ldots, x_m]$ بردار سطری متغیرهای تصمیم، و X^T ترانهاده بردار X است. همچنین، $\bar{q}_i$ و $\bar{p}_i$ به ترتیب ارزش‌های میانگین برای q_i و p_i می‌باشد. آرایه V از جمع موزون دو آرایه V_1 و V_2 ایجاد شده است. V_1 و V_2 به ترتیب به هدف نخست و هدف دوم مربوط می‌باشند.

$$V = w_1 V_1 + w_2 V_2 = \alpha_1 r_1 V_1 + \alpha_2 r_2 V_2 \qquad (۷)$$

در معادله ۷، w_1 و w_2 ضرایب ترکیب هستند. α_1 و α_2 نیز به ترتیب وزن ترجیحی تصمیم‌گیرندگان برای هدف نخست و هدف دوم می‌باشند. r_1 و r_2 نیز به ترتیب ضریب ریسک‌پذیری برای هدف نخست و هدف دوم می‌باشند. با توجه به دو هدفی بودن مسئله، ترکیب وزن‌ها آسان خواهد بود، زیرا مقایسه دو به دو هدف‌ها، کاری سرراست و شدنی است (۲۲). در این پژوهش، محدودیت ۷ نقشی کلیدی در مقداردهی به هر یک از ضرایب کاهشی خواهد داشت. یادآور می‌گردد که بر خلاف روش ارزش مورد انتظار (۳۲)، در مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی محدودیت اینکه حاصل جمع وزن‌ها برابر با یک باشد وجود ندارد و فرض بر نامنفی بودن محدودیت‌ها است.

همانگونه که معادله ۷ نشان می‌دهد، در کمینه سازی رابطه ۳، ماتریس تغییرپذیری V جمع وزن‌دار ماتریس‌های کوواریانس می‌باشد. در این مدل، وزن‌ها با ضریب‌های ریسک‌پذیری مطلق متناسب هستند. در واقع، اگر ریسک‌پذیری برای یک هدف زیاد باشد، آنگاه بخش مربوط به آن در تابع هدف باید وزن زیادی داشته باشد، زیرا تابع هدف، تغییرپذیری (ریسک) را کمینه می‌کند.

مطالعه موردی: برنامه‌ریزی مدیریت آب کشاورزی در دشت بوشکان

دشت بوشکان با پهناوری ۱۳۲ کیلومتر مربع یکی از دشت‌های کشاورزی استان بوشهر است که در بخش خاوری استان جای دارد (۹). آب مورد نیاز برای آبیاری زمین‌های زیر کشت آن از دو رودخانه بوشکان و دهرود به عنوان منابع آب سطحی تامین می‌گردد. افزون بر این دو منبع آب سطحی، بخشی از آب مورد نیاز نیز از منابع زیرزمینی تامین می‌گردد. مسئله سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر تعیین میزان آب برداشتی از منابع آبی به گونه‌ای است که دو هدف ۱ و ۲ برآورده گردد. برآورده‌سازی این دو هدف به بهره‌گیری پایدار از منابع ارزشمند آب سطحی و زیرزمینی رهنمون می‌گردد. مفهوم آب پایدار (۱۶) به نسبتی از آب در دسترس گفته می‌شود که می‌تواند بدون پیامدهای ناخواسته کنونی و آینده بیش از استاندارد تعیین شده در محیط زیست، بهره‌برداری شود. این پژوهش در پی دستیابی به یک راه حل مناسب برای مسئله است تا بتواند به در مدیریت کارآمد و خردگرا بر روی منابع آبی یاریگر باشد.

اطلاعات جغرافیایی

ورودی‌های مورد نیاز در این مسئله دربرگیرنده اطلاعات جغرافیایی، میزان بارندگی سالانه، جریان‌های آب ورودی و آب خروجی به دشت بوشکان و نیز اطلاعات مربوط به گنجایش آب در سفره‌های زیرزمینی می‌باشد. این داده‌ها برای محاسبه میزان آب سطحی و زیرزمینی دشت مورد نیاز است. بر اساس دیدگاه کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر، آب سطحی در دشت بوشکان از دبی پایه رودخانه‌های روشکان و دهرود و نیز روان‌آب به دست آمده از بارش‌های سالانه است. همچنین، آب زیرزمینی نیز از چاه‌ها، کاریزها، و چشمه‌ها به دست می‌آید. میزان این منابع آب زیرزمینی به وسیله سازمان آب منطقه‌ای استان بوشهر برآورد می‌گردد.

