مدیریت آب سد لار با کاربرد روش برنامه ریزی محدودیت تصادفی غیردقیق

زهرا مقیمی[1*]، فاطمه رستگاری پور[2]
*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربت حیدریه
۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی
zahramoghimi85@gmail.com

چکیده

یکی از ارکان مدیریت منابع آب، بهره برداری بهینه از مخازن سدها به عنوان اصلی ترین منابع آب های سطحی است. تامین آب کشاورزی، تامین بخشی از نیاز آب شرب تهران و انتقال آب به نیروگاه کلان برای تولید انرژی برقابی از اهداف بهره برداری از سد مخزنی لار است. داده های مورد نیاز مطالعه از سازمان آب منطقه ای تهران برای دوره زمانی ۹۲-۱۳۶۳ جمع آوری شد. در این پژوهش از برنامه ریزی محدودیت تصادفی غیردقیق به منظور تخصیص بهینه آب سد لار به بخش های شرب و کشاورزی استفاده شد. این روش براساس ادغام تکنیک های برنامه ریزی بازه ای و برنامه ریزی محدودیت تصادفی است. نتایج حاصل از واسنجی مدل و مقایسه با داده های واقعی نشان داد روش مذکور نسبت به سایر روشهای موجود، نتایج مطلوب تری ارائه می دهد، لذا پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی از این روش برای سدهای دیگر استفاده شود.

واژه های کلیدی: مدیریت آب، برنامه ریزی غیر دقیق، روش محدودیت تصادفی، سد لار

مقدمه

آب یکی از منابع مهم در توسعه کشورها می‌باشد. در طول قرن بیستم، جمعیت جهان سه برابر و میزان استفاده از آب شش برابر شده است. میزان آب قابل دسترس جهان تنها برای جمعیت کنونی با حداقل دسترسی به آب سالم کافی است. توزیع نامناسب از لحاظ مکانی و زمانی و افزایش جمعیت و سرانه مصرف آب، این مسئله را تشدید نموده است(کاسگراو و ریجسبرمن، ۲۰۰۰).

ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم، بطوریکه اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح خشکی های کره زمین را که حدود ۸۶۰ میلی متر تخمین زده می‌شود با متوسط بارندگی سالانه در ایران، که تقریباً رقمی معادل ۲۵۰ میلی متر است مقایسه کنیم، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست. توزیع آب در مناطق جغرافیایی کشور نامناسب است، بطوری‌که در مقیاس کوچکتر قسمت اعظم مناطق آن کویری، خشک و کم آب می باشد. بخصوص اینکه جمعیت ایران با نرخ نسبتاً زیادی در حال رشد است و دیر یا زود ایران نیز در ردیف کشورهای کم آب دنیا قرار خواهد گرفت. با روند کنونی رشد جمعیت و مصرف آب پیش‌بینی می شود در سال ۱۴۰۰ سرانه آب قابل تجدید کشور به کمتر از ۱۲۵۰ متر مکعب در سال برسد که در این صورت با مشکلات زیادی مواجه خواهیم بود. یکی از راههای سازگاری با کم آبی استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره وری آب است(علیزاده، ۱۳۸۹).

یکی از ارکان مدیریت منابع آب، بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها به عنوان اصلی ترین منابع آبهای سطحی است. مخازن با تنظیم جریان رودخانه در امر بهبود توزیع نامنظم آب از نظر زمانی و مکانی، نقش مهمی را در جهت کاهش خسارات ناشی از کمبود آب، ایفا نموده و علاوه بر تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در کنترل سیلاب، تولید برق و جذب توریسم و پرورش آبزیان نقش مؤثری دارند(آمریان، ۱۳۸۰). در یک سد چند منظوره، تعدد اهداف و محدودیت ها و وجود پیوستگی میان عوامل مختلف، موجب می شود بهینه سازی آنها با یکدیگر، در تعارض و رقابت قرار گیرد. لذا بهره برداری مخزن، شامل ایجاد تصمیمات متوالی است که به حل معادلات غیرخطی نیازمند است. استفاده از مدل های ریاضی پویا به دلیل لحاظ نمودن ویژگی های غیرخطی و تصادفی، در بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها طی چند دهه گذشته آغاز شده است(مومنی و رضایی، ۱۳۸۷).

