تحصیلات تکمیلی دانشگاه
دانشکده کشاورزی
گروه اقتصاد کشاورزی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته اقتصاد کشاورزی

مدیریت آب سد لتیان با استفاده از برنامه ریزی چند مرحله ای اعداد صحیح تصادفی نادقیق

اساتید راهنما:
دکتر محمود صبوحی صابونی
دکتر ماشااله سالارپور

استاد مشاور:
دکتر احمدعلی کیخا

تهیه و تدوین:
فریبا کوه پیما

بهمن 89

مدیریت آب سد لتیان با استفاده از برنامه ریزی چند مرحله ای اعداد صحیح تصادفی نادقیق

چکیده

در مطالعه حاضر، تخصیص آب سد لتیان بین مصارف بخش شهری، کشاورزی و صنعت با استفاده از روش برنامه ریزی چند مرحله ای اعداد صحیح تصادفی نادقیق تحت عدم حتمیت مورد بررسی قرار گرفت. این مدل روش هایی از بهینه سازی نامعین و برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای را در چارچوب برنامه ریزی خطی در نظر می گیرد. مدل عدم حتمیت ها را با احتمالات و فواصل مجزا نشان می دهد و پویایی دوره های تصمیم گیری جهت تخصیص آب را با استفاده از سناریو در کل مراحل تصمیم گیری لحاظ می کند. بعلاوه، مدل مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف کنندگان فرصت سیاست گذاری برای رویارویی با بحران آب را می دهد. از طرف دیگر، تخصیص نهایی آب بین مصرف کنندگان رقیب را با توجه به هدف حداکثر سازی سود کل سیستم ارائه می دهد و در حقیقت رابطه ای بین اهداف اولیه بهره برداری از سد (تأمین آب مورد نیاز بخش ها تا حد امکان) و اهداف اقتصادی ایجاد می کند. داده های مطالعه از سازمان آب منطقه ای، شرکت آب و فاضلاب استان تهران و جهاد کشاورزی شهرستان ورامین برای سال های 1360 تا 1388 جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد در نامناسب ترین شرایط طی سه سال آینده بخش شهری با 7/6، 7/9 و 7/36 و بخش کشاورزی با 22/43، 23/07 و 49/62 میلیون مترمکعب کمبود آب مواجه خواهد شد. در بخش صنعت نیز با توجه به مصرف کم این بخش طی هیچ کدام از دوره ها کمبود آبی وجود نخواهد داشت. لازم به ذکر است احتمال وقوع بدترین شرایط در طول افق برنامه ریزی به ترتیب 0/1، 0/01 و 0/001 می باشد.

کلمات کلیدی: برنامه ریزی چند مرحله ای اعداد صحیح تصادفی، عدم حتمیت، سد لتیان

بسم الله الرحمن الرحیم

فصل اول

مقدمه

1-1 مقدمه

از منابع آب جهان تنها 2/5 درصد شیرین است که این مقدار نیز به طور نامناسب توزیع شده است (unesco, 2007). ایران با بارندگی سالانه حدود 240 میلیمتر، 2 درصد آب شیرین جهان را داراست. با توجه به این امر و پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگیها، ایران جزو کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قراردارد. رشد روزافزون جمعیت و توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی موجب افزایش مداوم تقاضا برای آب شده است (سامانی، 1382). در این شرایط راهکارهای مختلفی برای استفاده بهینه از منابع آب پیشنهاد شده که به افزایش عرضه آب و استفاده بهینه از منابع آب میتوان اشاره کرد. راهکار اول به دلیل محدودیت منابع آب قابل عرضه چندان قابل توجه نیست اما، با مدیریت صحیح می‌توان بهره‌وری استفاده از منابع آب را افزایش و حداکثر منفعت را حاصل کرد. در این راستا، بهره‌برداری از سدها، حفاظت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کوتاه مدت و بلندمدت از راهکارهای مهم می‌باشند (گزارش دفتر طرح و برنامه، 1385).