متغیرهای تصادفی

در این مدل دو دسته متغیر تصادفی بکار برده می‌شود. دسته نخست، متغیرهای تصادفی q_1، q_2 و q_3 هستند. ارزش‌های این متغیرها برای سال‌های آبی دشت بوشکان به ترتیب در ستون‌های ۲، ۳، و ۴ جدول ۱ نشان داده شده است. این متغیرها به شرح زیر تعریف شده‌اند:

q_1 بیشینه جریان آب سطحی قابل تامین در هر سال است که به بارش سالانه وابسته است.

q_2 بیشینه جریان آب زیرزمینی قابل تامین در هر سال است که به بارش سالانه وابسته است.

q_3 بیشینه جریان آب زیرزمینی مکمل می‌باشد که به کم‌آبی یا پرآبی هر سال وابسته است. برای محاسبه q_3 هر سال، باید q_1 آن سال از بیشینه q_1 کاسته شود.

دسته دوم متغیرهای تصادفی، متغیرهای p_1، p_2 و p_3 می‌باشند. این دسته از متغیرهای تصادفی از حاصل ضرب عامل پیامدهای زیست‌محیطی در متغیر q بدست می‌آید. به دیگر سخن، متغیر p بیانگر پیامد زیست‌محیطی مربوط به هر یک از این مقادیر آب سالانه می‌باشد.

$p_1 = e_1 \times q_1$: که e_1 پیامد زیست‌محیطی به ازای هر واحد q_1 است.

$p_2 = e_2 \times q_2$: که e_2 پیامد زیست‌محیطی به ازای هر واحد q_2 است.

$p_3 = e_3 \times q_3$: که e_3 پیامد زیست‌محیطی به ازای هر واحد q_3 است.

یادآوری می‌گردد که $e_3 = e_2$، زیرا هر دو به منبع آب زیرزمینی مربوط می‌شوند.

بر اساس دیدگاه کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر، از هر ۱ واحد آب زیرزمینی برای مصرف کشاورزی ۰/۲ واحد هرز می‌رود. میزان هرزرفت آب در استفاده از آب سطحی برای کشاورزی نیز ۰/۶ واحد برآورد شده است. بنابراین، $e_1 = ۰/۶$ و $e_2 = ۰/۲$ خواهد بود. در جدول ۱ مقادیر p_1، p_2 و p_3 برای هر سال آبی به ترتیب در ستون‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- برداشت سالیانه آب در استان بوشهر (میلیون متر مکعب)

سال	q_1	q_2	q_3	p_1	p_2	p_3
۱۳۵۸ – ۱۳۵۹	۳۶/۲۵	۱۰۲/۹۶	۶۶/۲۷	۲۱/۷۵	۲۰/۶	۱۳/۳۵
۱۳۵۹ – ۱۳۸۰	۴۰/۰۱	۱۱۴/۹۶	۶۲/۵۱	۲۴/۰۱	۲۳	۱۲/۶
۱۳۸۰ – ۱۳۸۱	۸۹/۵۳	۱۲۴/۱۱	۱۳/۴۴	۵۳/۷۲	۲۴/۸۳	۲/۶۹
۱۳۸۱ – ۱۳۸۲	۶۰/۹۶	۱۳۶/۶۲	۴۲/۰۱	۳۶/۵۸	۲۷/۳۳	۸/۴۱
۱۳۸۲ – ۱۳۸۳	۶۹/۱۳	۱۳۲/۶۶	۳۴/۸۴	۴۱/۴۸	۲۶/۵۴	۶/۷۷
۱۳۸۳ – ۱۳۸۴	۱۰۲/۹۷	۱۲۷/۲۳	۰	۶۱/۷۹	۲۵/۴۵	۰
۱۳۸۴ – ۱۳۸۵	۶۲/۲۵	۱۲۸/۵	۴۰/۷۲	۳۵/۳۵	۲۵/۷	۸/۱۵
۱۳۸۵ – ۱۳۸۶	۴۴/۹۶	۱۳۶/۲۲	۵۸/۰۱	۲۶/۹۸	۲۷/۲۵	۱۱/۶۱
۱۳۸۶ – ۱۳۸۷	۳۹	۱۳۰/۶۸	۶۳/۹۷	۲۳/۴	۲۶/۱۴	۱۲/۸