سد لار در فاصله ۳۵ کیلومتری رودهن و ۷۵ کیلومتری شمال شرقی تهران و در نزدیکی پلور در محل تلاقی دو رودخانه لار و دلیچای در دامنه کوه دماوند ساخته شده است(گوهریان و همکاران، ۱۳۹۰). سد لار بر روی رودخانه لار با سطح حوضه آبریزی به مساحت ۶۷۵ کیلومتر مربع و متوسط جریان آب سالانه ۴۸۱ میلیون متر

مربع در استان مازندران قرار دارد(عابدینی و ناصری, ۲۰۰۸). سد لار یکی از سدهای خاکی تأمین کننده آب آشامیدنی حوالی تهران و تأمین کننده آب مورد نیاز آبیاری های کشاورزی منطقه می باشد. این سد از نوع خاکی با حجم عملیات خاکی ۲۱ میلیون مترمکعب به طول تاج ۲۵۰۰ متر و ارتفاع ۱۰۵ متر می باشد. در طراحی هدف بر این بود که آب ذخیره شده در مخزن این سد به وسیله تونلی به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر و قطر۳ متر تا سه کیلومتری دریاچه سد لتیان انتقال یافته و پس از برق گیری در دو نیروگاه کلان و لوارک جهت تغذیه سد لتیان از طریق رودخانه به این دریاچه بریزد. این سد بدلیل اشتباهات صورت گرفته در مراحل شناسایی و طراحی دچار آبگذری بوده و در مواقع پرآبی در هر ثانیه ۱۲ متر مکعب فرار آب داشته و ذخیره آب خود را از دست می‌دهد که نقش مهمی در میزان ذخیره حجم آب مخزن در طول زمان دارد(گوهریان و همکاران، ۱۳۹۰).

پیشینه تحقیق

فتوحی (۱۳۷۳) از مدل برنامه ریزی پویای تصادفی جهت بهره برداری بهینه مخزن سد کرج استفاده کرد. وی برای پیش بینی جریان ورودی آب به سد کرج از نرم افزار HYFA استفاده نمود. وی نتیجه گرفت که اگر بهره برداری از مخزن سد به درستی صورت گیرد، می‌توان حجم دریاچه را به مقدار مناسب و بالا نگه داشت تا در پایان دوره نیز در طبقه بالای مخزن قرار گیرد و در نتیجه ضریب اطمینان برای ذخیره در ماههای گرم افزایش یابد.

جمالی (۱۳۷۶) مساله‌ی تخصیص آب را با استفاده از برنامه ریزی خطی در منطقه ی زیر سد میرزای شیرازی در استان فارس مورد مطالعه قرار داد. وی الگوی بهینه‌ی کشت را در ۶ سناریو، براساس دو سطح راندمان آبیاری و سه سطح حجم آب قابل تخصیص تعیین کرد و قیمت سایه ای آب را، ۲۲۴ ریال برای هر مترمکعب به دست آورد.

ستاری و همکاران (۱۳۸۱) به تخصیص بهینه در مخازن دو منظوره آبیاری- آبرسانی پرداختند. آنان مدل خود را با شرایط کمینه کردن تابع هدف خود در جهت کمینه کردن کمبود سالانه به اعمال قیدهایی چون محدود بودن حجم ذخیره و برداشت های آبیاری و آبرسانی بهینه کردند. مدل آنها براساس قابلیت اعتماد مشخص و بکار بردن قاعده خطی بهره برداری مخزن LDR حل گردید.

چیذری و کرامت زاده (۱۳۸۴) مدیریت سد بازوان شیروان را از طریق تخصیص بهینه‌ی آب بین اراضی زیر سد بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که بالاترین و پایین ترین تغییر در تخصیص فعلی آب نسبت به تخصیص بهینه به ترتیب مربوط به ماههای تیر و فروردین است که بایستی میزان آب تخصیصی در ماه تیر به میزان ۹۵ درصد نسبت به شرایط فعلی افزایش و در ماه فروردین حدود ۶۲ درصد کاهش یابد.

صبوحی و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روش برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای فازی با پارامترهای بازه

ای در شرایط عدم حتمیت به بررسی تخصیص بهینه آب سد طرق بین مصارف شهری و کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد که سود بخش کشاورزی نسبت به تخصیص آب حساس تر است. همچنین دریافتند که در ۶۶ درصد موارد مصرف کننده شهری و در ۱۸ درصد موارد هر دو مصرف کننده دچار کمبود آب خواهند شد.

