دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب

تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از مدل ترکیبی بهینه سازی تکاملی- برنامه ریزی خطی

توسط:
علی عطارزاده نصرآبادی

اساتید راهنما:
دکتر سید جمشید موسوی
دکتر احمد طاهر شمسی

پاییز ۱۳۸۵

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ:.....

پیوست:.....

نام و نام‌خانوادگی: علی عطارزاده نصرابادی **دانشجوی:** **آزاد** (×) **بورسیه** (...) **معادل** (...)

شماره دانشجویی:۸۳۱۲۴۲۰۴ **دانشکده:** **رشته تحصیلی:**

نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر سید جمشید موسوی

عنوان پایان‌نامه به فارسی: تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از مدل ترکیبی بهینه سازی تکاملی- برنامه ریزی خطی

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Determination Optimum Reservoir Capacity Using a Combined Evolutionary Algorithm-Linear Programming Model

کارشناسی ارشد (...)
دکتـــــــرا (...)

نوع پروژه: **کاربردی** (×) **بنیادی** (...) **توسعه‌ای** (...) **نظری** (...)

تاریخ شروع:۸۵/۵/۲۵ **تاریخ خاتمه:**۸۵/۱۰/۳۰ **تعداد واحد:**۶

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی:
بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، برنامه ریزی خطی، نسل، جمعیت، همگرایی

واژه‌های کلیده به انگلیسی:
Optimization, Genetic Algorithm, Linear Programming, Reservoir Capacity

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

نسخه ۱: معاونت پژوهشی
نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان‌نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

پس از حمد و ثنای آن عزیز حکیم ، برخود تکلیف می‌دانم که بدین وسیله از استاد وارسته‌ام جناب دکتر سید جمشید موسوی به پاس زحمات و راهنماییهای بی‌دریغ ، صبورانه و برادرانه‌اش علی‌رقم وجود مشکلات و ناهمواریها، صمیمانه قدردانی نموده و مراتب تشکر و ارادت خویش را به ایشان ابراز نمایم. اذعان دارم که بدون حمایت آن بزرگوار، پیمایش این راه برایم بسیار دشوار و ناممکن بود.
از جناب دکتر احمد طاهر شمسی به سبب همکاری ایشان در تهیه این پایان‌نامه و رفع مشکلات موجود کمال سپاس را دارم که بدین شیوه حق استادی را بر من تمام و کمال ادا نمودند. از خداوند منان سلامتی و توفیق روزافزون برای آن دو عزیز بزرگوار خواستارم.

علی عطارزاده

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه ارائه شده توسط علی عطارزاده نصرآبادی
برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران تحت عنوان تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد با استفاده از مدل ترکیبی بهینه سازی تکاملی- برنامه ریزی خطی

استاد راهنما : جناب دکتر سید جمشید موسوی تاریخ تحویل : ۸۵/۱۰/۳۰

در این پایان نامه یک مساله کلاسیک در حیطه مطالعات منابع آب و سدسازی یعنی تعیین ظرفیت بهینه مخزن یک سد با هدف تامین نیازهای آبی در شرایط هیدرولوژیک معرف آینده با اعمال کنترل بر سطح اعتماد پذیری تامین نیازها مورد مطالعه قرار گرفته است. حل مساله مذکور در محیط قطعی (Deterministic) با استفاده از تکنیکهای شبیه سازی تکراری و یا روشهای بهینه سازی متعارف کار چندان پیچیده ای نیست. علی‌رغم آن در اغلب مطالعات کاربردی گرچه هدف تامین نیازهای مختلف آبی توسط ظرفیت ذخیره سد پیگیری می گردد، با این وجود تامین تمامی نیازها در تمامی دوره ها (حتی دوره های خشک) مستلزم طراحی یک سد با ارتفاع بسیار زیاد می باشد که در اینصورت بخش عمده ای از هزینه و ظرفیت سد صرفاً به جهت تامین نیازها در بخش بسیار کوچکی از کل عمر مفید سد ظرفیت سازی خواهد شد. این رویکرد خصوصاً اگر منابع دیگر تامین نیازهای آبی نظیر آبهای زیرزمینی در منطقه موجود باشد، ممکن است به جهت اقتصادی توجیه پذیر نباشد. بنابراین ضروری است در روش و مدل پیشنهادی این امکان که در درصد مشخصی از دوره ها -که توسط مدلساز از قبل تعیین خواهد شد- بخشی از نیازها تامین نشود، لحاظ گردد. این ضرورت به ظاهر ساده چنانچه بخواهد در قالب روابط و محدودیتهای یک مدل بهینه سازی ترجمه شود، به معنی استفاده از نوعی محدودیتهای احتمالاتی (Chance Constraints) در مدل است که در برخی موارد قابلیت نقض را دارند. احتساب اینگونه محدودیتها در مدل بهینه سازی قطعی نیازمند افزودن متغیرهای دومقداره (Binary) در ساختار مدل است. بنابراین فرمولبندی کلی مدل بهینه سازی مورد نظر از نوع یک مدل برنامه ریزی خطی (یا غیرخطی) مختلط با اعداد صحیح (MILP) خواهد بود که در حیطه مسایل بهینه سازی حل آنها زمانبر و مشکل است. روش مرسوم در حل این مدلها استفاده از تکنیکهای هوشمند شمارشی نظیر الگوریتم شاخه و حد (Branch & Bound) می باشد که در حضور تعداد زیاد متغیرهای دو مقداره دچار محدودیت و مشکل محاسباتی می گردند. در نتیجه در این پایان نامه مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک – برنامه ریزی خطی (GA-LP) برای حل یک مدل MILP توسعه یافته که در آن از قابلیتهای هردو روش الگوریتمهای تکاملی و برنامه ریزی خطی به شکل توام استفاده میگردد. در این الگوریتم متغیرهای دو مقداره توسط GA تولید شده و تکامل می یابد. بطوریکه مدل باقیمانده پس از مقدار گرفتن این متغیرها یک مدل LP خواهد بود. بنابراین در این روش هر بار ارزیابی تابع هدف در مدل GA مستلزم حل یک مدل LP می باشد. این مدل ترکیبی به همراه روش شاخه و حد و روش الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی ظرفیت مخزن سد چراغ ویس به عنوان مطالعه موردی استفاده شده و میزان کارایی آنها با یکدیگر مقایسه گردیده است. نتایج حاصله بیانگر قابلیت مطلوب الگوریتم ترکیبی پیشنهادی از نظر سرعت محاسباتی و نیز کیفیت جوابها در مقایسه با روش شاخه و حد و الگوریتم ژنتیک در مدل بهینه سازی MILP در مساله مورد مطالعه می باشد.

کلمات کلیدی : بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی خطی، نسل، جمعیت، همگرایی

فهرست

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- هدف از تحقیق ۳
۱-۳- دامنه و متدولوژی تحقیق ۴

فصل دوم: بهینه سازی و کاربرد آن در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب

۲-۱- مقدمه ۶
۲-۲- تعریف سیستم و خصوصیات آن ۷
۲-۳- انواع مدلها ۸
۲-۳-۱- مدلهای شمایلی ۸
۲-۳-۲- مدلهای شبیه‌سازی ۸
• مدلهای شبیه سازی قطعی ۹
• مدلهای شبیه سازی غیر قطعی ۹
۲-۴-۳- مدلهای ریاضی ۱۰
• اجزای یک مدل ریاضی ۱۰
۲-۴- مدلهای بهینه‌سازی ۱۰
۲-۴-۱- انواع مدلهای بهینه سازی تک هدفه ۱۱
• مدلهای بهینه سازی خطی ۱۱
• برنامه‌ریزی خطی ۱۱
۲-۴-۲- برنامه‌ریزی همراه با متغیرهای صحیح ۱۲
• روشهای حل مدلهای برنامه‌ریزی همراه با اعداد صحیح MILP ۱۴
• روشهای برشی ۱۴
• روش تجسس ۱۵
• روش شاخه و حد (Branch & Bound) ۱۵
• الگوریتم روش شاخه و حد ۱۶
۲-۴-۳- روشهای تکاملی ۱۸
• جستجوی همسایه ۱۹
• روش شبیه‌سازی بازپخت (SA) ۱۹
• روش جستجوی تابو ۲۰
۲-۴-۴- روشهای مبتنی بر جمعیت ۲۰
• الگوریتم بهینه‌سازی جامعه مورچه‌ها (ACO) ۲۱

• الگوریتم بهینه‌سازی تزویج زنبورهای عسل (HBMO) ۲۱
• الگوریتم ژنتیک (GA) ۲۱

فصل سوم: الگوریتم ژنتیک، تاریخچه و ساختار

۳-۱- مقدمه ۲۲
۳-۲- پیدایش الگوریتم ژنتیک ۲۳
۳-۳- مدل الگوریتم ژنتیک و ساختار آن ۲۴
۳-۳-۱- تعاریف مورد نیاز ۲۴
۳-۳-۲- جمعیت اولیه ۲۶
۳-۳-۳- کدگذاری ۲۷
۳-۳-۴- تابع برازندگی ۲۸
۳-۳-۵- توابع انتخاب ۲۸
• چرخ گردان(Roulette wheel) ۲۹
• روش تورنومنت (Tournament) ۳۰
• انتخاب یادآور (Reminder) ۳۱
۳-۳-۶- نخبه گرایی ۳۲
۳-۳-۷- عملگر تبادل ۳۲
• تبادل یک نقطه‌ای ۳۳
• تبادل دو نقطه‌ای ۳۳
• تبادل پراکنده ۳۴
۳-۳-۸- عملگر جهش ۳۴
• تغییر مقدار ژن ۳۶
• تعویض مقدار دو ژن ۳۶
۳-۳-۹- نحوه برخورد با جواب‌های خارج از فضای شدنی در الگوریتم ژنتیک ۳۶
• راهکار حذف ۳۷
• راهکار ترمیم ۳۷
• راهکار اصلاح عملگرها ۳۷
• راهکار جریمه ۳۸
۳-۳-۱۰- معیارهای توقف ۳۸
• محدودیت تولید نسل ۳۹
• همگرایی نسل ۳۹
• حد همگرایی تابع ۳۹
۳-۳-۱۱- همگرایی ۳۹
۳-۴- تاریخچه و کاربردهای الگوریتم ژنتیک در مهندسی آب ۴۰

فصل چهارم: فرمولبندی مدل بهینه‌سازی MILP در تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد

۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- سد مخزنی چراغ ویس ۴۴
۴-۳- گزینه‌های بهره‌برداری از مخزن سد ۴۵
۴-۴- اهداف احداث سد ۴۶
۴- ۵- فرمول بندی مدل تعیین ظرفیت بهینه سد چراغ ویس ۴۸

فصل پنجم: حل مدل بهینه سازی تعیین ظرفیت مخزن با روشهای شاخه و حد، GA-LP و GA

۵-۱- مقدمه ۵۲
۵-۲- حل مساله بوسیله الگوریتم شاخه و حد (Branch & Bound) ۵۳
۵-۳- مدل GA-LP ۵۵
• کد نویسی قسمت برنامه ریزی خطی (LP) ۵۶
۵-۳-۱- جمعیت اولیه کاملاً تصادفی و ضریب جریمه متحرک ۶۰
۵-۳-۲- جمعیت اولیه هدایت شده و ضریب جریمه متحرک ۶۴
۵-۳-۳- جمعیت اولیه تصادفی حاوی جواب شدنی با ضریب جریمه متحرک و ثابت ۶۸
۵-۴- تحلیل مسأله در شرایط اعمال کنترل بر اعتمادپذیری تامین نیاز شرب علاوه بر نیازهای کشاورزی ۷۰
۵-۵- حل مدل با استفاده از الگوریتم GA ۷۶
۵-۵-۱- حل بوسیله الگوریتم GA با دوره های ۳، ۵ و ۱۰ ساله ۸۹

فصل ششم: خلاصه، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱- خلاصه ۹۶
۶-۲- نتیجه‌گیری ۹۷
۶-۲- ارائه پیشنهادات ۱۰۱
منابع ۱۰۳
ضمائم ۱۰۶

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در چند دهه اخیر رشد سریع جمعیت و صنعتی شدن جوامع، نیاز به آب را در بخشهای کشاورزی، صنعتی، شرب و بهداشت بیش از پیش نمایان ساخته است. از طرفی محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و قابل دسترسی باعث شده است تا مدیریت و برنامه‌ریزی در بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود به یکی از مهمترین دغدغه‌های بشر امروز تبدیل گردد.

یکی از مهمترین و کارآمدترین ابزار در دسترس انسان به منظور کنترل و ذخیره آب شیرین، مخازن سدها می‌باشند. از آنجا که ساخت مخازن کنترل و ذخیره خود نیز هزینه‌های گزافی را بر کارفرمایان تحمیل می‌نماید در فرآیند طراحی مخازن باید به شکلی عمل نمود که بتوان با حداقل سرمایه، بیشترین مقدار آب را ذخیره ساخت. این امر مستلزم برآورد حدالامکان دقیق و واقعی پتانسیل‌های موجود و همچنین مدیریت تخصیص بهینه آب به هر یک از مصرف کنندگان می‌باشد. بروز خطا در انجام محاسبات و عدم توجه لازم به این امر سبب می‌گردد که حجم سد بیشتر از مقدار موردنیاز برآورد شده و هزینه‌های اضافی زیادی را بر پروژه تحمیل نماید و عملاً قسمتی از پتانسیل ایجاد شده بلااستفاده باقی بماند. در مقابل با برآورد کمتر از حد واقعی علاوه بر بالا رفتن میزان ریسک در امنیت پایین دست، نمی‌توان از تمام آب قابل دسترس استفاده نمود که این خود باعث افول در کارآیی سیستم بهره برداری

می‌گردد. با توجه به اهمیت موضوع، استفاده از مدلهای ریاضی جهت بهینه‌سازی در بهره‌برداری از مخازن مورد توجه بیشتر تصمیم‌گیرندگان و محققان قرار گرفته است. با اینکه توسعه مدلهای بهینه‌سازی بهترین ابزار جهت حصول این امر است، حل مدلهای توسعه داده شده با در نظر گرفتن شرایط عملی و واقعی پروژه، با پیچیدگیهای زیادی مواجه می‌گردد . روشهای حل مدلهای بهینه‌سازی واقعی خصوصاً در مسائل مربوط به مخازن آبی و تخصیص منابع، اغلب راه‌حلهایی تکراری با پیشرفت کند به سمت جواب اصلی هستند که در بعضی موارد با وجود پیشرفت و تکامل بوجود آمده در ابزارهای محاسباتی مدرن، هنوز دارای زمان حل طولانی بوده و حتی گاهی غیر قابل حل می‌نمایند.

این راه‌حلها عموماً براساس یک سری فرضیات مانند پیوستگی تابع هدف و مشتق‌پذیری آن عمل می‌نمایند که در صورت عدم برقراری این شرایط حل مسئله با مشکل روبرو می‌شود. مثلاًدر مسائلی با عدم پیوستگی فضای جستجو با حل یک مسئله بهینه‌سازی ترکیبی مواجه می‌شویم. در اینگونه موارد روش برنامه‌ریزی پویا (DP)[1] نیز در صورت افزایش متغیرهای حالت مسأله به علت افزایش نمایی تلاشهای محاسباتی، دچار مشکل کثرت بُعد می‌گردد. (Heidari, M., Chow, V. T, 1971).

گذشته از معضلات فوق الذکر و با فرض وجود پیش شرطهای لازم برای استفاده از این روشها، با افزایش پیچیدگیهای مسئله و همچنین تعداد متغیرها و قیود آن، احتمال همگرایی به جوابهای بهینه موضعی بسیار زیاد می‌شود. بنابراین روشهایی بیشتر مورد عنایت قرار می‌گیرند که به شکل توابع وابستگی زیادی نداشته و در مواجهه با موارد فوق، تحت تأثیر کمتری قرار گیرند.

اخیراً الگوریتمهای فراکاوشی به دلیل سادگی و همچنین عدم وابستگی زیاد به نوع مسایل که به دور از پیچیدگیهای معمول سعی در رسیدن به جواب بهینه را دارد، مورد توجه قرار گرفته‌اند. الگوریتهای فراکاوشی یک نام عمومی برای روشهایی است که عموماً از طبیعت و منطق حرکت تکاملی آن برگرفته شده‌اند. در سالهای گذشته این الگوریتمها با پیشرفتی سریع در حل مسائل پیچیده و مشکل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

این روشها هر چند ممکن است تضمینی قطعی برای رسیدن به جواب بهینه بدست ندهند ولی مکانیزمها و عملگرهای مورد استفاده در آنها با هدایت عملیات جستجو به سمت ایجاد مطلوبیت، احتمال رسیدن به جواب بهینه سراسری و یا جوابی نزدیک به آن را افزایش می‌دهد. از اینرو در این پایان نامه استفاده از این نوع روشها در ترکیب با

1-Dynamic Programming

سرعت روشهای بهینه سازی خطی برای تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد از دیدگاه مطالعات منـابع آب و سـد سـازی مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۲- هدف تحقیق

استفاده از روشهای برنامه ریزی ریاضی و مدلهای بهینه سازی در تعیین ظرفیت بهینه مخازن سدها با اهـداف تـامین نیازهای آبی مختلف سالهاست که مورد توجه و تحقیق بوده است. روشهای معمول در حل مسائل بهینه‌سازی با وجود اینکه پایه‌های استوار و منطقی در ریاضیات دارند، ولی همـانطور کـه گفتـه شـد در مـسائل غیرمحـدب، غیرخطـی و غیرپیوسته با ابعاد و پیچیدگی‌های زیاد، کارآیی مناسب خود را از دست داده و ضمن طولانی شـدن زمـان محاسـبات گاه ممکن است به جواب بهینه مطلق همگرا نشده و حتی دریافتن یک جواب موجه نیز دچار مشکل شوند (Cai et al.,2001) . بنابراین توسعه اینگونه مدلها بوسیله روشهای مناسبی که پاسخگوی نیـاز در شـرایط کـاربردی و نزدیک به واقعیت باشند، در جهت پیشبرد اهداف بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها موضـوعی اسـت کـه کماکـان بـه تحقیق و بررسی بیشتری نیازمند است.

روشهای تکاملی مبتنی بر جستجو با ساختارهای برگرفته از فرآیندهای طبیعی شرایطی را فراهم می‌سازند که بتـوان بدون نگرانی از شکل و نوع مسأله مبادرت به حل آن نمود. ازآنجا که اساس این روشـها بـر پایـه جـستجوی تـصادفی است و یافتن جوابهای مناسب در یک روند تکامل تدریجی و در تکرارهای متوالی صـورت مـی‌پـذیرد، کـاهش فـضای جستجو این امکان را فراهم می‌سازد که الگوریتمهای فراکاوشی به صورت موثرتر عمل نموده و احتمـال موفقیـت آنهـا نیز افزایش یابد.

از سوی دیگر روشهای برنامه‌ریزی خطی در بین تمامی روشهای ریاضی از دقـت و کـارآیی بیـشتری در حـل مـسائل برخوردارند. بنابراین استفاده توأم روشهای برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم‌های فراکاوشی می‌تواند راه‌حل مناسبی جهـت توسعه یک مدل ترکیبی و ایجاد روشی برای حل سریع تر مسائل پیچیده بهینه‌سازی باشد.

هدف از مطالعه حاضر تحلیل یک مساله کلاسیک منابع آب یعنی تعیین ظرفیت بهینه مخـزن (ارتفـاع) یـک سـد در دست مطالعه جهت تامین انواع نیازهای آبی شرب، کشاورزی و زیست محیطی با استفاده از یـک مـدل برنامـه ریـزی

ریاضی است. این مدل بایستی قابلیت اعمال کنترل و تنظیم سطح اعتماد پذیری در تامین انواع نیازهای آبی مذکور را داشته باشد. از آنجا که مدل بهینه سازی حاصل جهت حل مساله مذکور یک مدل MILP با تعداد زیاد متغیرهای گسسته دو مقداره می باشد، حل مدل حاصل با استفاده از روشهای ترکیبی کاوشی و گرادیان-پایه و مقایسه آن با روشهای مرسوم بهینه سازی در حل این نوع مسایل در تحقیق حاضر مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۳- دامنه و متدولوژی تحقیق

همانطور که ذکر شد، در این تحقیق مساله تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد در سیستمهای تک مخزنه مطالعه خواهد شد. بدین منظور از ابزار مدلسازی ریاضی در قالب استفاده و توسعه یک مدل برنامه ریزی ریاضی (بهینه سازی) استفاده خواهد شد. مدل بهینه سازی مورد نظر یک مدل معین یا قطعی (Deterministic) در شرایط احتساب نوسانات زمانی هیدرولوژیک آورد رودخانه در بلند مدت می باشد. بنابراین مدل حاصل یک مدل قطعی و دارای چندین گام زمانی (Multi - Period) در افق بلند مدت خواهد بود که در آن اثرات فرآیند استوکستیک آورد رودخانه در قالب استفاده از یک سری بلند مدت تاریخی یا مصنوعی از آورد رودخانه بصورت ضمنی لحاظ می گردد.

به منظور تبیین مساله تحت بررسی در ابتدا فرمولبندی مدل بهینه سازی شامل تابع هدف و محدودیتهای مساله بیان شده و مدل بهینه سازی MILP منتج از آن توسعه می یابد. در ادامه حل مدل بهینه سازی حاصل با استفاده از ۳ روش و الگوریتم مد نظر قرار گرفته است.

روش اول استفاده از الگوریتم متداول و شناخته شده شاخه و حد برای حل مسائل بهینه سازی خطی آمیخته با متغیرهای گسسته و حل آن با استفاده از یک نرم افزار کارآمد نظیر Lingo می باشد.

روش دوم حل مساله مذکور توسط یک مدل الگوریتم ژنتیک را شامل می شود. در این روش یک رشته یا کروموزوم در مدل GA -که نماینده یک کاندید جواب مساله است- شامل تمامی متغیرهای حقیقی و گسسته (دو مقداره) می باشد.

نهایتاً در روش سوم مساله بهینه سازی مورد نظر با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی ژنتیک-برنامه ریزی خطی (GA-LP) تحلیل خواهد شد. در این روش تولید و تکامل متغیرهای دو مقداره (صفر و یک) توسط مدل GA انجام

می گردد. به نوعی که با معلوم شدن این متغیرها توسط مدل GA ، باقیمانده مدل یک مساله LP خواهد بود. بنابراین هر کروموزوم یا رشته در GA صرفاً حاوی متغیرهای Binary مدل MILP خواهد بود و وظیفه تعیین سایر متغیرهای حقیقی مساله به یک مدل LP سپرده می شود. دراینصورت هر بار ارزیابی تابع هدف به ازای هر کاندید جواب در درون مدل GA مستلزم حل یک مدل LP خواهد بود.

روشهای سه گانه مذکور در طراحی و تعیین ارتفاع سد چراغ ویس به عنوان مطالعه موردی ارزیابی شده و کارایی آنها از منظر سرعت محاسباتی و کیفیت جوابها در شرایط مختلف با هم مقایسه می گردند.

با توجه به متدولوژی فوق ساختار کلی پایان‌نامه در فصول مختلف به شرح زیر می‌باشد:

در فصل دوم پس از بیان کلیاتی راجع به مفاهیم و اصول مدلهای بهینه‌سازی، روشهای مختلف آن به اختصار توضیح داده می‌شود. در ادامه تاریخچه‌ای از روشهای مختلف فراکاوشی خصوصاً الگوریتم ژنتیک همراه با قوانین و کاربردهای آن در بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها بیان می‌گردد.

در فصل سوم تشریح الگوریتم ژنتیک، ایده شکل گیری، ساختار و مکانیزمهای موجود در آن ارائه شده است. در انتها با بیان الگوی شباهت در الگوریتمهای ژنتیک، دلایل همگرایی آن به جوابهای مورد قبول ذکر شده است.

فصل چهارم به تشریح مسأله مورد مطالعه یعنی تعیین ظرفیت بهینه مخزن سد پرداخته و پس از ارایه ساختار مدل بهینه سازی، مشخصات سیستم مطالعه موردی سد چراغ ویس، داده های پایه مربوط به آن و فرمولبندی مدل بهینه سازی مساله عرضه می گردد.

در فصل پنجم حل مدل بهینه سازی توسعه یافته در فصل چهارم با استفاده از ۳ روش شاخه وحد، GA و GA-LP انجام شده و نتایج از هر یک از آنها ارائه خواهد شد. در ابتدا حل مساله با روش شاخه و حد و با استفاده از نرم افزار Lingo مورد توجه قرار گفته است. سپس عملکرد مدل GA در رابطه با مدل مذکور بررسی شده و حل مدل با استفاده از ضرایب جریمه ثابت و دینامیک در تابع هدف مساله ارزیابی می‌شود. نهایتاً مدل ترکیبی GA-LP مورد آزمون قرار گرفته و نقاط قوت آن نسبت به دو روش قبل مورد بحث قرار می گیرد. در این فصل در هر یک از مدلهای GA ، اهمیت انتخاب یک جمعیت اولیه مناسب و نحوه تأثیر آن بر عملکرد مدل بررسی می‌گردد.

در نهایت فصل ششم به بیان خلاصه‌ای از کارهای انجام شده، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای ادامه پژوهش می پردازد.

فصل دوم

بهینه سازی و کاربرد آن در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب

۲-۱- مقدمه

در چند دهه اخیر افزایش روز افزون جمعیت و به تبع آن افزایش نیازهای آبی از قبیل شرب، کشاورزی، صنعت و همچنین محدودیت منابع آب باعث شده است تا بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب موجود همراه با در نظر گرفتن صرفه‌های اقتصادی آن، مورد توجه محققان و کارشناسان قرار گیرد. در اینگونه موارد تصمیم گیری، یک روش علمی برای انتخاب بهترین راهکار موجود می باشد. در مسائل تصمیم گیری به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر میتوان مساله را به صورت یک مدل ریاضی تبدیل نمود و از روشهای بهینه سازی موجود بهره جست.

نظر به اینکه مشکلات کمی و کیفی آب در مناطق مختلف و مصارف متفاوت یکسان نیست، برخوردهای سیستمی متفاوت و یک نگرش مدیریتی یکپارچه در طراحی و استفاده از سیستمهای آبی ضروری به نظر می‌رسد. برخورد سیستمی و مدیریت یکپارچه منابع آب نیز آشنایی به اصول برنامه‌ریزی را می‌طلبد.

در مرحله اول باید اهداف و محدودیتهای کمی و کیفی شناسایی گردند. جمع آوری اطلاعات و پردازش آنها بخش عمده این قسمت را شامل می‌شوند که این فرآیند دارای مراحل زیر می‌باشد:

۱. تعیین خصوصیات هواشناسی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و زیست محیطی منطقه موردنظر.

۲. بررسی شرایط اقتصادی، فرهنگی و سیاسی منطقه.

۳. بررسی مشخصات فیزیکی منابع آب و امکانات موجود در سیستم.

۴. بررسی قوانین، حق آبه‌ها و ارتباطات اداری ـ سازمانی موجود.

۵. پردازش اطلاعات، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت‌ها و پیش‌بینی شرایط آتی.

مرحله دوم شامل انتخاب یک مدل شبیه سازی و بهینه‌سازی برای یافتن گزینه‌های مناسب است. در این بخش پارامترهای عدم قطعیت و محاسبه احتمال شکست (ریسک) برای هر گزینه انجام می‌شود.

در مرحله سوم روشهای حل اختلاف و تصمیم‌گیری چند معیاره برای مقایسه گزینه‌های موجود و انتخاب گزینه نهایی مطرح می‌گردند. در این مرحله شرایط موجود، محدودیتهای سیاسی و اجتماعی و ارتباطات سازمانی و نحوه توزیع اعتبارات مالی نقش مهمی را در انتخاب گزینه نهایی دارند. بطوریکه ممکن است گزینه بهینه از لحاظ عملی در این مرحله غیرقابل قبول تشخیص داده شده و گزینه های دیگر مورد توجه قرار گیرند. به همین دلیل در حل اینگونه مسائل، بدست آوردن یک جواب تحت شرایط خاص کافی به نظر نمی‌رسد و باید چندین گزینه با شرایط متفاوت در اختیار تصمیم گیرنده قرار گیرد تا با توجه به ملاحظات لازم، یکی از آنها به عنوان گزینه نهایی انتخاب شود. پس از انتخاب و تصویب طرح، اجرا و بهره‌برداری از آن آغاز می‌گردد. در این مرحله نیز نیاز به نظارت و ارزشیابی مستمر سیستم می‌باشد. از نتایج بدست آمده در این مرحله جهت بازنگری طرح یا بهنگام سازی سیاستهای بهره‌برداری و به عنوان تجربه‌ای برای طرحهای آتی استفاده می‌شود (کارآموز و کراچیان، ۱۳۸۲).

۲-۲- تعریف سیستم و خصوصیات آن

هر ساختاری که متشکل از اجزای دارای تعامل می‌باشد و در اثر یک ورودی، یک یا چند خروجی را نتیجه می‌دهد، سیستم نامیده می‌شود. خصوصیات مشترک سیستمهای منابع آب به قرار زیراند:

ـ تمامی سیستمها دارای ساختار و سازماندهی می‌باشند.

ـ یک شکل کلی، خلاصه شده و یا ایده آلی از دنیای واقعی می‌باشند.

ـ بین اجزای سیستم ارتباطات عملکردی[1] و ساختاری[2] وجود دارد.

ـ رابطه بین ورودی و خروجی و مشخصات آنها از ویژگیهای مهم هر سیستم است.

در کل، مشخصات یک سیستم به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود :

ـ ورودی و خروجی سیستم

ـ قوانین فیزیکی حاکم بر سیستم

ـ وضعیت و شرایط اولیه سیستم

ـ عوامل محیطی موثر بر سیستم

در مسائل تصمیم‌گیری برای رسیدن به اهداف موردنظر باید مسئله را به صورت یک مدل در نظر گرفت.

مدل در حقیقت نمایشی از واقعیت و صورت ساده شده آن است (کارآموز و کراچیان، ۱۳۸۲).

۲-۳- انواع مدلها

انواع مدلهای مورد استفاده به شرح زیر می‌باشند :

۲-۳-۱-مدلهای شمایلی

نمایش فیزیکی از سیستم بوده و غالباً دارای مقیاس متفاوت از سیستم اصلی است.

۲-۳-۲- مدلهای شبیه‌سازی[1]

1-functional
2-Structural

در تجزیه و تحلیل سیستمهای پیچیده به علت وجود تعداد زیاد اجزا تأثیر گذار در سیستم و ارتباطات پیچیده و بعضاً نامعلوم بین آنها، امکان بسط یک الگوریتم یا یک مدل ریاضی برای حل مسأله وجود ندارد. در اینگونه موارد مدلهای شبیه‌سازی به عنوان مناسب‌ترین ابزار موجود برای حل مساله، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی در شبیه‌سازی، سیستم به ازای مقادیر جوابهای امکان‌پذیر ورودی می‌تواند مشخصات مدل و میزان دستیابی به اهداف را در ازای مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم، تحقیق نماید.

اکثر مدلهای شبیه‌سازی که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دو دسته زیر قابل تقسیم‌اند.

- **مدلهای شبیه سازی قطعی**

مدلهای شبیه سازی قطعی ، عدم قطعیت‌های موجود در پارامترها و متغیرها را در نظر نمی‌گیرند و عموماً برای تصمیم‌گیری‌های اولیه و مقایسه کلی بین گزینه‌های مختلف کاربرد دارند. مبنای اغلب مدلهای شبیه سازی در سیستمهای منابع آب، قانون بقای جرم یا بیلان آب می‌باشد.

- **مدلهای شبیه سازی غیر قطعی**

این مدلها ترکیبی از مدلهای قطعی و استوکستیک می‌باشند و امکان در نظر گرفتن خصوصیات احتمالاتی برخی از متغیرهای سیستم را فراهم می‌سازند. نتایج اینگونه مدلها نیز اغلب به صورت احتمالاتی بیان می‌شود.

یکی از روشهای مرسوم در شبیه سازی غیرقطعی، روش مونت کارلو[۲] می‌باشد.

3-Simulation Models
1--Monte-Carlo Simulation

۲-۳-۳- مدلهای ریاضی

از طریق قوانین و علائم موجود در علم حساب، سیستم موردنظر بصورت روابط ریاضی نوشته می‌شود. این مدلها به صورت عام طراحی شده و می‌توانند موقعیت‌های مختلف را تشریح کنند. استفاده از مدلهای ریاضی بسیار کارآمدتر و شایع‌تر از دو مدل قبل می‌باشد. دلایل عمده استفاده از مدلهای ریاضی به شرح زیراند :

ـ شناسایی تعداد نامحدودی از راه‌حل‌ها را ممکن می‌سازد.

ـ منجر به کوتاه شدن زمان طراحی و حل مدل می‌شود.

ـ تغییر در متغیرهای مدل، آسان‌تر از دستکاری در دو مدل قبل است.

ـ هزینه تجزیه و تحلیل آزمون و خطا در مدل ریاضی بسیار کمتر است.

- **اجزای یک مدل ریاضی**

۱)تابع هدف: تابع هدف قسمتی از مدل است که هدف از حل مساله کمینه‌سازی یا بیشینه‌سازی آن می‌باشد.

۲)متغیرهای تصمیم[1]: گزینه‌های ممکن در تصمیم‌گیری که در مدل ریاضی در نظر گرفته می‌شوند.

۳)فضای تصمیم[2]: مجموعه متغیرهای تصمیم، فضای تصمیم را تشکیل می‌دهند.

۴)محدودیت (قید[3]) : محدودیت‌های مالی، اجتماعی، تکنیکی و زیست محیطی که جوابهای مورد قبول را محدود می‌نمایند.

۵)جوابهای شدنی[4]: جوابهایی که کلیه قیود را برآورد می‌سازند.

در ادامه به تحلیل مدل ریاضی در قالب مدلهای بهینه‌سازی پرداخته می‌شود.

۲-۴-مدلهای بهینه‌سازی[5]

1-Decision Variables
2-Decision Space
3-Constraints
4-Feasible Solutions
5-Optimization Models

بهینه‌سازی در واقع یافتن مقادیری برای متغیرهای سیستم است، بطوریکه تابع هدف موردنظر بهینه گردد. مدلهای بهینه سازی بطور کلی به دو دسته مدلهای بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه تقسیم می‌شوند. در مدلهای تک هدفه همانطور که از نام آن نمایان است، مطلوب بهینه‌سازی یک معیار می‌باشد (مثلاً بدست آوردن حداقل هزینه)، و در مدلهای چند هدفه، چند معیار همزمان با یکدیگر بهینه سازی می‌شوند (مثلاً بدست آوردن حداقل هزینه و حداکثر کیفیت).