مأخذ: گزارش سالیانه شرکت آب منطقه‌ای استان بوشهر، ۱۳۸۸

متغیرهای تصمیم

دراین مدل سه متغیر تصمیم، x_i $(i = 1,2,3)$ تعریف شده است. هر یک از این سه متغیر در بازه صفر تا یک هستند. همانگونه که پیشتر گفته شد، متغیر x_i نقش کاهنده دارد و در صورت نیاز مقادیر q_i را کاهش می‌دهد. برای نمونه، اگر پس از حل مدل مقدار x_1 برابر با ۰/۸ گردد، بدین معنی است که برای دستیابی به وضعیت بهینه (آب پایدار) باید تنها ۸۰ درصد از بیشینه آب‌های سطحی در دسترس را در آبیاری کشاورزی دشت بهره‌برداری نمود.

هدف‌ها

پیشتر در بخش دوم مقاله، هدف‌ها تعریف شده‌اند، اما در این جا نیز به طور خاص برای دشت بوشکان هدف‌ها در زیر بازگویی می‌گردند.

هدف مدیریت کشتزارها: برای تعریف این هدف از کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان بوشهر خواسته شد تا با توجه به برآورد نیازهای آبیاری زمین‌های کشاورزی در دشت بوشکان، سطح مطلوبی را برای این هدف تعیین نمایند. بر این اساس، نیازهای سالیانه آبیاری دشت بوشکان ۳۵/۰۷ میلیون متر مکعب تعیین گردید. این هدف در پی افزایش مطلوبیت در بخش کشاورزی است. بیشترین مطلوبیت برای این بخش زمانی به دست می‌آید که کل میزان آب مورد نیاز برای آبیاری کشتزارها تامین گردد، بنابراین، $q = x_1q_1 + x_2q_2 + x_3q_3$.

بر اساس بازخوانی پژوهش‌های پیشین، سابقه‌ای از تعیین ضریب ریسک‌پذیری بخش کشاورزی در استان یا کشور به دست نیامد. به همین دلیل، با رایزنی با متخصصان این بخش، ضریب ریسک‌پذیری بخش کشاورزی ۰/۴ فرض شده است.

هدف کمینه کردن پیامدهای زیست‌محیطی آبیاری: این هدف بر کسانی تمرکز دارد که پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از برداشت آب برای کشاورزی بر آن‌ها تحمیل می‌شود. بنابراین، برای اینگونه افراد نیز یک تابع مطلوبیت در شرایط عدم اطمینان ($p = x_1p_1 + x_2p_2 + x_3p_3$) تعریف می‌گردد. این تابع مطلوبیت به ریسک‌پذیری آنان وابسته است. این هدف در پی بیشینه سازی مطلوبیت مورد انتظار می‌باشد تا بدین وسیله مطلوبیت ناشی از میزان p هدف‌گذاری شده (p_0) تامین گردد. در این مسئله، p_0 بخش قابل قبولی از بیشینه پیامدهای زیست‌محیطی قابل تحمل است و به صورت $(e_1q_1^{max} + e_2q_2^{max} + e_3q_3^{max}) =$ ۲۵/۶۱ $p_0 =$ ۰/۲۵ محاسبه می‌گردد. در این معادله، بر اساس دیدگاه کارشناسان، برای بدست آوردن p_0، بیشینه پیامدهای زیست‌محیطی در ۰/۲۵ ضرب شده است.

فرموله کردن مدل

با توجه به آنچه که در بالا آمده است، مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی برای مسئله در دست را می‌توان نوشت. چنانکه در تابع هدف مدل (رابطه ۳) دیده می‌شود، باید نخست ماتریس V محاسبه گردد. همانگونه که رابطه ۷ نشان می‌دهد، ماتریس V از ترکیب دو ماتریس $V1$ و $V2$ به دست می‌آید. ماتریس کوواریانس $V1$ با استفاده از ستون‌های ۱ تا ۳ جدول ۱ ساخته شده و به هدف نخست مربوط می‌باشد.

$$V_1 = \begin{bmatrix} 492.87 & 65.51 & -492.87 \\ 65.51 & 105.28 & -65.51 \\ -492.87 & -65.51 & 492.87 \end{bmatrix} \quad (۸)$$