محدودیت منابع آب، افزایش هزینه های استحصال و محدودیت منابع مالی، طرحهای توسعه بهره‌برداری از منابع جدید آب را با مشکل و محدودیت مواجه کرده است (تجریشی و ابریشم چی، 1383). این عوامل و نقش مهم آب در توسعه پایدار سبب توجه بیش از پیش مسئولین به مدیریت تقاضا و عرضه آب در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان و منطقه‌ای کشور شده است (آذرمسا و همکاران، 1379). به منظور بهبود شرایط کنونی، بهره‌برداری بهینه از سدها با وجود پیچیدگی و مشکلات آن بسیار مهم است. در طول دهه‌های گذشته تلاش‌های زیادی برای حل این نوع مسایل صورت گرفته است (Romero and Rehman, 1984). گروه‌های مختلف مصرف-

کننده آب بهتر است بدانند چه مقدار آب برای تخصیص در فعالیت‌هایشان در دسترس خواهند داشت. همچنین، چه مقدار از آب وعده داده شده به آن ها ممکن است تأمین نشود تا بتوانند در صورت لزوم آب را از منبع دیگر تهیه نموده و یا توسعه فعالیت‌های خود را کاهش دهند و یا سیاست‌هایی برای تأمین آب شرب و کشاورزی توسط سازمان آب منطقه‌ای برای آینده اتخاذ شود (Li *et al.*, 2006).

هدف مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب و تعیین حداکثر سود سیستم (بخش شهری، کشاورزی و صنعت) با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای اعداد صحیح تصادفی نادقیق[1] در شرایط عدم حتمیت است. اگر آب وعده داده شده به مصرف‌کننده در دوره مورد نظر رها شود، سود خالص سیستم افزایش و در غیر اینصورت، مصرف‌کننده باید آب را از منبع گران‌تری تهیه کند و یا فعالیت‌های خود را کاهش دهد که در دو حالت ضرر خواهد کرد (Li *et al.*, 2007).

2-1 ضرورت تحقیق

سد لتیان یکی از منابع اصلی تامین آب شرب منطقه شهری تهران است. این سد، رواناب‌های ناحیه لواسانات و رودبار قصران را که سرشاخه‌های غربی رودخانه جاجرود است، مهار کرده و با انتقال سالانه 120 تا 150 میلیون مترمکعب آب، بخشی از آب مصرفی تهران بزرگ را تامین می-کند. افزون بر آن سد لتیان آب زراعی دشت ورامین به میزان متوسط 160 میلیون مترمکعب و همچنین تولید متوسط سالانه 70 هزار مگاوات ساعت انرژی برق – آبی جهت شبکه سراسری را تامین می کند. افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضای آب در بخش‌های مختلف و از طرفی محدودیت منابع، دخل و تصرف غیرمجاز در بستر رودخانه‌ها و کاهش منابع تجدیدشونده بر اثر افزایش آلودگی از چالش‌های اصلی آب در استان می‌باشد (سازمان آب منطقه ای استان تهران،

[1] . inexact multistage stochastic integer programming

1388). مشکلات اصلی مدیریت آب سد لتیان تصادفی بودن میزان آب رودخانه جاجرود در پشت سد و نحوه تخصیص آن بین مصارف مختلف می‌باشد.

با توجه به اینکه تخصیص آب سد لتیان بین مصارف شرب و کشاورزی و صنعت با توجه به یک نسبت ثابت و با در نظر گرفتن نیازهای آب شرب و کشاورزی و صنعت منطقه صورت می‌گرفته است. در این مطالعه سعی شد مسئله تخصیص اقتصادی آب سد لتیان بین مصرف‌کنندگان شرب و کشاورزی و صنعت در کنار سایر اهداف در نظر گرفته شود. همچنین سود و ضرر مصرف-کنندگان به ازای یک واحد تغییر در آب مصرفی محاسبه گردد. با توجه به مسئله بحران آب در منطقه، برنامه‌ریزی در زمینه استفاده صحیح از این منبع حیاتی و کمیاب ضروری به نظر می‌رسد.