مقصود و همکاران (۲۰۰۵) به تخصیص بهینه آب برا ی یک سد غیرتنظیمی در بخش جنوبی ایالت کالیفرنیا به سه بخش کشاورزی، شهری و صنعتی پرداخته اند. در مطالعه آنها از روش برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای فازی با پارامترهای بازه‌ای برای طراحی سیستم مدیریت منابع آب این منطقه تحت شرایط عدم حتمیت استفاده شده است. نتایج نشان داده که سود خالص سیستم با استفاده از IFTSP تحت سناریوی اهداف تخصیص آب بهینه سازی شده، $[۳۲۵،۵۷۷]\times۱۰^{۶}$ دلار است.

ویو و همکاران (۲۰۰۶) برنامه ریزی غیرخطی بازه ای را در طراحی سیستم مدیریت ضایعات شهری در مناطقی از هاملتون، انتاریو و کانادا انجام دادند. این مدل از انعطاف پذیری بالایی برای حل مسائل برخوردار بوده و مجموعه جواب قابل قبولی برای مدیریت ضایعات در مناطق نامبرده ارائه داده است.

لی و همکاران (۲۰۰۶) مدل برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای با پارامترهای بازه ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریو های متفاوت بکار گرفتند. آنها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آنها طی ۸۱ سناریو برای سه مصرف کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد. اگر آب وعده داده شده به مصرف کننده در دوره موردنظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش می یابد و اگر رها نشود، مصرف کننده باید آب را از منبع گران تری تهیه کند و یا فعالیتهای خود را کاهش دهد که در دو حالت مصرف کننده ضرر خواهد کرد.

جیانگ و همکاران (۲۰۰۸) روش بر نامه ریزی بازه ای غیر خطی را برای حل مسائل بهینه سازی در شرایط عدم حتمیت معرفی نمودند. در این مدل عدم حتمیت در تابع هدف و محدودیت های غیر خطی وجود دارد. با استفاده از راهکارهای موجود در مطالعه تابع هدف نامطمئن به صورت دو تابع هدف قطعی ارائه می‌شود.

در مطالعه دیگر که توسط بروو و گانزالز(۲۰۰۹) صورت گرفته، برای تعیین میزان تخصیص آب سطحی و زیرزمینی بین کشاورزان تحت شرایط عدم حتمیت از روش برنامه ریزی آرمانی تصادفی با توجه به دو هدف اقتصادی و زیست محیطی استفاده شده است.

لی و همکاران (۲۰۰۹) جهت مدیریت و تخصیص منابع آب، مدل برنامه ریزی فازی تصادفی چند مرحله‌ای را استفاده نمودند. آنها پس از تجزیه و تحلیل مجموعه های چند فازی، راه حل ها را تحت یک مجموعه سطوح برش α به یک سری زیرمدل های قطعی تبدیل کردند. نتایج به کارگیری این شیوه کمک به طراحی سیاست های مدیریت

منابع آب تحت شرایط عدم حتمیت بود.

گو و همکاران(۲۰۱۰) برای مدیریت منابع آب در شرایط نبود اطمینان، یک مدل برنامه ریزی دو مرحله‌ای تصادفی فازی ارائه دادند. آنان نشان دادند که روش پیشنهادی می تواند دگرگونی در سیاست های دولتی و تاثیر آنها بر منابع آب را مدل نماید. همچنین، با بررسی سناریوهای گوناگون، مدل پیشنهادی می‌تواند بهترین رویکرد مدیریتی برای بهره گیری از منابع کمیاب آب را تعیین نماید. هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب در سد لار با استفاده از روش برنامه ریزی محدودیت تصادفی غیر دقیق[1] یا بازه ای است. این روش براساس ادغام تکنیک های برنامه ریزی بازه ای و برنامه ریزی محدودیت تصادفی است.

روش شناسی

مدیریت منابع آب به علت وجود عدم‌حتمیت شدید در پارامترها، دارای سیستم پیچیده‌ای است(بابائیان کوپایی و همکاران، ۲۰۰۳). در ارتباط با بهینه سازی بهره برداری مخازن سدها الگوریتم مشخصی وجود ندارد. انتخاب روش ها به مشخصات سیستم مخزن، قابل حصول بودن داده ها و اهداف و محدودیت ها ی تعیین شده بستگی دارد.