به همین سان، ماتریس $V2$ نیز با استفاده از ستون‌های ۴ تا ۶ جدول ۱ ساخته می‌شود. این ماتریس به هدف دوم مربوط می‌باشد.

$$V_2 = \begin{pmatrix} 177.47 & 7.86 & -59.18 \\ 7.86 & 4.21 & -2.62 \\ -59.18 & -2.62 & 19.74 \end{pmatrix} \quad (۹)$$

همانگونه که رابطه ۷ نشان می‌دهد برای محاسبه ماتریس V به ضرایب ترکیب w_1 و w_2 نیاز است که هر یک از دو عنصر ساخته می‌شود. α_1 و α_2 به ترتیب ضریب ترجیح تصمیم‌گیرندگان برای هدف نخست و دوم می‌باشند. بر اساس دیدگاه کارشناسان استان، این دو مقدار یکسان در نظر گرفته شده‌اند. این بدان معنی است که در مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی هر دو هدف از درجه اهمیت یکسانی برخوردار هستند.

پارامترهای r_1 و r_2 به ترتیب ضریب ریسک‌پذیری مربوط به کشاورزان دشت بوشکان و همه افرادی است که پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آبیاری را متحمل می‌شوند. در حل مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی مسئله همانند آنچه که براوو و گنزالز (۱۶) پیشنهاد داده اند، نخست ضریب r_1 برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شد. سپس، بر روی حل به دست آمده تحلیل حساسیت ضریب ریسک‌پذیری انجام گردید.

ضریب ریسک‌پذیری نقاط جمعیتی (r_2) همانند ضریب ریسک‌پذیری دیگر ایرانیان فرض شده است. بر اساس (۲)، ضریب ریسک‌پذیری نقاط جمعیتی ایران ۰/۴۱ برآورد شده است. بنابراین، در این مدل r_2 برابر با ۰/۴۱ فرض می‌شود. اینک ماتریس V به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = 0.4V_1 + 0.41V_2 = \begin{pmatrix} 269.91 & 29.43 & -221.41 \\ 29.43 & 0.343.84 & -27.28 \\ -221.42 & -27.28 & 205.24 \end{pmatrix} \quad (۱۰)$$

با داشتن ماتریس V، تابع هدف ۳ نیز همانند زیر بازنویسی می‌شود:

$$\min XVX = [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \times \begin{pmatrix} 269.91 & 29.43 & -221.41 \\ 29.43 & 0.343.84 & -27.28 \\ -221.42 & -27.28 & 205.24 \end{pmatrix} \times [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \quad (۱۱)$$

همچنین، محدودیت ۵ و ۵ برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی این مسئله به صورت زیر بازنویسی می‌شوند:

$$60.64x_1 + 74.26x_2 + 42.88x_3 \geq 35.07 \quad (۱۲)$$

$$90.46 - 36.39x_1 - 14.85x_2 - 8.58x_3 \geq 22.61 \quad (۱۳)$$

نتایج

با داشتن مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی از مسئله، با به کارگیری بسته نرم‌افزاری لینگو ۱۱ مدل حل گردید و مقدار متغیرهای x_1، x_2 و x_3 به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۱۴ و ۰/۱۹ محاسبه شد. تفسیر این مقادیر چنین است که برای دستیابی به وضعیت بهینه (آب پایدار) می‌بایست تنها ۰/۱۵ از بیشینه آب سطحی و ۰/۱۴ از بیشینه آب زیرزمینی حاصل از بارش در بخش کشاورزی مصرف گردد و نیز ۰/۱۹ از بیشینه جریان آب زیرزمینی مکمل به مصرف بخش کشاورزی اختصاص پیدا کند. همچنین، برای محدودیت مربوط به نخستین هدف، مقدار متغیر کمبود صفر محاسبه شد. این در حالی است که این متغیر برای محدودیت مربوط به هدف دوم، ۶۰/۲۲ محاسبه گردید. به دیگر سخن، حل بهینه مدل نشان می‌دهد که هدف مدیریت در بخش کشاورزی که با مطلوبیت کشاورزان در پیوند است، به طور کامل برآورده شده است. در همین حال، پیامدهای زیست‌محیطی این حل بیشتر از مقدار تعیین شده می‌باشد.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت هدف نخست: یافته‌های این تحلیل حساسیت در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول مقدار هر یک از متغیرهای تصمیم به ازای افزایش یا کاهش به اندازه ۵ میلیون واحد در میزان آب مورد نیاز برای آبیاری کشتزارهای دشت بوشکان آورده شده است.