1-3 اهداف تحقیق

با توجه به آن چه گفته شد اهداف مطالعه حاضر عبارتند از:

1-تخصیص بهینه آب بین مصرف‌کنندگان آب سد لتیان

2-تعیین کمبود آب مصرف‌کنندگان سد لتیان در طی سه دوره آتی

3-تعیین سود کل سیستم (مصرف‌کنندگان شهری ،کشاورزی و صنعت) برای سه دوره آتی

1-4 فرضیات تحقیق

فرضیات این تحقیق عبارتند از:

1-امکان افزایش سود سیستم (مصرف کنندگان شرب، کشاورزی و صنعت) با تخصیص مجدد آب سد لتیان وجود دارد.

2-امکان کاهش مقدار انحراف آب سد لتیان با تخصیص مجدد وجود دارد.

به علت تصادفی بودن بارندگی و میزان آب رودخانه جاجرود، تصمیم‌گیری در مورد مقدار آب موجود در سد لتیان و در نتیجه تخصیص آن به بخش‌های مختلف با مشکلاتی همراه است لذا، مدیریت آب سد لتیان و تخصیص آن بین بخش‌های رقیب بسیار مهم است.

5-1 ساختار پایان نامه

در فصل دوم مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت منابع آب آورده شده است. در فصل سوم، مدل مورد استفاده، در فصل چهارم بحث و نتایج و در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات حاصل ذکر شده است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

2-1 مقدمه

روش‌ها و مدل‌های مختلفی در مدیریت منابع آب مورد استفاده قرارگرفته که در ادامه به مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شده است. این مطالعات شامل مسائل مدیریت منابع آب و مدلسازی آن می‌باشد.

2-2 مطالعات مدیریت منابع آب

در این قسمت به بررسی پیشینه‌ای در مورد مدیریت مخازن پرداخته شده است. هدف عمده برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب تبیین گزینه‌های ممکن، طراحی و مدیریت طرح‌های منابع آب و معرفی مناسب‌ترین گزینه و یا ارزیابی جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی آنهاست (Nadalal and Simonovic, 2003).

Huang and Loucks در سال 2000 مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نادقیق[2] را برای تصمیم‌گیری در مورد مخازن آب در کانادا به کار بردند. در این روش مفهوم بهینه سازی نادقیق در چارچوب مدل تصادفی دومرحله ای ارائه شد. اشکال اصلی این مدل بیش از حد ساده سازی فروض توابع عضویت فازی بود. نتایج نشان داد که این مدل نسبت به مدل تک مرحله‌ای نتایج واقعی‌تری را برای مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد.

Ayres *et al.* در سال 1996 در مطالعه‌ای که توسط بانک جهانی صورت گرفت، اهمیت مدیریت سدها و دریاچه‌ها را به این صورت بیان می‌کنند "سدها و دریاچه‌ها منابع اصلی تأمین و توزیع آب شیرین در جهان هستند. این منابع نه تنها به عنوان منابع تأمین کننده آب بلکه به

[2]. inexact two-stage stochastic programming model

عنوان واحدهایی از اکوسیستم باید نگهداری شوند. مدیریت و نگهداری رودخانه‌ها و سدها در فرآیند توسعه اقتصادی بسیار مهم است".

ستاری و همکاران در سال 1381 بهینه‌سازی توزیع آب در سیستم 9 مخزنه حوضه آبریز رودخانه کلامرز میانه را بررسی نمودند. با توجه به تصادفی بودن مقدار دبی رودخانه، حجم ثابت مخازن و سطح ثابت اراضی زیرکشت مدل بهینه سازی خطی با محدودیت تصادفی طراحی و مقادیر ضرایب انحراف دبی کل رودخانه به هر یک از مخازن و حجم آب خروجی از سیستم در ماههای مورد نظر محاسبه شد. نتایج حاصل از مدل با بیش از 60% کمبود نسبت به تقاضا، نشانگر عدم توجه کافی به حجم بهینه مخازن در موقع احداث و توسعه بی رویه اراضی سطح زیرکشت بدون در نظر گرفتن پتانسیل آبی رودخانه کلامرز بود.

Changchit and Terrel در سال 1989 از مدل برنامه‌ریزی آرمانی با محدودیت‌های تصادفی برای مدلسازی چند هدف در سدهای اکلاهاما استفاده کردند. اهداف زیادی از قبیل کنترل سیل، تامین آب شرب و صنعتی، تولید برق و تأمین چشم انداز طبیعی در این مدل در نظر گرفته شده بود. در نهایت آنها مدلی ایجاد کردند که علاوه بر مدیریت منابع و تخصیص بهینه آب در سدهای مورد نظر، برای هر سد در زمانهای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

چیذری و کرامت زاده در سال 1384 مدیریت سد بارزو شیروان را از طریق تخصیص بهینه آب بین اراضی زیر سد بررسی نمودند. در این مطالعه پس از تعیین الگوی بهینه کشت، میزان آب قابل تخصیص به هر منطقه مشخص و درصد تغییرات آن با شرایط فعلی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین تغییر در تخصیص فعلی آب نسبت به تخصیص بهینه به ترتیب مربوط به ماه‌های تیر و فروردین است که بایستی آب تخصیصی در ماه تیر به میزان 95 درصد نسبت به شرایط فعلی افزایش و در ماه فروردین حدود 62 درصد کاهش یابد.

قهرمان و سپاس‌خواه در سال 1384 مدیریت بهره‌برداری از مخازن سدها را با استفاده از دو برنامه‌ریزی غیرخطی و پویای استوکاستیکی بررسی نمودند. ابتدا مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از مخزن سد و تخصیص بهینه آب بین گیاهان مختلف و در نهایت سود حاصل از زراعت به دست آمد. سپس با سنجش حجم آب مخزن در ابتدای فصل زراعی و برآورد مناسبی از رژیم رودخانه و بارندگی در طی این دوره، میزان آب بهینه در مخزن سد در انتهای فصل زراعی برآورد شد. این روش متضمن استفاده بهینه از منابع آبی موجود در کلیه شرایط بود و به عنوان یک راه کار مدیریتی جهت اعمال برای چنین سدهایی پیشنهاد شد.

صبوحی و همکاران در سال 1386 راه کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی را در دشت نریمانی استان خراسان ارزیابی نمودند. در این مطالعه راه‌کارهای مختلف شامل برداشت آزاد (کنترل نشده)، کنترل بهینه برداشت از آب های زیرزمینی، بهره‌برداری از آب های زیرزمینی و سیاست مالیاتی، دخالت دولت و کنترل قانونی، مشارکت بهره برداران در کنترل برداشت از آب های زیرزمینی و همکاری دولت و تشکل‌های بهره برداران مورد مقایسه قرارگرفت. نتایج نشان داد دولت می‌تواند از طریق اتخاذ سیاست مناسب مالیاتی، هزینه‌های جنبی بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را به خود بهره‌برداران منطقه منتقل نماید.

2-3 مطالعات مدل‌سازی مدیریت آب

در مورد مدل‌سازی مدیریت آب تا کنون مطالعات زیادی انجام شده که به مرور زمان تکامل یافته است. در این قسمت ابتدا در مورد مدل های شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان آب، برآورد ارزش اقتصادی آب، برآورد تابع تقاضای آب، تعیین شاخص خشکسالی SPI [3] و سپس در مورد

3 . Standard Precipitation Index

راهکارهای فازی[4]، بازه‌ای[5] و فازی خاکستری[6]، تئوری بازی‌ها[7] و مدل‌های چند هدفه[8] پیشینه‌ای ارائه شده است.

2-3-1 مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی

مدل های شبیه‌سازی به دو گروه ایستا و پویا تقسیم می‌شوند که سیستم‌های منابع آب همه به علت داشتن عوامل تصادفی پویا هستند (Nayak, and Panda, 2001). تا کنون مطالعاتی در این زمینه انجام شده است.

McKinnery *et al.* در سال 1999 مدل‌های شبیه‌سازی که برای حوزه رودخانه‌ها کاربرد دارند را به چند گروه تقسیم‌بندی کردند، مدل‌های شبیه‌سازی سیاست‌گذاری؛ جریان رودخانه، کیفیت آب حوزه آبریز و قوانین آب حوزه رودخانه.

محمدی و اسلامی در سال 1382 پارامترهای مدل ARMA فصلی و غیر فصلی را جهت پیش-بینی جریان آب رودخانه کارون در استان خوزستان با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی تخمین زدند. روش پیشنهادی با روش معمول برآورد پارامترها که همان روش "حداکثر درستنمایی" می‌باشد مقایسه گردید. نتایج نشان داد روش برنامه ریزی آرمانی نسبت به روش حداکثر درستنمایی جریان آب رودخانه کارون را بهتر پیش‌بینی می‌کند.

4 . Fuzzy

5 . Interval

6 . Grey Fuzzy

7 . Game Theory

8 . Goal Programming

2-3-2 برآورد ارزش اقتصادی آب

سلامی و محمدنژاد در سال 1381 ارزش اقتصادی آب کشاورزی در دشت ساوه را با استفاده از توابع تولید انعطاف پذیر مطالعه نمودند. برای این منظور ابتدا ارزش اقتصادی آب مصرفی در هر یک از محصولات عمده در الگوی کشت منطقه برآورد و سپس با توجه به راندمان انتقال آب و سهم هر یک از محصولات در الگوی کشت، ارزش اقتصادی آب در کشت محصولات زمستانه و تابستانه جداگانه محاسبه گردید. بر اساس نتایج، متوسط ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب کشاورزی در سر مزرعه و برای مصرف در تولید گندم پاییزه 215 ریال، پنبه 386 ریال، جالیز 342 ریال و در تولید محصول باغی انار 265 ریال بود.

چیذری و همکاران در سال 1384 ارزش اقتصادی آب را با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی برای سد بارزو شیروان تعیین کردند. در این تحقیق ابتدا پنج هدف اساسی مشخص و پس از تعیین الگوی کشت بهینه، از طریق تحلیل حساسیت قیمت سایه‌ای آب به عنوان ارزش اقتصادی آب محاسبه شده است بر اساس نتایج حاصله بالاترین و پایین‌ترین ارزش اقتصادی آب در ماه‌های مهر و فروردین به ترتیب معادل 2277 و 56 ریال برآورد شده است.

کرامت زاده و همکاران در سال 1385 ارزش اقتصادی آب کشاورزی را با استفاده از الگوی بهینه کشت تلفیقی زراعت و باغداری برای سد بارزو شیروان تعیین کردند. قیمت سایه‌ای نهاده آب به عنوان ارزش اقتصادی آب در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج، در شرایط اجرای الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد بارزو شیروان، ارزش اقتصادی آب سد در ماههای فروردین، تیر، شهریور و آبان به ترتیب 880، 470، 474 و 595 ریال برآورد شد.

2-3-3 مدل تابع تقاضای آب

Renwick and Archibald در سال 1998 با استفاده از داده‌های ترکیبی به بررسی سیاست-های مدیریت تقاضای آب پرداختند. کشش قیمتی تقاضای آب در منطقه مورد نظر بین 0/33- تا 0/53- برآورد شد. الگوی مورد برآورد در مطالعه آن ها به صورت خطی ارائه گردید.

Renwick and Green در سال 2000 با استفاده از داده‌های ترکیبی و کاربرد مدل لگاریتمی به تخمین تابع تقاضای آب در کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد که کشش قیمتی تقاضای آب 0/16- و کشش درآمدی تقاضای آب برابر 0/25است.

خوش اخلاق و همکاران در سال 1381 تابع تقاضای آب شهر تهران را با استفاده از مدل رگرسیون خطی برآورد نمودند. در مطالعه حاضر چگونگی استخراج تابع تقاضای آب ارائه و سپس این تابع برای 17 حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تقاضای آب نسبت به قیمت خودی کم کشش است.

صبوحی و نوبخت در سال 1388 تابع تقاضای آب شهر جدید پردیس را با استفاده از تابع مطلوبیت «استون-گری» برآورد و سپس کشش‌های قیمتی و درآمدی و حداقل مصرف در حالت-های مختلف محاسبه گردید. افزون بر آن، نتایج نشان داد که افزایش قیمت آب در مواردی که در سطوح بالاتر مصرف است، اثر بیشتری بر کاهش مصرف دارد.

محمدی دینانی و اکبری در سال 1379 تابع تقاضای آب شرب در شهر کرمان را تخمین زدند. نتایج برآوردها نشان داد که کشش قیمتی تقاضای آب شرب بین 0/17 تا 0/36 می‌باشد و نشان دهنده بی‌کشش بودن تقاضای آب شرب نسبت به قیمت در این منطقه بود. هم‌چنین، کشش

درآمدی محاسبه شده بین 0/01 تا 0/12 نشان دهنده ضروری و بی‌جانشین بودن این کالا در سبد مصرفی خانوار بود.

4-3-2 مدل برنامه ریزی فازی

Sasikumar and Mujumdar در سال 2000 مدیریت کیفیت آب سیستم رودخانه فرضی را با کاربرد روش احتمالات فازی انجام دادند. به طور کلی دو نوع عدم حتمیت شامل اعداد تصادفی و مبهم در جهان واقعی وجود دارد که در حل مسائل مدیریتی مورد نظر قرار می گیرد. تئوری مجموعه فازی تا کنون کاربرد موفقیت آمیزی در مدیریت کیفیت آب، تخصیص آب، ضایعات جامد شهری و عملکرد سدها داشته است. در این مطالعه ابتدا اهداف آژانس کنترل آلودگی مورد نظر قرار گرفت و سپس توابع عضویت اهداف تعیین شد. در نهایت مدل توسط اهداف فازی فرموله و مورد استفاده قرار گرفت.

Li and Huang در سال 2009 مدیریت سیستم های منابع آبی مبنی بر اطلاعات نادقیق را با استفاده از برنامه ریزی تصادفی نقض فازی انجام دادند. در این تحقیق درجه رضایتمندی و محدودیت ریسک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که درجه رضایتمندی و سود سیستم تحت سطوح مختلف ریسک، اختلاف معنیداری دارند.

Lu *et al.* در سال 2008 مدیریت منابع آب را با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی فازی دو مرحله ای نادقیق انجام دادند. تئوری مجموعه‌های فازی جهت نشان دادن سیاست‌های مختلف تحت شرایط مختلف دسترسی به آب مطرح شد. اطلاعات نامعلوم توسط فواصل مجزا و توزیع احتمال توابع به طور مؤثری روش‌های بهینه‌سازی را منعکس می‌کنند. مقایساتی از جواب‌های

بدست آمده از روش ITFSP[9] و ITSP[10] نشـان داد کـه بکـارگیری روش ITFSP سـود بیشـتری از روش‌های موجود فراهم می‌کند و همچنین این روش سیاست‌های انعطاف‌پذیری را جهت مـدیریت و بهره‌برداری بهتر از منابع آب مطرح می کند.

Li and Huang در سال 2008 تخصیص بهینه آب در یک سیستم چند مخزنه را با اسـتفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی تصادفی با پارامترهای بازه‌ای انجام دادند. این روش جهت تحلیل سـناریوهای مختلف سیاستی وابسته به سطوح مختلف پیامدهای اقتصادی از جمله نقض آب تخصیصـی وعـده داده شده بکار می‌رود. بعلاوه توسط این روش غیر خطی اثرات مقیاس اقتصادی اندازه‌گیری شد.

فایی و همکاران در سال 2005 بهینه‌سـازی سیسـتم‌هـای آب را بـا اسـتفاده از روش مـدیریت انعطاف پذیر انجام دادند. این مدل نسبت به برنامه‌ریزی خطی پیچیده تر امـا دارای کـاربرد بسـیار بیشتری است. در هر مرحله از مسئله بهینه‌سازی، راهکار فازی برای بیان دقیق محدودیت تقاضـا و حد نهایی موجودی آب مورد استفاده قرارگرفت. این مدیریت انعطاف‌پذیر راهکار بسیار مناسـبی در مدیریت موقعیت‌های خاص مانند مدیریت سیل ارائه می‌دهد.

Hop در سال 2007 برنامه‌ریزی هدف تصادفی فـازی را مـورد بررسـی قـرار داد. برنامـه‌ریـزی تصادفی و فازی دو مدل ارائه شده برای بیان عـدم حتمیـت موجـود در جهـان واقعـی اسـت. امـا، ترکیب این دو مشکلات زیادی را برای یافتن مجموعه جواب کارا ایجاد می‌کنـد. راهکـار حـل ایـن مشکل دوبار فازی نمودن و یا دو بار تصادفی نمودن متغیرهای فـازی تصـادفی بـرای دسـتیابی بـه مجموعه جواب تعیین شده می‌باشد. برای انجام این عملیات به دو روش ترتیبی و یا همزمان مـی-توان اقدام نمود.

اسدپور و همکاران در سال 1380 با کاربرد روش برنامه‌ریـزی خطـی آرمـانی فـازی در طراحـی الگوی کشت دشت جلگه‌ای واقع در زیر حوضه هراز به این نتیجه رسیدند کـه بـا ایجـاد انعطـاف در

[9]. Inexact Two-stage Fuzzy Stochastic programming
[10]. Inexact Two-stage Stochastic programming

آرمان‌ها در سمت راست مدل فازی، منابع به نحو بهتری تخصیص می‌یابد و سطح زیر کشت توسعه پیدا می‌کند.

موسوی و همکاران در سال 1383 رگرسیون فازی را در استنباط قوانین بهره‌برداری از مخازن سدها به کار گرفتند. در این مطالعه در ابتدا مدل بهینه‌سازی از نوع برنامه‌ریزی پویا (DP)[11] برای بهره برداری بلندمدت از مخزن توسعه یافته است. سپس مسیرهای بهینه حاصل از مدل فوق به عنوان ورودی به سه نوع مدل شامل مدل رگرسیون خطی چند متغیره، رگرسیون فازی و تحلیل آماری جریانهای خروجی بهینه مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از مقایسه سه روش نشان داد اگر چه قوانین بهره‌برداری منتج از رگرسیون خطی از نظر برازش به مقادیر حاصل از مدل بهینه‌سازی با سایر روشها برتری دارد، لیکن در شبیه سازی و خصوصاً در مواقعی که قوانین بهره-برداری در شرایط عدم قطعیت ناشی از کمبود اطلاعات آورد ورودی به مخزن ارزیابی شوند، مدل رگرسیون فازی عملکرد بهتری دارد.

محمدی و گیوی در سال 1384 به ارزیابی تناسب زراعی برای گندم آبی در منطقه اصفهان با استفاده از مدل فازی پرداختند. آن‌ها دریافتند که هم بستگی به مراتب بیشتر مشاهده شده بین شاخص اراضی و عملکرد محصول در روش فازی نشان دهنده پتانسیل کاربری و مفید بودن این روش در ارزیابی تناسب اراضی است .

کهنسال و محمدیان در سال 1386 با کاربرد برنامه‌ریزی آرمانی فازی به بررسی الگوی کشت بهینه در مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که با ایجاد انعطاف‌پذیری در ضرایب مدل و با در-نظرگرفتن تفکر فازی شرایط الگوی کشت به طور نسبی بهبود می‌یابد و از منابع و نهاده ها به نحو مطلوب‌تری استفاده می‌شود.

[11] . Dynamic Programming

2-3-5 برنامه‌ریزی بازه‌ای(خاکستری)

Huang در سال 1996 مدل پارامترهای بازه‌ای را در کنترل آلودگی آب در سیستم‌های کشاورزی کانادا به‌کار برد. این مدل به علت انعطاف‌پذیری بالا و کاربردهای فراوان و ساده برای تصمیم‌گیری نهایی، مورد استقبال مدیران قرار گرفت. با استفاده از این مدل مجموعه جواب قابل قبولی برای کنترل آلودگی آب منطقه حاصل شد. در ادامه مطالعه با استفاده از آنالیز حساسیت محدودیت‌های کمی و کیفی مؤثر بر درآمد کشاورزان، مبادله بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی بررسی شد.

Vitoriano and Romero در سال 1999 نوع ویژه ای از برنامه‌ریزی چند هدفه بازه‌ای را با ارائه نمونه‌هایی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در مطالعه خود از یک تابع جریمه در برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده نمودند. سپس با استفاده از مثال‌های عددی فرض تفکیک پذیری ترجیحات تصمیم گیرنده را در مدل وارد و نوع دیگری از برنامه‌ریزی چند هدفه را برای حل این گونه مسائل ارائه دادند.

Polyak and Nazin در سال 2004 روشی برای حل معادلات جبری بازه‌ای ارائه نمودند. این روش ساده برای حل برخی مدل‌ها در حالت عدم حتمیت قابل کاربرد است و راه حل بازه‌ای بهینه‌ای را بدون در نظر گرفتن برنامه‌ریزی خطی ساده به دست می‌دهد. این تکنیک در حل مسائلی با مقیاس متوسط و کوچک قابل کاربرد بوده و برای مسائل بزرگتر و پیشرفته‌تر باید تکنیک دیگری به کار برد.

Qin *et al.* در سال 2006 مسئله گزینش بازه‌ای سهام را با استفاده از تابع حسرت حداقل-حداکثر مورد بررسی قرار دادند. تا کنون راهکارهای متفاوتی برای گزینش سهام بر پایه مدل سنتی مارکویتز ارائه شده است. به عنوان نمونه مدل فازی (نظریه امکان) که عدم حتمیت در جهان واقعی را به صورت مبهم در نظر می‌گیرد. روش دیگر بیان عدم حتمیت، جمع‌آوری داده‌ها

به صورت نادقیق اما در یک فاصله معین می‌باشد. در این مطالعه مسئله گزینش سهام با در نظر گرفتن قیمت تضمینی بازه ای مورد بررسی قرار گرفت.

Li *et al.* در سال 2006 مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آن‌ها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه آن ها طی 81 سناریو برای سه مصرف‌کننده شهری، کشاورزی و صنعتی و سه دوره آینده ارائه شد.

Wu *et al.* در سال 2006 برنامه‌ریزی غیرخطی بازه‌ای را در طراحی سیستم مدیریت ضایعات شهری در مناطقی از هاملتون، انتاریو و کانادا انجام دادند. بسیاری از روابط در سیستم‌های محیط زیستی با اثرات مقیاس اقتصادی به صورت غیرخطی بیان می شود. در این مدل تابع هدف به صورت غیرخطی و نمایی و محدودیت‌ها به صورت خطی ارائه شده بود. این مدل از انعطاف پذیری بالایی برای حل مسائل برخوردار بود و مجموعه جواب قابل قبولی برای مدیریت ضایعات در مناطق نامبرده ارائه داد.

Jiang *et al.* در سال 2008 روش برنامه‌ریزی بازه‌ای غیر خطی را برای حل مسائل بهینه‌سازی در شرایط عدم حتمیت معرفی نمودند. در این مدل عدم حتمیت در تابع هدف و محدودیت‌های غیرخطی وجود داشت. با استفاده از راهکارهای موجود تابع هدف نامطمئن به صورت دو تابع هدف قطعی ارائه شد. افزون بر آن محدودیت‌های مساوی و نامساوی نامطمئن نیز به محدودیت های نامساوی قطعی تغییر می‌یابند. برای حل نهایی مدل از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

Li and Liu در سال 2008 چارچوب ماتریس خاکستری را مورد بررسی قرار دادند. هدف از ارائه تئوری سیستم‌های خاکستری عدم وجود اطلاعات کافی در مسائل دنیای واقعی بود. در این مطالعه مفهوم ماتریس خاکستری و کاربردهای آن مورد بررسی قرار گرفت و برخی از نتایج حاصل