یکی از مشکلات سیستم مخازن چند منظوره انتخاب مدل مدیریت مخازن به وسیله یکی از مدل بهینه سازی یا شبیه سازی می باشد. مدل های بهینه سازی برای اهداف برنامه ریزی و همچنین بهره برداری زمان واقعی از مخزن بکار رفته است. روش بهره برداری بهینه به منظور برنامه ریزی سیستم پیچیده منابع آب مورد نیاز است.

جریان ورودی در معادلات محدودیت ذاتاً غیرقطعی می باشد. عدم قطعیت را با روش برنامه ریزی با قیدهای تصادفی و برنامه ریزی تصادفی که برای اهداف برنامه ریزی مفید است می توان مورد بررسی قرار داد. پیش بینی های جریان رودخانه براساس پارامترهای متعدد هیدرولوژیکی، توزیع احتمالی اندازه گیری ها صورت گرفته و به جای بخش عدم قطعیت جریان ورودی در معادلات محدودیت مورد استفاده قرار می گیرد.

روش برنامه ریزی خطی با قیدهای تصادفی شرایط احتمالاتی قیدها را نشان می دهد. ایده قیدهای تصادفی برای بهینه سازی LP نخستین بار به وسیله چارنز و همکاران(۱۹۵۸) در مدیریت پالایشگاه مورد استفاده قرار گرفت. کاربرد برنامه ریزی خطی با قیدهای تصادفی (CCLP) برای بهینه سازی سیستم مخازن برای اولین بار توسط ریول و همکاران(۱۹۶۹) پیشنهاد گردید.

به منظور نتیجه گیری روی تئوری های برنامه ریزی تصادفی می بایست تاکید شود که وظیفه اصلی تصمیم گیری تحت شرایط عدم قطعیت، استخراج معادله قطعی مدل برنامه ریزی تصادفی است. اگر این گام به صورت موفقیت آمیز صورت گیرد، آنگاه یک روش حل بهینه سازی استاندارد حاصل می‌گردد. اگر معادل قطعی مدل

[1] - Inexact chance- constrained programming

تصادفی را نتوان پیدا کرد آنگاه شبیه سازی مونت کارلو بعنوان شدنی‌ترین روش لحاظ می شود(فتاحی و جباری، ۱۳۸۸).

تصمیم گیری در شرایط عدم اطمینان(اناند، ۱۹۹۳. کلمن، ۱۹۹۶. گودوین و رایت، ۲۰۰۴)یکی از حوزه های جذاب پژوهشی در مدیریت، مهندسی و اقتصاد است. دانشمندان پژوهش عملیاتی تلاش می کنند با معرفی روش های علمی، به تصمیم گیرندگان کمک نمایند در چنین شرایطی بهترین تصمیم را بگیرند. یکی از تکنیک های برنامه ریزی در شرایط عدم اطمینان، برنامه ریزی محدودیت تصادفی(چارنز و کوپر، ۱۹۵۹) می باشد. عدم حتمیت موجودی منابع در مدل برنامه ریزی خطی با این فرض که تصمیم گیرنده مایل به ساختن یک وضعیت احتمالی نسبت به فراوانی مقدار منابع موجود می باشد، بررسی شده است. با این وجود این روش در حل مسائل ساده کاربرد بیشتری دارد و نمی توان از این روش در حل مسائل پیچیده استفاده کرد(براوو و گونزالز، ۲۰۰۹).

نادقیق بودن در رهیافت برنامه ریزی ریاضی می‌تواند مقادیر منابع، پارامترهای مورد استفاده و یا هر دو را در برگیرد. از این رو، روش های برنامه ریزی ریاضی کلاسیک به دلیل نیاز به اطلاعات و داده های دقیق و قطعی نمی-توانند نتایج قابل قبولی را ارائه نمایند. همچنین مدل های دیگر برنامه ریزی ریاضی مختص شرایط ریسک و نبود قطعیت تنها قادر به دخالت دادن آثار ریسک و نبود قطعیت در تابع هدف مسئله می‌باشند و در این مدل ها امکان وارد نمودن عدم حتمیت در ضرائب فنی و مقادیر سمت راست قیود و محدودیت های مسئله وجود ندارد(اکبری و زاهدی، ۱۳۸۶). لذا به منظور یافتن راه حل مناسب، باید از تکنیک های جدیدی همچون رهیافت بازه ای استفاده گردد. این تکنیک به طراحان و برنامه ریزان این امکان را می دهد که مقادیر نادقیق ناشی از شرایط ریسک و نبود قطعیت را هم در ضرائب تابع هدف و هم در ضرایب فنی و مقادیر سمت راست قیود و محدودیت های مسئله وارد نمایند در این حالت به جای استفاده از مقادیر دقیق، از مقادیر بازه ای استفاده می گردد، بدین صورت که کمترین و بیشترین مقدار آن پارامتر به ترتیب در حد پایین و بالای بازه قرار می‌گیرد. سپس با استفاده از عملیات مجموعه های بازه ای و خواص آن، مدل بازه ای به یک مدل برنامه ریزی ریاضی قطعی تبدیل می شود که با حل آن می‌توان به جواب مدل بازه ای رسید(سنگوپتا و همکاران، ۲۰۰۱).

مدل برنامه ریزی تصادفی بازه ای دو مرحله ای از تکنیک های پیشرفته تری است که در مدیریت منابع آب به کار می رود(زاو، ۲۰۰۱). در این مدل، تصمیم گیری در مورد تخصیص آب بین مصرف کنندگان بر اساس نیازهای آن ها و بدون توجه به عدم حتمیت جریان آب را تصمیم گیری مرحله اول می‌گویند. بعد از حل مدل تصمیم گیری در مورد تخصیص آب بین مصرف کنندگان مختلف بر اساس عدم حتمیت جریان رودخانه گرفته می شود که به آن تصمیم گیری مرحله دوم گویند. این فرآیند تصمیم گیری منجر به مدل TSP می‌شود(زاو، ۲۰۰۱). از آنجا که

عرضه نا مطمئن آب به صورت بازه ای ارائه می شود مسئله تخصیص آب می تواند به فرم ITSP ارائه شود. فرم کلی برنامه ریزی تصادفی بازه ای دو مرحله ای به صورت زیر می باشد.

$$\max f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} D_{ij}^{\pm} \qquad (۱)\ ۲۵)$$

$$subject \quad to$$

$$\sum_{i=1}^{m} (W_i^{\pm} - D_{ij}^{\pm}) \le q_j^{\pm}, \qquad \forall j$$

$$D_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm} \le W_{i\max}^{\pm}, \qquad \forall i$$

$$D_{ij}^{\pm} \ge 0, \qquad \forall i, j$$

در فرمول بالا، $f^{\pm}$ بازه سود خالص سیستم ، $NB^{\pm}$ بازه سود مصرف کننده i به ازای هر واحد آب تخصیصی، $W_i^{\pm}$ بازه آب وعده داده شده به مصرف کننده i ، ((متغیر تصمیم مرحله اول))، $C_i^{\pm}$ بازه ضرر مصرف کننده i به ازای هر واحد آبی که رها نشود، $D_{ij}^{\pm}$ بازه کمبود آب برای مصرف کننده i تحت سطح جریان j ، به عبارت دیگر مقداری از $W_i^{\pm}$ که در هنگام بروز جریان q_j رها نمی شود ((متغیر تصمیم مرحله دوم))، $q_j^{\pm}$ بازه متغیر تصادفی عرضه آب، $W_{i\max}^{\pm}$ بازه بیشترین مقدار تخصیص آب برای مصرف کننده i ، p_j احتمال رخ دادن سطح جریان j ، m تعداد مصرف کنندگان آب ، n تعداد سطوح جریان (در اینجاn=۲)، i مصرف کننده آب (i=۱ مصرف کننده شرب و i=۲ مصرف کننده کشاورزی)،و j سطح جریان(j=۱ جریان کم، j=۲ جریان زیاد آب) می باشد. با توجه به اینکه سد لار در مواقع پر آبی، فرار آب داشته و ذخیره آب خود را از دست می‌دهد، در این مطالعه برای افزایش سود در حالت تخصیص بهینه آب از ترکیب دو تکنیک بالا استفاده شده است. داده های مورد نیاز مطالعه از سازمان آب منطقه ای تهران برای دوره زمانی ۹۲-۱۳۶۳ جمع آوری شد.

تجزیه و تحلیل داده ها

برای به دست آوردن احتمال شدت جریان آب (جریان آب کم و یا زیاد) بر اساس داده های بارندگی ۳۰ سال گذشته در شهر تهران و در محل سد و با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد درصد سال های خشک و تر محاسبه شد و از این درصدها برای احتمال وقوع سطح جریان کم و زیاد جریان خروجی آب سد استفاده شد. شاخص بارندگی استاندارد به صورت زیر تعریف می‌شود(نجفی حاجیور و همکاران، ۲۰۰۶).

$$SPI = \frac{(P_i - P)}{S} \qquad (۲) \qquad (1)$$

که در آن P_i بارندگی سال مد نظر، p میانگین بارندگی بلندمدت ، و S انحراف معیار بلند مدت بارندگی است. اگر شاخص مذکور بیشتر از ۰ باشد ترسالی و اگر کمتر از ۰ باشد خشکسالی وجود دارد. نتایج نشان داد که در ۰/۶۹ در صد حالات طی ۳۰ سال گذشته در محل سد لار خشکسالی و ۰/۳۱ درصد ترسالی بوده است. از آنجا که عرضه آب برای سال های آینده یک متغیر تصادفی است، با استفاده از روش شبیه سازی و کاربرد اعداد تصادفی برای سال های مختلف، ۱۰۰ بار عرضه آب به صورت تصادفی شبیه سازی و این اعداد با در نظر گرفتن یک بازه با استفاده از حداکثر و حداقل داده های گذشته و انحراف معیار آن ها در نظر گرفته شد. شایان ذکر است ۱۰۰ بار انتخاب تصادفی میزان عرضه برای حالت جریان کم آب، از سال های خشک و برای حالت دیگر از سال های تر انتخاب شد(صبوحی و همکاران، ۲۰۰۹). جدول ۱ نتایج حاصل را نشان می دهد.

جدول ۱– اطلاعات مربوط به عرضه آب و احتمال انواع سطح جریان

سطح جریان	احتمال مربوطه	جریان آب(میلیون متر مکعب)		
		دوره ۱ (t=۱)	دوره ۲ (t=۲))	دوره ۳ (t=۳))
کم	۰/۶۹	(۴۷۲و۳۴۱)	(۴۵۶و۳۴۲)	(۴۶۴و۳۵۱)
زیاد	۰/۳۱	(۵۲۳و۴۷۸)	(۵۳۹و۴۹۶)	(۵۴۵و۴۳۱)

به علت عدم توسعه کشاورزی در منطقه در سه سال آینده داده های میزان تخصیص آب برای کشاورزان از میزان آب مورد تقاضای سال های قبل آن ها بابت سطح زیر کشت سال ۹۱ و با در نظر گرفتن یک بازه به دست آمد(به دلیل کامل نبودن داده های سال ۹۲، محاسبات تا سال ۹۱ انجام شده است). در مورد مصرف کنندگان شهری ابتدا با استفاده از نرخ رشد جمعیت سالانه، جمعیت سه سال آینده تهران محاسبه شد. تقاضای آب مردم تهران از سد لار، از حاصلضرب جمعیت تحت پوشش سد در الگوی مصرف انفرادی آب شهر تهران به دست آمد. جدول ۲ تخصیص آب هدف بین مصارف شهری و کشاورزی در طی افق برنامه ریزی را نشان می دهد.

جدول ۲– اطلاعات مربوط به تخصیص آب هدف بین مصارف شهری و کشاورزی در طی افق برنامه ریزی(میلیون متر مکعب)

		افق برنامه ریزی	
	دوره ۱ (t=۱)	دوره ۲ (t=۲)	دوره ۳ (t=۳)
تقاضای آب هدف			
مصرف کننده شهری	(۲۶۲/۹و۲۳۲/۴)	(۲۹۱و۲۴۸)	(۳۰۸و۲۸۹)
مصرف کننده کشاورزی	(۲۶۷/۳و۱۶۴/۸)	(۲۵۵و۱۶۸)	(۲۴۴و۱۷۲)

برای به دست آوردن سود و زیان مصرف کننده شهری به ازای یک واحد آب اضافی رها شده، با کاربرد تابع تقاضای آب شهر تهران (خوش اخلاق، ۲۰۰۲) و مفهوم مازاد مصرف کننده، سود و زیان فرد شهری به ازای یک واحد تغییر در میزان آب مصرفی برای سال های گذشته به دست آمد و برای سه سال آینده با استفاده از روش ARIMA پیش بینی شد. نتایج حاصل از سود و زیان مصرف کننده شهری در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳– اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده شهری به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب(ریال)[1]

	دوره ۱ ((t=۱))	دوره ۲ ((t=۲))	دوره ۳ ((t=۳))
سود	(۵۱۴/۶و۴۰۵/۴)	(۵۲۳و۴۱۸/۲)	(۵۳۱/۴و۴۲۳)
ضرر	(۴۴۲/۶و۳۳۳/۴)	(۴۵۸و۳۵۴)	(۴۶۲و۳۶۸)

۱ . منظور افزایش ۱ متر مکعب آب برای هر فرد شهری تحت پوشش سد

برای حصول سود سه سال آینده کشاورزان، ابتدا الگوی کشت منطقه محاسبه و با تغییر ۱ واحدی آب، بازده ناخالص محاسبه شد. این عمل به دفعات تکرار گردید تا رابطه ای بین میزان آب مصرفی و سود حاصل از آن به دست آید. سپس با استفاده از این رابطه و آمار آب تخصیصی سد لار به بخش کشاورزی در طی ۲۰ سال گذشته، سود حاصل برای ۲۰ سال گذشته محاسبه و توسط مدل ARIMA برای سه سال آینده پیش بینی گردید. در حالت ضرر، تفاوت بین قیمت خرید ۱ واحد آب از سایر منابع و قیمت خرید حقابه به عنوان کاهش در سود کشاورز در سال های گذشته محاسبه و برای سه سال آینده پیش بینی شد. نتایج حاصل از سود و ضرر مصرف کننده کشاورزی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴– اطلاعات مربوط به سود و زیان مصرف کننده کشاورزی به ازای یک واحد تغییر در مصرف آب(ریال)[۲]

	دوره ۱ (t=۱)	دوره ۲ (t=۲)	دوره ۳ (t=۳)
سود	(۶۵/۲و۸۵/۳)	(۷۲و۹۴)	(۷۴و۱۰۲)
ضرر	(۲۰/۵و۳۰/۶)	(۲۴و۳۲)	(۳۰و۳۸/۶)

۲ . افزایش ۱ متر مکعب آب برای هر هکتار از اراضی باغی تحت پوشش سد

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه مدیریت آب سد لار با استفاده از روش برنامه ریزی محدودیت تصادفی غیردقیق بررسی شد و برنامه ریزی برای یک دوره ۳ ساله صورت پذیرفت. با حل تابع هدف، دو حد نهایی ارزش مورد انتظار سود خالص سیستم در طی افق برنامه ریزی به دست آمد و نشان داد سود خالص سیستم نیز مانند سایر متغیرهای مدل بین دو حد بالا و پایین تغییر می‌کند. در شرایطی که تقاضای آب هدف توسط مصرف کنندگان صورت گیرد، یک طرح با پایین ترین سود بهتر می‌تواند در مقابل کم آبی مقاومت نماید. تمایل برای رسیدن به حد بالای سود سیستم مطابق با رسیدن به ریسک بالاتر است و برعکس. با قرار دادن مقادیر کمبود و تخصیص بهینه آب در تابع هدف، نتایج نشان داد که سود نهایی ۳ دوره در حالت تخصیص بهینه آب افزایش می یابد. به طور کلی نتایج حاصل از واسنجی مدل و مقایسه با داده های واقعی نشان داد روش مذکور نسبت به سایر روشهای موجود، نتایج مطلوب تری ارائه می‌دهد.

منابع

۱–اکبری نعمت الله، زاهدی کیوان مهدی(۱۳۸۶)، «منطق فازی و کاربرد آن در یافتن الگوی مناسب کشت محصولات زراعی در یک مزرعه (رهیافت برنامه ریزی چند هدفه فازی)» فصلنامه اقتصاد کشاورزی(ویژه ششمین کنفرانس اقتصادی کشاورزی ایران)، جلد ۱، شماره ۲.

۲–مصطفی آمریان، (۱۳۸۰)، تهیه مدل بهره برداری بهینه از مخزن سد بوکان به روش برنامه ریزی پویا -شبکه عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس.

۳–فخرالدین جمالی، (۱۳۷۶)، رهیافتی ریاضی– اقتصادی برای تخصیص بهینه ی آب بین اراضی زیرسدها: مطالعه ی موردی سد میرزای شیرازی(کوار)، پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه تهران.

۴–چیذری، امیرحسین، کرامت زاده، علی (۱۳۸۴)، «مدیریت منابع آبی از طریق تخصیص بهینه ی آب بین اراضی زیرسدها: مطالعه ی موردی سد بارزو شیروان» پژوهش وسازندگی، دوره ۱۸، شماره ۳، ۵۲–۴۰.

۵–صبوحی صابونی، محمود، رستگاری پور، فاطمه، کیخا، احمدعلی(۱۳۸۸)، «تخصیص بهینه آب سد طرق بین مصارف شهری و کشاورزی با استفاده از روش برنامه ریزی تصادفی دومرحله ای فازی با پارامترهای بازه ای در شرایط عدم حتمیت» دوره ۳،

شماره ۱، ۵۵-۳۳.

۶-علیزاده، امین (۱۳۸۹)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، مشهد، دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ ۲۸، ۱۴-۱۳.

۷-ر، فتوحی، (۱۳۷۳)، مدل بهینه سازی استوکاستیک بهره برداری از سد کرج، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی.

۸-فتاحی، محمد هادی، جباری، محمد مهدی (۱۳۸۸)، «مروری بر مدلهای ریاضی بهره برداری و مدیریت منابع آب» همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۹-گوهریان، عرفان، توکل، حسن، گوهریان، دنیا (۱۳۹۰)، «یافتن کاراترین شبکه عصبی در مدلسازی و پیش بینی ذخیره آبی مخازن سدها(مطالعه موردی سد لار)» دومین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، زنجان، شرکت آب منطقه ای زنجان.

۱۰-مومنی، منصور، رضایی، نادر (۱۳۸۷)، «مدل بهره برداری از مخزن سد ارس با استفاده از برنامه ریزی پویا» نشریه مدیریت صنعتی، دوره ۱، دانشگاه تهران، ۱۵۲-۱۳۹.

۱۱-نجفی حاجیور، منصور، کوهپیما، اصغر، طهماسبی، ابوالفضل (۱۳۸۵)،« بررسی شاخصهای تعیین خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری» اولین همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد.

12-Abedini, M. J, and Nasseri, M (2008), "Inverse distance weighted revisited." 4th APHW, Conf. Beijing, China, (CD ROM).

13-Anand, P (1993), Foundations of Rational Choice Under Risk, Oxford University Press.

14-Babaeyan-Koopaei, K, Ervine, D. A and Pender, G (2003) "Field and flow modeling of overbank flows in River Severn, UK" Journal of Environmental Informatics, 1: 28-36.

15-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.

16-Charnes A, and Cooper W (1959), "Chance-constrained programming" Management Science. 6, 73-79.

17-Cosgrove W, and Rijsberman F(2000), World water vision: making water everybody's business, London: Earthscan Publications.

18-Charnes A.,and Cooper W. (1959), "Chance-constrained programming .Management Science". 6, 73-79.

19-Clemen R (1996), Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis (2nd ed.), Belmont CA: Duxbury Press

20-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.

21-Goodwin P, and Wright G (2004), Decision Analysis for Management Judgment (3rd ed.) Chichester: John Wiley & Sons.

15-Jiang C, Han X, Liu G.R, and Liu G.P (2008), "A nonlinear interval number programming method for uncertain optimization problems" European Journal of Operational Research., 188, 1-13.

22-Li, Y. P, Huang, G. H, and Nie, S.L (2006), "An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty" Advances in Water Resources, 29, 776-789.

23-Li, Y. P, Huang, G. H and Zhou, H. D (2009), "A multistage fuzzy-stochastic programming model for supporting water-resources allocation and management" Environmental Modelling and Software, 24, 786-797.

24-Maqsood, I, Huang, G.H, and Yeomans, J.S (2005), "An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty" European J. of Operational Reserch, 165, 208-

225.
25-Sataari, M, Eslamiyan, S and Abrishamchi, A (2002), "Optimization of water distribution in multi reservoir system of catchment of Kakamarz River" Journal of Esteghlal, 2, 197-209. (in Persian)
26-Sengupta A., Kumar Pal T., and Chakraborty D. (2001), "Interpretation of inequality constraints involving interval coefficients and a solution to interval linear programming, Fuzzy Sets and Systems", 119(1):129-138.
27-Wu X.Y, Huang G.H, Liu L and Li J.B (2006), "An interval nonlinear program for the planning of water management systems with economies-of-scale effects-Acase study for the region of Hamilton, Ontario , Canada" European Journal of Operational Research, 171, 349-372.
28-Zhao, G (2001), "A log-barrier method with bender decomposition for solving twostage stochastic linear programs" Mathematical Programming, 90, 507-536.