برای درک بهتر یافته‌های تحلیل حساسیت یکی از سناریوها بررسی می‌شود. اگر مقدار هدف نخست با ۵ واحد کاهش از ۳۵/۰۷ به ۳۰/۰۷ برسد، مقدار متغیر X_1 ، با ۱۳/۳ درصد کاهش، از ۰/۱۵ به ۰/۱۳ می‌رسد. در همین حال، متغیر X_2 نیز ۱۴/۳ درصد، و متغیر X_3 نیز ۱۵/۸ درصد کاهش می‌یابند.

جدول ۲ - تحلیل حساسیت مدل برای هدف نخست.

مقدار هدف نخست	۲۰/۰۷	۲۵/۰۷	۳۰/۰۷	۳۵/۰۷	۴۰/۰۷	۴۵/۰۷	۵۰/۰۷
x_1	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۱
x_2	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۰
x_3	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۷

اما، با افزایش مقدار هدف به ۴۰/۰۷ متر مکعب، مقدار متغیرهای X_1 ، X_2 و X_3 هرکدام به ترتیب ۱۳/۳، ۱۴/۳ و ۱۵/۸ درصد افزایش می‌یابند. به طور کلی، همانگونه که از جدول بر می‌آید، با افزایش مقدار هدف نخست، مقدار متغیرهای X_1 ، X_2 و X_3 به طور پیوسته و به ترتیب با نرخ‌های رشد ۱۳/۳، ۱۴/۳ و ۱۵/۸ درصد روند افزایشی خواهند داشت.

تحلیل حساسیت ضریب ریسک‌پذیری بخش کشاورزی : در آغاز ضریب ریسک‌پذیری کشاورزان منطقه برابر با ۰/۴ فرض شد. اینک، پیامد تغییر در این ضریب بر روی مدل بررسی می‌گردد. جدول ۳ تاثیرات این تغییر را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تحلیل حساسیت مدل برای تغییر در r_1

ضریب ریسک‌پذیری کشاورزان	x_1	x_2	x_3
۰/۲	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۵
۰/۴	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۹
۰/۶	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۱
۰/۸	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۳

همانگونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، با افزایش ضریب ریسک‌پذیری بخش کشاورزی (r_1) مقدار متغیرهای X_1 و X_3 افزایش می‌یابد، اما از مقدار متغیر X_2 کاسته می‌شود. این بدان معنی است که هر چه کشاورزان ریسک‌پذیرتر می‌شوند استفاده از آب سطحی و آب زیرزمینی مکمل نیز بیشتر می‌شود. این در حالی است که با افزایش ریسک‌پذیری، برداشت از سفره آب‌های زیرزمینی کمتر می‌گردد.

تحلیل حساسیت e_1 : در دشت بوشکان منابع آب زیرزمینی با روش‌های نوین آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو، میزان ضریب پیامدهای زیست‌محیطی مربوط به این منبع ۰/۲ در نظر گرفته شده است. اما، از آنجا که آبیاری با استفاده از منابع آب سطحی، به شیوه سنتی (مانند غرقابی) انجام می‌شود، ضریب اثرگذاری پیامدهای زیست‌محیطی به ازای هر واحد از این منبع آب ۰/۶ می‌باشد که اگر از روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای و آبیاری تحت فشار استفاده شود، می‌توان این ضریب را تا ۰/۲ کاهش داد.

با به کارگیری این تغییر، هدف نخست به طور کامل برآورده می‌شود. افزون بر آن، متغیرهای X_1 ، و X_3 به گونه‌ای چشمگیر کاهش می‌یابند و به ترتیب به ۰/۰۱۴ و ۰/۰۷ می‌رسند. در همین حال و با انجام این تغییر، متغیر X_2 افزایش می‌یابد. به طور کلی، این تغییرها به کاهش میزان برداشت آب از منابع یاد شده رهنمون می‌گردد. البته، بایسته است درباره به کارگیری این تغییر، تجزیه و تحلیل هزینه- سود نیز انجام شود.