در اینگونه موارد مدلهای شبیه‌سازی به عنوان مناسب ترین ابزار موجود برای حل مسأله مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطور کلی در شبیه‌سازی، سیستم به ازای مقادیر جوابهای امکان‌پذیر ورودی می‌تواند مشخصات مدل و میزان دستیابی به اهداف را در ازای مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم، تحقیق نماید.

۲-۴-۱- انواع مدلهای بهینه سازی تک هدفه

- **مدلهای بهینه سازی خطی**

اینگونه مدلها با استفاده از روش ریاضی و تشکیل معادله درجه یک، سعی در یافتن بهترین ترکیب از فعالیتها و تخصیص منابع با توجه به محدودیتهای موجود و شرایط حاکم بر مسأله دارند.

- **برنامه‌ریزی خطی**[1]

این مدل یک مدل بهینه سازی تک هدفه با متغیرهای پیوسته می‌باشد. به منظور ارائه یک شکل کلی، فرض کنید $x_1, x_2, \ldots, x_n$ متغیرهای تصمیم گیری بوده و تابع هدف موردنظر به صورت زیر باشد :

$$f_{(x)} = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \qquad (۱-۲)$$

1-Linear programming

که در رابطه فوق $c_1, c_2, \ldots, c_n$ ضرایب ثابت و معلوم می‌باشند.

این رابطه را می‌توان به صورت ماتریسی درآورد :

$$f(x) = [c].[x] = [c_1 \;\; c_2 \;\; \ldots \;\; c_n].\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \qquad (۲-۲)$$

محدودیتها نیز در این مدل بصورت خطی هستند که می‌توانند بصورت مساوی یا نامساوی باشند :

شکل ماتریسی محدودیتها به صورت زیر است :

$$[a]_{m\times n}.[x]_{n\times 1} = [b]_{m\times 1} \qquad (۳-۲)$$

$$[a]_{m\times n}.[x]_{n\times 1} \geq [b]_{m\times 1} \qquad (۴-۲)$$

روشهایی که معمولاً برای حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- روش ترسیمی
- روش نقاط داخلی (Interior Points Method)
- روش سیمپلکس (Simplex Method) .

۲-۴-۲- برنامه‌ریزی همراه بامتغیرهای صحیح[1]

1-Mix Integer Programming

برنامه‌ریزی همراه با متغیرهای صحیح نوع خاصی از برنامه‌ریزی خطی یا غیر خطی است که در آن یک یا چند متغیر تصمیم‌گیری باید عدد صحیح باشند. در بسیاری از مسائل واقعی مقادیر اعشاری برای برخی متغیرها قابل قبول نیستند. این مسأله زمانی مصداق پیدا می‌کند که متغیر نشانگر وضعیت دو گانه‌ای به صورت بلی یا خیر باشد که در آن صورت عدد یک نشاندهنده بلی و عدد صفر نشاندهنده وضعیت خیر می‌باشد. حال چنانچه جواب عددی غیر ۱ و صفر، مثلاً ۰/۵ باشد، در این صورت تصمیم گیرنده دچار ابهام می‌گردد. لیکن در مدل برنامه‌ریزی متغیرهای صحیح، چنین متغیرهایی بطور حتم صفر یا یک هستند.

مدلسازی در برنامه‌ریزی همراه با متغیرهای صحیح دارای قابلیت انعطاف بیشتری بوده و در عین حال بصورت یک محدودیت در مدل نمایان می شود. لذا حل چنین مسائلی در عمل مشکل‌تر است.

انواع مسائل برنامه‌ریزی همراه با اعداد صحیح بصورت زیر قابل تقسیم می‌باشند :

ـ برنامه‌ریزی اعداد صحیح :

عبارتست از یک مدل برنامه‌ریزی خطی یا غیر خطی که در آن تمام متغیرها به شکل عدد صحیح باشند.

ـ برنامه‌ریزی صفر و یک :

عبارتست از یک هم مدل برنامه‌ریزی خطی که در آن تمام متغیرها از نوع دوتایی صفر و یک باشند.

ـ برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط[1]:

عبارتست از یک مدل برنامه‌ریزی خطی که در آن بعضی از متغیرها بصورت عدد صحیح و بعضی دیگر حتماً صفر یا یک باشند.

از آنجا که بیشتر مدلهای برنامه‌ریزی متغیرهای عدد صحیح فرم برنامه‌ریزی خطی دارند، لذا از تمام ابزارهای موجود در این زمینه می‌توان بهره‌مند گشت. بعلاوه استفاده از متغیرهای عدد صحیح به مدلساز توانایی‌های فراوانی می‌دهد که در نتیجه آن می‌تواند در عمل مسائل بسیاری را فرموله کند.

برای فرموله کردن مدل برنامه‌ریزی خطی همراه با متغیرهای عدد صحیح که در این پایان‌نامه از آن استفاده شده است، برخی محدودیتهای یک مدل برنامه‌ریزی خطی بصورت زیر تغییر می‌کنند.

2-Mix Integer Linear Programming