نتیجه‌گیری

می‌توان برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی را روشی کارآمد در مدیریت منابع آب تلقی کرد که می‌تواند به طور همزمان میان دستیابی به هدف‌های به ظاهر متناقض مانند آبیاری کامل همه کشتزارها و پرهیز از پیامدهای زیست‌محیطی آبیاری نوعی سازگاری ایجاد کند. همچنین با تحلیل حساسیت پارامترهای مدل حاصل از روش یاد شده می‌توان تأثیر تغییرات فناوری سیستم آبیاری بر دستیابی به هدف‌ها و میزان صرفه‌جویی در مصرف منابع آب را به روشنی مشاهده نمود. افزون بر این از بخش تحلیل حساسیت چنین نتیجه‌گیری می‌شود که می‌توان با گزینش راهبردهای مناسب در زمینه بهبود سطح ریسک‌پذیری کشاورزان منطقه، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی را کاهش داد.

منابع

۱- بابایی ه. ۱۳۸۹. نقش مدیریت منابع آب در شرایط خشکسالی. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست.

۲- سلطان محمدی م. ۱۳۸۱. نگاهی به تحقیق پژوهشگر هلندی در مورد فرهنگ ملل و وضعیت فرهنگ ایران۳۲. تدبیر(۱۳۰), ۹۲-۹۸.

۳- صبوحی م.، سلطانی غ. و زیبایی م. ۱۳۸۶. ارزیابی راه کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت نریمانی در استان خراسان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱ (۱): ۴۷۵-۴۸۴.

۴- صفوی ح. ۱۳۵۷. مدیریت یکپارچه آب در محیطهای شهری. مجله آب و فاضلاب(۲۸).

۵- علیرضایی م.، عربی ب. و منعم م. ۱۳۸۲. ارزیابی عملکرد شرکتهای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به روش تحلیل پوشش داده‌ها. نخستین کنفرانس مدیریت عملکرد.

۶- علیرضایی م.، منعم م. و صالحی ا. ۱۳۸۱. ارزیابی عملکرد شرکتهای بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به روش تحلیل پوششی داده‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی, ۶(۴): ۱۱-۲۵.

۷- فتحی ف. و زیبایی م. ۱۳۸۹. عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه: مطالعه موردی

دشت فیروزآباد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی, ۱۴(۵۳), ۱۵۵-۱۶۵.
۸- قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور.۱۳۸۴. معاونت برنامه‌ریزی راهبردی ریاست جمهوری. تهران.
۹- گزارش پیشنهاد ممنوعیت دشت بوشکان. ۱۳۸۵. سازمان آب منطقه‌ای بوشهر. واحد آبهای سطحی و زیرزمینی.
۱۰- مختاری حصاری ح.، زارعی دستگردی آ. و شعبانعلی قمی ز. ۱۳۸۵. بحران کمبود آب در ایران، زمینه ساز ایجاد پارادایم نوین در نظامهای بهره‌برداری از منابع آب کشاورزی. نخستین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز.
۱۱- نصیری قیداری م.، منتظر ع. و مومنی م. ۱۳۸۹. کاربرد ترکیبی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک تاپسیس در تعیین ارزش وزنی معیارها و ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی: نواحی سه گانه شبکه آبیاری سفید رود). نشریه آبیاری و زهکشی ایران, ۴(۲), ۲۸۴-۲۹۶.
۱۲- وزارت نیرو. ۱۳۸۸. گزارش آغازین مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب حوضه‌های شرق کشور. آبفا, دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و. تهران: وزارت نیرو.
13- Anand P. 1993. Foundations of Rational Choice Under Risk. Oxford University Press.
14- Ballestero E. 2001. Stochastic goal programming: A mean-variance approach .European Journal of Operational Research. 131, 476-481.
15- Bashir M., Tanakamaru H., and Tada A. 2009. Spatial and temporal analysis of evapotranspiration using satellite remote sensing data: a case study in the Gezira Scheme .Sudanian Journal of Environmental Information. 13(2), 86-92.
16- Bravo M., and Gonzalez I. 2009. Applying stochastic goal programming: A case study on water use planning. European Journal of Operational Research, 196, 1123-1129.
17- Burte J., Jamin J., Coudrain A., Frischkorn H., and Martins E. 2009. Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies .Agricultural Water Management. 96, 1181-1190.
18- Chang N., Wen C., Chen Y., and Yong Y. 1996. A grey fuzzy multiobjective programming approach for the optimal planning of a reservoir watershed, part A: theoretical development .Water Resources. 30, 2329-2340.
19- Chang N., Wen C., Chen Y., and Yong Y. 1996. A grey fuzzy multiobjective programming approach for the optimal planning of a reservoir watershed. Part B: application .Water Resources. 30, 2341-2352.
20- Charnes A.,and Cooper W. 1959. Chance-constrained programming .Management Science. 6, 73-79.
21- Clemen R. 1996. Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis (2nd ed.). Belmont CA: Duxbury Press.
22- Gomez-Limon J., and Martinez Y. 2006. Multi-criteria modelling of irrigation water market at basin level: A Spanish case study. European Journal of Operational Research, 173(1), 313-336.
23- Goodwin P., and Wright G. 2004. Decision Analysis for Management Judgment (3rd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
24- Guo P., Huang G., Zhu H., and Wang X. 2010. A two-stage programming approach for water resources management under randomness and fuzziness .Environmental Modelling & Software. 25, 1573-1581.
25- Hipel K. 1992. Multiple objective decision making in water resource .Water Resource Bulltain. 28(1), 3-13.
26- Holzapfel E.A., and Marino M.A. 2008. Irrigation in Agriculture. In Encyclopedia of Ecology (pp. 2033-2039). Elsevier B.V.
27- Jairaj P., and Vedula S. 2000. Multireservoir system optimization using fuzzy mathematical programming .Water Resource Management. 14, 457-472.
28- Li W., Li Y., Li C., and Huang G. 2010. An inexact two-stage water management model for planning agricultural irrigation under uncertainty .AgriculturalWater Management. 97, 1905-1914.
29- Li Y., Huang G., and Nie S. 2010. Planning water resources management systems using a fuzzy-boundary interval-stochastic programming method .Advances in Water Resources. 33, 1105-1117.
30- Liu B., and Liu Y. 2003. Expected value operator of random fuzzy variable and random fuzzy expected value models .International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems. 11, 195-215.
31- Maqsood I., Huang G., and Yeomans J. 2005. An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty .European Journal of Operations Research. 167, 208-225.
32- Markowitz H. 1952. Portfolio Selection. Journal of Finance (7), 77-91.
33- Raju K., and Kumar D. 2005. Fuzzy multicriteria decision making in irrigation planning .Irrigation and Drainage. 54(4), 455-465.
34- Rossi G., Cancelliere A., and Giuliano G. 2005. Case study: Multicriteria assessment of .Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE. 131(6), 449-457.

35- Sahoo N., and Biswal M. 2005. Computation of some stochastic linear programming problems with Cauchy and extreme value distributions .International Journal of Computer Mathematics. 82(6), 685-698.
36- Xevi E., and Khan S. 2005. A multi-objective optimisation approach to water management. Journal of Environmental Management, 77, 269–277.
37- Zarghami M.,and Szidarovszky F. 2009. Stochastic-fuzzy multi criteria decision making for robustwater resourcesmanagement .Stochastic Environmental Resource Risk Assessment. 23, 329-339.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.2, May-Jun 2013, p. 282-291

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۲، ص. ۲۹۱-۲۸۲

Applying Stochastic Goal Programming to Water Resource Management

Kh. Salimifard[1]*- Kh. Mostafaee Dowlatabad[2]

Received:28-12-2011
Accepted:13-01-2013

Abstract

In this research, stochastic goal programming is applied in water resource management. It is a multi-attribute decision support model which produces satisfactory solutions in uncertainty conditions. The satisfaction of beneficiary users and ecological impacts are investigated in this paper. Also, using sensitivity analysis, the effects of changes of parameters on the model outputs have been investigated. The stochastic goal programming model has been applied for Booshkan valley in the year 2009. Results show that the proposed model is capable to capture multiple objectives. In addition, having the risk parameters being defined, the decision maker can investigate different scenarios, based on different values for parameters.

Keywords: Water resource management, Stochastic goal programming, Uncertainty conditions

1- Assistant Professor, Department of Industrial Management, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
(*- Corresponding Author Email: salimifard@pgu.ac.ir)
2- PhD Student, Department of Industrial Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran