به نام خدا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی صنایع

رساله دکتری

تدوین یک الگوریتم ژنتیک یادگیرنده فازی با کاربرد در بهره‌برداری از مخازن سدها

تدوین: مهرداد حکیمی آسیابر

استاد راهنما: دکتر سیدحسن قدسی‌پور

اساتید مشاور:
دکتر عباس سیفی
دکتر رضا کراچیان

تیر ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی 7

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی:مهرداد حکیمی آسیابر دانشجوی آزاد ● بورسیه ○

شماره دانشجوئی: 81125958 دانشکده:صنایع رشته تحصیلی:مهندسی صنایع گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: سیدحسن قدسی پور درجه و رتبه: : دانشیار

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی:رضا کراچیان درجه و رتبه: دانشیار

نام و نام خانوادگی:عباس سیفی درجه و رتبه: : دانشیار

عنوان پایان‌نامه به فارسی : تدوین یک الگوریتم ژنتیک یادگیرنده فازی با کاربرد در بهره‌برداری از مخازن سدها

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:

Development of a Learnable Fuzzy Genetic Algorithm with its Application in Multi-Reservoir Operation Planning

نوع پروژه: دکتـــرا سال تحصیلی:88-1387

● کاربردی ○ بنیادی

● توسعه‌ای ○ نظـــری

تاریخ شروع : 1381 تاریخ خاتمه : 1387 تعداد واحد :50 سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فـــارسی: الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی‌برگرادیان، الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده، شبکه‌های عصبی خودسازمان‌ده کوهونن[1]، برنامه‌ریزی فازی، سیستم سدهای چندمخزنه

واژه‌های کلیدی به انگلیسی :

Gradient-Based Genetic Algorithm, Multi-Objective Self-Learning Genetic Algorithm, Kohonen's Self-Organizing Map (SOM), Fuzzy Programming, Multi-Reservoir Operation Planning

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات 183	تصویر جدول نمودار نقشه واژه‌نامه		تعداد مراجع 100	تعداد صفحات ضمائم 12
زبان متن	● فارسی ○ انگلیسی	چکیده	● فارسی ● انگلیسی		
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

چکیده

روشهای الگوریتم ژنتیک از قابلیت مناسبی در حل مسائل چندهدفه برخوردارند و در هر بار اجرا مجموعه‌ای از نقاط بهینه را در قالب مسیر بهینگی چندهدفه ارائه می‌کنند. قابلیت حل مسائل با هر درجه غیرخطی و نیز مسائل غیرمحدب و مشتق‌ناپذیر حوزه کاربرد این روشها را وسیعتر کرده است. اما این روشها دارای نقاط ضعفی از جمله کندی همگرایی و عدم‌دقت در ارائه حلهای بهینه و زمان نسبتاً زیاد حل هم هستند و این ضعفها به ویژه در زمینه الگوریتمهای چندهدفه نمود بیشتری دارند.

در این رساله، ضمن بررسی ادبیات زمینه الگوریتمهای ژنتیک و تعیین نقاط قوت و ضعف آنها، تلاش شده است که الگوریتمهایی توسعه داده شودکه از نظر شاخصهای عملکردی، الگوریتمهای ژنتیک چندهدفه موجود را بهبود دهند. در این راستا پس از مرور ادبیات، شاخصهایی که مبنای مقایسه را فراهم می‌آورند، الگوریتم مبنا که نتایج الگوریتمهای توسعه داده شده با آن مقایسه می‌گردد و مسأله پایه برای اجرای الگوریتمهای توسعه داده شده (مسأله توسعه سیاستهای بهره‌برداری از سیستم سدهای چندمخزنه به صورت قطعی و فازی) مشخص شده‌اند.

در ادامه سه نوع الگوریتم ژنتیک چندهدفه جدید زیر براساس نقاط قابل بهبود الگوریتمهای موجود، توسعه داده شده‌اند:

- الگوریتم ژنتیک مبتنی‌برگرادیان که درآن توسعه نسلهای بعدی به صورت تصادفی نیست بلکه با استفاده از اطلاعات گرادیان، نسلهای بعدی تولید می‌شوند. این استراتژی باعث می‌گردد که ضمن برخورداری از مزایای الگوریتم ژنتیک، دقت جستجوی محلی الگوریتم بهتر شده و جوابهای بهتری در زمان کمتری تولید شود.
- الگوریتم ژنتیک یادگیرنده که از ترکیب یک الگوریتم ژنتیک با شبکه‌های عصبی خودسازمانده کوهونن [۵۱] توسعه داده شده است. این شبکه‌ها برای آموزش نیاز به مجموعه‌ای از داده‌ها دارند که این داده‌ها به آسانی در الگوریتمهای ژنتیک تولید می‌شوند و قابل دسترس‌اند. شبکه نرونها در حین آموزش جوابهای جدیدی توسعه می‌دهد که می‌توان از آنها برای ارتقاء کیفیت مجموعه حل جمعیت خارجی یا آرشیو استفاده کرد. نتایج اجرای این روش قابل توجه بوده و در سه زمینه زمان پردازش، پراکندگی حل و دقت مجموعه حل نهایی الگوریتم مبنا (NSGA-II) را بهبود داده است.
- - الگوریتم ژنتیک یادگیرنده مبتنی‌برگرادیان که از ترکیب دو الگوریتم ژنتیک مبتنی‌برگرادیان و الگوریتم ژنتیک یادگیرنده توسعه داده شده است و در آن شبکه عصبی خودسازمانده با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبتنی‌برگرادیان آموزش می‌بیند. دقت بیشتر حلهای این الگوریتم و تعداد بیشتر حلهای مؤثر آن باعث افزایش کارآیی و اثربخشی الگوریتم ژنتیک یادگیرنده شده است و براساس شاخصهای عملکردی نتایج بدست آمده به نحوی است که بهبودی جامع در همه زمینه‌های مشخص شده ایجاد شده است.

کارآیی مدلهای پیشنهادی با استفاده از اطلاعات سیستم چندمخزنه کارون–دز ارزیابی شده است.

کلمات کلیدی:
الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی‌برگرادیان، الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده، شبکه‌های عصبی خودسازمان‌ده کوهونن[1]، برنامه‌ریزی فازی، سیستم سدهای چندمخزنه

[1] -Kohonen's Self-Organizing Map (SOM)

فهرست مطالب

چکیده ii
مقدمه ۱
فصل اول: معرفی مشخصات تحقیق ۳
۱-۲- *هدف از تحقیق* ٤
۱-۳-*حدود کاری تحقیق* ٥
۱-۴- *ضرورت انجام تحقیق* ٦
۱-۵- *سازماندهی رساله* ۷
فصل دوم: مرور ادبیات ۱۰
۲-۱-مقدمه ۱۱
۲-۲-روشهای حل با استفاده از روشهای برنامه‌ریزی ریاضی ۱۱
-*مدلهای خطی* ۱۱
-مدلهای برنامه‌ریزی پویا ۱۳
- *مدلهای ریاضی برای حل مسائل چندهدفه* ۱۳
۲-۳- روشهای جستجو ۱۵
۲-۳-۱- روشهای جستجو مبتنی‌برگرادیان ۱۵
۲-۳-۲- روشهای شمارش کامل ۱٦
۲-۳-۳- روشهای جستجوی تصادفی ۱۷
- *الگوریتمهای ژنتیک با شبکه‌سازی در فضای جستجو* ۲۱
۲-۳-۴- *الگوریتمهای ترکیبی* ۲٤
۲-۳-۴-۱-*الگوریتمهای ترکیبی ژنتیک مبتنی‌برگرادیان* ۲٦
۲-۳-۴-۲-*مرور ادبیات روشهای الگوریتم ترکیبی ژنتیک مبتنی بر یادگیرندگی* ۲۹
۲-۴- *نتیجه‌گیری کلی از مرور ادبیات* ۳۳
فصل سوم: تشریح صورت مسأله کاربردی و روشهای مورد استفاده ۳۵
۳-۱- *مقدمه* ۳٦
۳-۲- *شرح صورت مسأله کاربردی* ۳٦
۳-۳-*مشخصات سدها* ۳۷
۳-۴ -*داده‌های سیستم* ٤۲
۳-۵- *تعیین حجم زهاب بازگشتی از مناطق* ٤۸
۳-۶- *اولویتهای طبیعی در تخصیص آب* ٤۹
۳-۷- *نحوه ارزیابی عملکرد و مقایسه نتایج الگوریتمها* ٤۹
۳-۷-۱- *شاخصهای ارزیابی عملکرد نسبی* ٥۱
۳-۷-۲- *الگوریتم مبنا* ٥٥
۳-۷-۳- *سایر موارد* ٥٦
-*مفهوم چیرگی یا Dominance* ٥٦
فصل چهارم: الگوریتم ژنتیک مبتنی‌برگرادیان ۵۷
۴-۱- *مقدمه* ۵۸

۴-۲- شرح منطق روش پیشنهادی ۵۹
۴-۲-۱- مفهوم تبادل مبتنی‌بر اطلاعات گرادیان ۶۰
۴-۲-۳- پرش کنترل شده ۶۲
۴-۳-گامهای الگوریتم ژنتیک مبتنی‌برگرادیان ۶۳
۴-۴-مطالعه موردی: توسعه سیاستهای بهره‌برداری سیستم سدهای چندمخزنه چندهدفه ۶۷
۴-۴-۱- مدلسازی مسأله سه‌مخزنه دوهدفه ۶۷
۴-۴-۱-۱- مدل ریاضی مسأله سه‌مخزنه دوهدفه ۶۷
- متغیرهای تصمیم ۶۷
- پارامترهای مدل ۶۷
-تعریف توابع هدف ۶۸
-محدودیتهای مدل ۷۰
-مشخصات مدل ریاضی ۷۲
-نحوه رعایت محدودیتها ۷۲
۴-۴-۱-۲- بررسی نتایج حل مدل سه‌مخزنه دوهدفه ۷۶
۴-۴-۲- مدلسازی و حل مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه ۷۹
۴-۴-۲-۱- مدل ریاضی مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه ۸۱
- متغیرهای تصمیم ۸۱
- تعریف پارامترهای مدل ۸۲
- تعریف توابع هدف ۸۳
-محدودیتهای مدل بهینه‌سازی ۸۵
- ویژگیهای مدل ریاضی مسأله سیستم سدهای سه‌مخزنه سه‌هدفه ۸۸
۴-۴-۲-۲- الگوریتمهای محاسبه شوری آب و تعیین میزان آب انتقالی به برکه‌های تبخیر ۸۸
- محاسبات غلظت و جریان آب در بازه‌های مختلف ۸۸
-نحوه تعیین میزان آبهای قابل انتقال (یا تصفیه) برای دستیابی به سطح شوری قابل‌قبول ۹۲
-الگوریتم تخصیص آب و تعیین میزان آب بازگشتی ۹۳
۴-۴-۲-۳- مطالعه موردی:اجرای الگوریتم توسعه داده شده جهت حل مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه ۹۵
- نتایج حل ۹۵
- تحلیل نتایج ۹۶
۴-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۰۰
۴-۵-۱- مزایای روش جدید ۱۰۱
۴-۵-۲- نوآوریها ۱۰۲
فصل پنجم: الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده ۱۰۳
۵-۱- مقدمه ۱۰۴
۵-۲- شرح مفاهیم و منطق الگوریتم پیشنهادی ۱۰۴
۵-۲-۱- استراتژی‌های یادگیری و توسعه روش ۱۰۴
۵-۲-۲- یادگیری حل‌های چندهدفه با استفاده از شبکه‌های SOM ۱۰۵
۵-۳-گامهای الگوریتم ژنتیک یادگیرنده ۱۱۲

۵-۴- اجرای روش توسعه داده شده جهت تعیین سیاستهای عملیاتی سیستم سدهای چندمخزنه چندهدفه ۱۱۵
۵-۴-۱- نتایج حل مسأله سه‌مخزنه دوهدفه ۱۱۵
۵-۴-۲- تحلیل نتایج حل مسأله سه‌مخزنه دوهدفه ۱۱۵
۵-۴-۳- نتایج حل مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه ۱۱۶
۵-۴-۴- تحلیل نتایج حل مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه ۱۱۷
۵-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۲۲
فصل ششم: توسعه الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده مبتنی‌برگرادیان ۱۲۴
۶-۱- مقدمه ۱۲۵
۶-۲- شرح منطق الگوریتم ژنتیک یادگیرنده مبتنی‌برگرادیان ۱۲۵
۶-۳-گامهای الگوریتم پیشنهادی ۱۲۶
۶-۴- اجرای روش جدید برای حل مسأله تعیین سیاستهای عملیاتی سیستم سدهای سه‌مخزنه سه‌هدفه ۱۳۰
۶-۴-۱- پارامترهای سیستم ۱۳۰
۶-۴-۲- نتایج حل ۱۳۰
۶-۴-۳- تحلیل نتایج حل ۱۳۱
۶-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۳۳
۶-۵-۱- مزایای روش جدید ۱۳۴
۶-۵-۲- نوآوریها ۱۳۴
فصل هفتم:مدلسازی مسأله توسعه سیاستهای بهره‌برداری از سیستم سدهای چندمخزنه چندهدفه به صورت فازی و حل.. ۱۳۵
۷-۱- مقدمه ۱۳۶
۷-۲- فازی سازی متغیرها و مدلسازی مسأله ۱۳۷
۷-۳- مدلسازی ریاضی مسأله به صورت فازی ۱۴۰
۷-۳-۱- تعریف متغیرها و پارامترها ۱۴۰
۷-۳-۲- توابع هدف ۱۴۱
۷-۳-۳- محدودیتهای مدل بهینه سازی ۱۴۲
۷-۳-۴- ویژگیهای مسأله سه‌مخزنه سه‌هدفه فازی ۱۴۵
۷-۴- حل مدل فازی توسعه سیاستهای بهره‌برداری از سیستم سدهای سه‌مخزنه سه‌هدفه ۱۴۶
۷-۴-۱- نتایج حاصل از حل به وسیله چهار الگوریتم ۱۴۶
۷-۴-۲- تحلیل نتایج حل ۱۴۷
۷-۵- نوآوریها ۱۵۲
۷-۶- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۵۲
فصل هشتم نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۱۵۳
۸-۱-مقدمه ۱۵۴
۸-۲- خلاصه ۱۵۴
۸-۳- نوآوریهای رساله ۱۵۵
۸-۴- حوزه‌های پیشنهادی برای تحقیقات آتی ۱۵۶
ضمیمه الف: اثبات Non-convexity و Non-concavity تابع تولید انرژی برق-آبی با استفاده از ماتریس Hessian ۱۵۸

ضمیمه ب: اعداد و آمار مربوط به یکی از حلهای منتخب ۱۶۳
منابع و ماخذ: ۱۶۹

واژه نامه پارامترها و متغیرها

λ_{jt} :درصد تأمین شده نیاز آبی در گام زمانی t در ناحیه j ام

S_i^{Max} : حداکثر حجم آب موجود در سد i ام

S_i^{Min} : حداقل حجم آب موجود در سد i ام

S_{it} : حجم ذخیره آب در سد i ام در ابتدای گام زمانی t ام

H_{it} : میزان ارتفاع آب مخزن سد iام گام زمانی tام

I_{it} : متغیر تصادفی جریانهای ورودی رودخانه i ام در گام زمانی t ام

r_{1it} : حجم آب رهاسازی شده از آبگیر توربین سد i ام در گام زمانی t ام

r_{1i}^{Max}: حداکثر ظرفیت حجم آب انتقالی از آبگیر توربین سد i ام

r_{1i}^{Min} :حداقل ظرفیت حجم آب انتقالی از آبگیرکانال توربین سد i ام

r_{2it} : حجم آب رهاسازی شده از سرریز سد i ام در گام زمانی t ام

r_{2i}^{Max} : حداکثر ظرفیت حجم آب انتقالی از سرریز سد i ام

r_{2i}^{Min} : حداقل ظرفیت حجم آب انتقالی از سرریز سد i ام

R_i^{Max} : حداکثر مجاز تخلیه آب (ظرفیت انتقال آب از کانال[1] بعد از) سد i ام

R_i^{Min} : حداقل مجاز تخلیه آب (ظرفیت انتقال آب از کانال بعد از) سد i ام

Pc^A : درصد بازگشت آب تخصیص داده شده به نیازآبی ناحیه کشاورزی/ کشاورزی- صنعتی j ام

Pc^T : درصد بازگشت آب تخصیص داده شده به نیازآبی ناحیه شهری/ صنعتی j ام

C_{i3}^I : غلظت شوری در$i3$ امین جریان ورودی

C_{kt} : غلظت شوری در بازه kام در گام زمانی t ام

F_{kt} : حجم آب جاری در بازه kام در گام زمانی t ام

dt_t : نیاز آبی در یک بازه شامل چند ناحیه دارای نیاز آبی در گام زمانی t ام

d_{lt}^T : نیاز آبی ناحیه شهری/ صنعتی lام در گام زمانی t ام

dl_{lt}^T : حجم آب تخصیص داده شده به نیاز آبی ناحیه شهری/ صنعتی lام در گام زمانی t

C_{lt}^{Td} :غلظت شوری آب تخصیص داده شده به نیاز آبی ناحیه شهری/ صنعتی lام در گام زمانی t

O_{lt}^T : حجم آب بازگشتی از ناحیه شهری/ صنعتی lام در گام زمانی t

C_{lt}^T :غلظت شوری آب بازگشتی از ناحیه شهری/ صنعتی lام در گام زمانی t

d_{jt}^A : نیاز آبی ناحیه کشاورزی/ کشت و صنعت jام در گام زمانی t

dl_{jt}^A : حجم آب تخصیص داده شده به نیاز آبی ناحیه کشاورزی/ کشت و صنعت jام در گام زمانی t

C_{jt}^{Ad} : غلظت شوری آب تخصیص داده شده به نیاز آبی ناحیه کشاورزی/ کشت و صنعت jام در گام زمانی t

O_{jt}^A : حجم آب بازگشتی از ناحیه کشاورزی/ کشت و صنعت jام در گام زمانی t

C_{jt}^A :غلظت شوری آب بازگشتی از ناحیه کشاورزی/ کشت و صنعت lام در گام زمانی t

[1] -Peak Discharge

مقدمه

الگوریتمهای ژنتیک به دلیل داشتن ویژگیهای خاص، وسعت کاربرد زیادی داشته و به سرعت مورد توجه قرارگرفته‌اند. اما این الگوریتمها دارای نقاط ضعفهایی هم هستند که کارآیی آنها را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، دقت حلهای الگوریتمهای ژنتیک قابل توجه نیست و همچنین کیفیت جستجوی آنها به صورتی تصادفی تعیین می‌شود و ممکن است مطلوب نباشد. این الگوریتمها در حل مسائل تک‌هدفه کوچک‌مقیاس مشکلی ندارند اما در زمینه حل مسائل بزرگ‌مقیاس و چندهدفه چندکوهانه (غیرمحدب) نیاز به ارتقاء سرعت همگرایی، بهبود سرعت حل، افزایش دقت جستجوی محلی، و کنترل بهتر بر فرآیند جستجو برای بررسی همه فضاهای قابل قبول وجود دارد.

در سالهای اخیر با استفاده از استراتژی ترکیب‌کردن[1] الگوریتمهای ژنتیک با الگوریتمهای جستجوی محلی تلاش شده است که این نقاط ضعف تا حدودی پوشش داده شود. بخش بزرگی از تحقیقات انجام شده در این زمینه مربوط به الگوریتمهای تک‌هدفه بوده است. نتایج حاصل از اعمال این روشها حاکی از موفق‌بودن اجرای این استراتژی است. الگوریتمهای ترکیبی از مزایای جستجوی جامع الگوریتمهای تکاملی و جستجوی محلی الگوریتمهایی مثل بهینه‌یابی مبتنی‌برگرادیان برخوردارند.

اما در زمینه روشهای ترکیبی چندهدفه فضای تحقیقاتی باز وجود دارد و تحقیقات زیادی در این زمینه صورت نگرفته است. با توجه به این نکته که بسیاری از مسائل دنیای واقعی چندهدفه هستند و محدب و غیرخطی بودن آنها نیز تضمین نشده است، توسعه الگوریتمهای حل چنین مسائلی از اهمیت ویژه برخوردار است.

هدف اصلی در این رساله، توسعه الگوریتمهای ژنتیک چندهدفه‌ای است که از نظر پیچیدگی محاسباتی، نرخ همگرایی و دقت، ویژگیهای بهتری نسبت به الگوریتمهای ژنتیک چندهدفه موجود داشته باشند.

در این راستا در این رساله سه نوع الگوریتم ترکیبی چندهدفه توسعه داده شده است:

- الگوریتم چندهدفه مبتنی‌برگرادیان (GBGA[2]) که به دلیل محاسبه و تخمین عددی گرادیان دارای وسعت کاربرد گسترده‌ای است و محدودیتی در اجرای آن برای مسائل پیوسته/ ناپیوسته، مشتق‌پذیر یا مشتق‌ناپذیر، محدب/ نامحدب و... وجود ندارد، توسعه داده شده است.
- الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده (SLGA[3]) که براساس فرصتی که در زمینه حجم انبوه اطلاعات تولید شده در فرآیندهای الگوریتمهای ژنتیک نهفته است توسعه داده شده است. الگوریتمها تکاملی و نیز الگوریتمهای ژنتیک حجم انبوهی از داده‌ها را تولید می‌کنند که می‌توان از آن برای یادگیری و توسعه حلهای جدید استفاده کرد. در الگوریتم SLGA یک شبکه خودآموز SOM با استفاده از

[1]- Hybridization
[2] -Gradient-Based GA
[3] -Self-Learning GA

داده‌های به دست آمده از NSGA-II آموزش داده می‌شود و از حلهای مؤثر آن در توسعه مجموعه جواب آرشیو استفاده می‌شود.

- الگوریتم سوم الگوریتم ترکیبی جدید ژنتیک یادگیرنده مبتنی‌برگرادیان(SLGBGA[1]) است که با ترکیب کردن دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی‌برگرادیان و الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده، توسعه داده شده، تأثیرات آن مورد بررسی قرارگرفته است.

برای بررسی و اعتبارسنجی نحوهٔ عملکرد الگوریتمها از نظر دقت جستجو و کیفیت مجموعه حل، سرعت همگرایی، و زمان حل و همچنین پراکندگی مجموعه حل، از یک مسأله دنیای واقعی، مسألهٔ توسعه سیاستهای بهره‌برداری سیستمهای سدهای چندمخزنهٔ چندهدفه به صورت قطعی و نیز فازی استفاده شده است. مطالعه موردی این رساله، سیستم سدهای چندهدفه شهید عباسپور- گتوند و دز می‌باشد که در جنوب ایران بر روی رودخانه‌های کارون و دز احداث شده‌اند.

[1] -Self-Learning Gradient-Based GA

فصل اول: معرفی مشخصات تحقیق

۱-۱-مقدمه

تا یک دهه پیش، اغلب تلاش بر این بود که رفتار سیستمها به نحوی با روابط خطی تخمین زده شوند و سپس مدلهای بدست آمده، که ممکن بود به درستی رفتار سیستم هدف را نشان ندهند، با استفاده از الگوریتمهای کارآی برنامه‌ریزی خطی حل شوند. دسترسی به روشهای حلی که قابلیت حل هر مسائل واقعی را در زمان کم و با دقت مناسب داشته باشند، یک امکان برای مدیریت بهتر را فراهم می‌نماید و می‌تواند افقهای جدیدی را پیش روی انسان باز کند. دراینصورت می‌توان هرگونه سیستمی را با هرگونه رفتاری (غیرخطی بودن، مشتق‌ناپذیری، ناپیوستگی، فازی بودن و...) بدون نگرانی در مورد امکان حل، مدل کرد و حل آنها را بدست آورد.

از طرفی روشهای حل زیادی توسعه داده شده‌اند که اگرچه قابلیت حل مسائل تست مشخص را دارند ولی در حل مسائل کلان واقعی اثربخشی لازم را ندارد. بنابراین توسعه روشهای حل مسائل غیرخطی، نامحدب، فازی، چندهدفه، و... انگیزه اصلی تعریف این رساله می‌باشد. در این فصل تلاش براین است که مشخصات رساله شامل هدف از تحقیق، حدود کاری رساله، و سازماندهی آن تشریح گردد.

۱-۲- هدف از تحقیق

به طور خلاصه، هدف اصلی رساله توسعه الگوریتمهای ژنتیک چندهدفه‌ای است که نسبت به الگوریتمهای موجود ژنتیک چندهدفه دارای ویژگیهای بهتری باشند. این ویژگیها براساس تحلیل نقاط ضعف و قوت این الگوریتمها تعیین می‌شوند. این ویژگیها می‌تواند شامل سرعت همگرایی، دقت، و پیچیدگی محاسباتی باشند.

علاوه‌براین، به دلیل اهمیت منبع محدود پشتیبانی‌کننده آبادی و عمران یعنی آب، مسأله توسعه سیاستهای بهره‌برداری از سیستم سدهای چندمخزنه به عنوان یک مثال کاربردی دنیای واقعی با استفاده از الگوریتمهای توسعه داده شده حل و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. با حل این مورد کاربردی، امکان مدیریت بهتر منابع آب موجود فراهم می‌گردد.

از آنجا که اکثر روشهای بهینه‌سازی ریاضی دارای مشکلاتی برای حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی چندهدفه با تعداد متغیرهای تصمیم زیاد می‌باشند، لذا روشهای کاوشی و فراکاوشی به عنوان جایگزین مناسب برای آنها انتخاب شده‌اند. از این‌رو است که روشهای حل مورد مطالعه در این رساله متمرکزبر روشهای تکاملی و به طور خاص الگوریتمهای ژنتیک چندهدفه و توسعه این نوع الگوریتمها می‌باشد.

از جمله ویژگیهای مدلهای بهره‌برداری از سیستمهای منابع آب این است که این مدل‌ها باید بتوانند مشخص نمایند که چگونه می‌توان منابع آب موجود را به نحوی مدیریت نمود تا نیازهای فعلی و آینده را در درازمدت تأمین کند. به همین دلیل عموماً این مدل‌ها به صورت مدلهایی با پیچیدگیهای فراوان

در زمینه مدیریت و بهینه‌سازی نمود پیدا می‌کنند.یکی از این ویژگیها، ارتباط این مدل‌ها با سیستم‌های اجتماعی است که به ناچار تفسیر برخی از متغیرهای آن مفهوم زبانی فازی پیدا می‌کنند. بنابراین برای افزایش درجه اعتبار مدلهای ریاضی این نوع سیستمها، بهتر است که این سیستمها در صورت نیاز فازی‌سازی شده و مدلهای فازی مورد حل و تجزیه و تحلیل قرار بگیرند. بررسی نیاز برای فازی‌سازی با هدف افزایش درجه اعتبار عملیاتی مدل، از اهداف دیگر این رساله می‌باشد.

غیرخطی بودن و گاه نامحدب بودن، از ویژگیهای دیگر مسائل دنیای واقعی و از جمله مسأله توسعه سیاستهای بهره‌برداری بهینه از سیستم سدهای چندمخزنه می‌باشد. بنابراین توسعه الگوریتمهایی که بتوانند این نوع مسائل را بدون محدودیتی حل نمایند، یک نیاز و ضرورت جامعه مبتنی بر روشهای مدیریتی نوین است.

مطالعه ادبیات حل چندهدفه مسأله بهره‌برداری از مخازن سدهای چندمخزنه نشان می‌دهد که در زمینه‌های مختلف برنامه‌ریزی ریاضی و روشهای جستجوی تصادفی، روشهایی برای حل مسأله ارائه شده است ولی تاکنون کمتر روشی توسعه داده شده است که مسأله چندهدفه و غیرخطی بهره‌برداری از مخازن سدهای چندمخزنه را به صورت اهداف مستقل و با هزینه‌های محاسباتی کم و دقت قابل‌قبول، حل کند. بنابراین در این رساله، ضمن بررسی و نقد این روشها، توسعه و معرفی روش جدیدی برای حل مسأله بهره‌برداری از سیستم چندمخزنه چندهدفه غیرخطی مسأله مدنظر است به نحوی که سرعت ارائه حل نسبت به روشهای حل قبلی بهتر شده و در پی آن توان حل مسائل بزرگتر فراهم گردد و از طرف دیگر کیفیت حل نیز بهتر شود. بنابراین مهمترین اهداف مدنظر در تحقیق جاری عبارتند از:

- توسعه الگوریتم ژنتیک چندهدفه جدید برای افزایش سرعت و دقت حل.
- مدلسازی و حل توأم مسائل بهره‌برداری از سدهای چندمخزنه با توجه به از طریق حفظ کیفیت آب پایین‌دست.
- توسعه مدل فازی برای مدل‌سازی دقیقتر مسأله.

۱-۳-حدود کاری تحقیق

- بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم سدهای چندمخزنه به صورت چندهدفه مستقل (جمع‌ناپذیر) با اهداف فازی صورت می‌گیرد.
- افق برنامه‌ریزی بلندمدت (چندین ساله) با گام زمانی ماهانه است.
- جریانهای ورودی به هر سد براساس داده‌های مشاهداتی ایستگاههای هیدرومتری در گام زمانی ماهانه درنظرگرفته شده است.

- نیاز آبی ماهانه مناطق غیرتصادفی است ولی تأثیر میزان نأمین آب دارای مقادیر مبهم و فازی است.
- با توجه به دو بند ۳ و۴، ساختار مسأله از نوع قطعی می‌باشد.
- مسأله سه‌هدفه می‌باشد و توابع هدف مسأله عبارتند از:

۱- تأمین حداکثری آب مورد نیاز مناطق پایین‌دست

۲- حداکثرسازی تولید انرژی برق- آبی

۳- کنترل آلودگی آب در روخانه‌های پایین دست سدها (برای متغیر شوری آب)

توابع هدف می‌توانند خطی، غیرخطی یا فازی باشند.

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

برای انجام تحقیق جاری چند دلیل مهم وجود دارد که هر یک از آنها به تنهایی توجیه کافی برای انجام تحقیقات جامع را در این زمینه مورد نظر را فراهم می‌کنند. این دلایل عباتند از:

- نیاز به توسعه روشهای حل بهتر و عملیاتی برای حل مسائل دنیای واقعی.

مسائل دنیای واقعی اغلب پیچیدگی محاسباتی زیادی دارند و دارای ساختار ریاضی غیرخطی هستند. حل این نوع مسائل نیازمند روشهایی است که توانایی حل هر نوع مسائل اعم از مشتق ناپذیر، غیرخطی، ناپیوسته و... را داشته باشند. بررسیها نشان می‌دهند که مسأله توسعه سیاستهای بهره‌برداری از سدهای چندمخزنه، یک مسأله چندهدفه غیرخطی است که با افزایش تعداد مخزن، ابعاد مسأله به صورت نمایی افزایش یافته و پیچیدگی محاسباتی روشهای حل و به دنبال آن زمانهای حل به همین نسبت افزایش می‌یابد. این مشکل بویژه در مسائل چندهدفه، شکل جدی‌تری به خود می‌گیرد. بنابراین، استفاده از روشهای چندهدفه کارآتر و دقیقتر، یک زمینه بهبود برای مدلسازی و حل این گونه مسائل به‌شمار می‌رود.

- اهمیت استراتژیکی آب

آب عنصر اصلی حیات عامل رشد و توسعه است و دسترسی بیشتر به منابع آب به معنی دستیابی به ثروت اقتصادی و رفاه بیشتر و وضعیت اجتماعی برتر است. لذا مدیریت استراتژیک هر کشور، مدیریت بهتر منابع آب را مورد تأکید قرار می‌دهد. بنابراین انجام تحقیقات برای مدیریت بهتر منابع آب یک ضرورت استراتژیک برای هر کشوری است.

یکی از راههای مهم در توسعه منابع آب، استفاده بهینه و مؤثرتر از منابع موجود می‌باشد. بنابراین در کنار گزینه‌های توسعه سازه‌ای، بحث بهره‌برداری مؤثرتر از منابع موجود نیز به صورت جدی مطرح است. بهره وری سرمایه درگیر سدها، از طریق استفاده مؤثرتر از مخازن سدها و پیشگیری از هرزروی آب در قالب آبهای سرریز و افزایش راندمان تولید انرژی برق-آبی امکان‌پذیر است که در این مطالعه تحت بررسی قرار می‌گیرند.استفاده مؤثرتر از سرمایه‌گذاریهای صورت گرفته مستلزم توسعه روشهای بهتر برای مدلسازی و حل مسأله است. بنابراین توسعه روشهای حل سریعتر و دقیق‌تر، یک نیاز برای دستیابی به سطح بهتر از بهره‌برداری است.

۱-۵- سازماندهی رساله

این پیشنهاد رساله در هشت فصل و دو ضمیمه تنظیم شده است. در فصل اول ضرورت انجام تحقیق، اهداف و حدود کاری رساله تشریح شده‌اند. در فصل دوم ادبیات روشهای حل مسائل چندهدفه غیرخطی مثل مسأله بهره‌برداری از سیستمهای سدهای چندمخزنه مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل سعی شده است که تحقیقات انجام شده با تأکید بر زمینه سیستمهای سدهای چندمخزنه چندهدفه مورد بحث و بررسی واقع شوند. همچنین در هر بخش مقالات در دو قسمت روشهای ریاضی شامل روشهای برنامه‌ریزی خطی، روشهای برنامه‌ریزی پویا، برخی روشهای برنامه‌ریزی غیرخطی و روشهای جستجوی هوشمند مورد بحث قرارگرفته‌اند. در پایان فصل دوم، خلاصه‌ای از نتایج حاصل از مرور ادبیات و حوزه‌های تحقیقاتی باز، ارائه شده است

در فصل سوم، مثال کاربردی مسأله و نوع داده‌های آن تشریح شده است. در ادامه این فصل همچنین الگوریتم مبنا برای مقایسه با روشهای پیشنهادی و ویژگیهای آن و همچنین نحوه انجام مقایسه و تحلیل، تشریح شده است.

در فصل چهارم، یک الگوریتم چندهدفه مبتنی برگرادیان (GBGA[1]) که دارای وسعت کاربرد گسترده‌ای بوده است و محدودیتی در اجرای آن برای مسائل پیوسته/ ناپیوسته، مشتق‌پذیر یا مشتق‌ناپذیر، محدب/ نامحدب و... وجود ندارد، توسعه داده شده است. به طور خلاصه متدولوژی حل، مبتنی بر تخمین عددی گرادیان و انجام اپراتور تبادل مبتنی بر گرادیان و همچنین شبکه بندی فضای جستجو و شمارش تعداد ارزیابیها در هر سلول و انجام اپراتور جهش در سلولهایی که کمترین ارزیابیها را داشته‌اند می‌باشد. که در این فصل راههای دستیابی به این روشها مطرح و توضیح داده شده‌اند. در ادامه، دو نوع مدل دوهدفه و سه‌هدفه از مسأله بهره‌برداری از سیستم سدهای چندمخزنه که صورت آن در فصل دوم تشریح شده است توسعه داده شده‌اند. سپس با استفاده از الگوریتم جدید و الگوریتم

[1] -Gradient-Based GA

مبنا(NSGA-II)، مسأله حل شده است و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته‌اند. پیش‌نیازهای مطالعه این فصل، مطالعه فصلهای دوم و سوم می‌باشد.

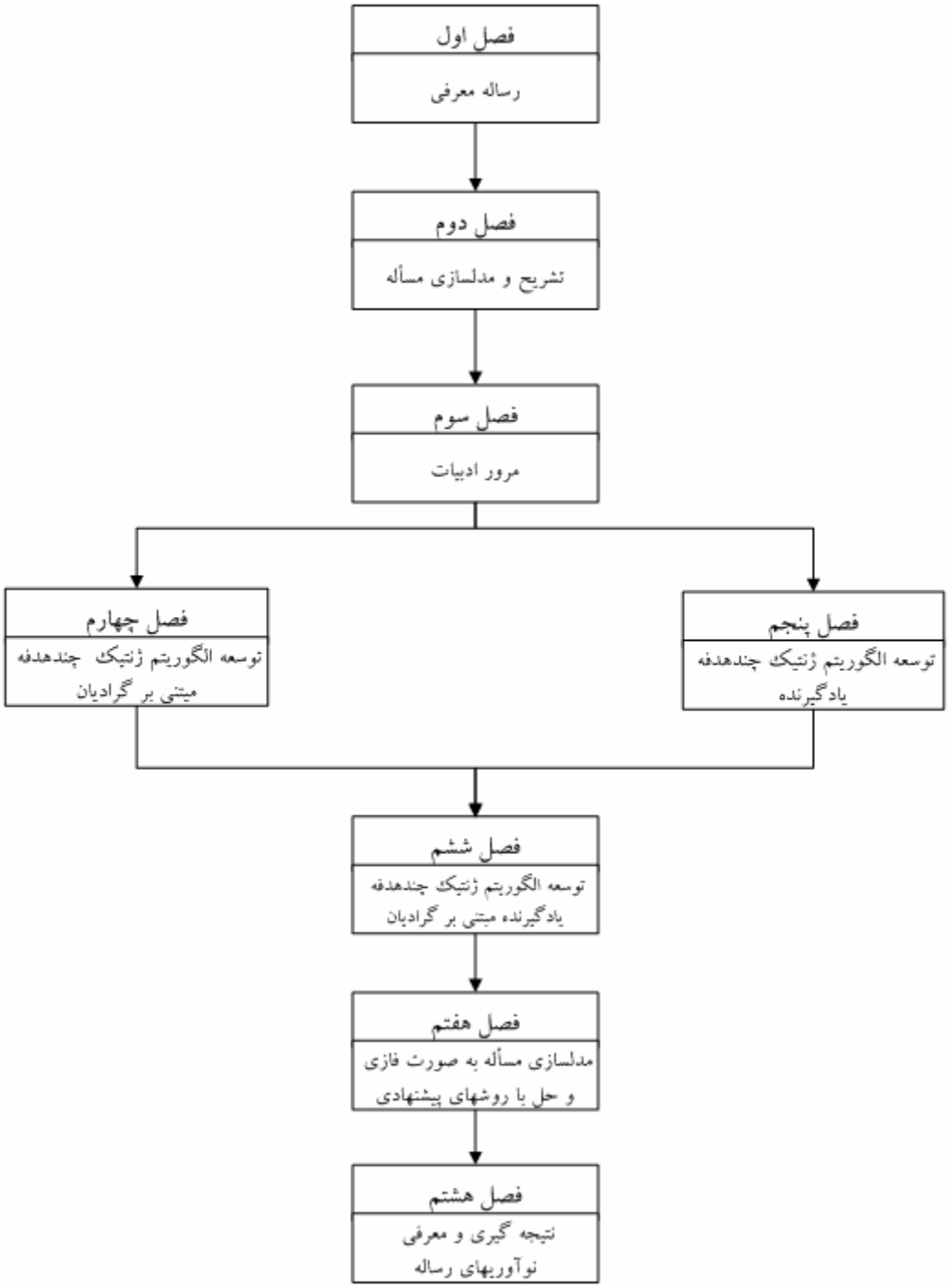
در فصل پنجم، الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده براساس فرصتی که در زمینه حجم انبوه اطلاعات تولید شده در فرآیندهای الگوریتمهای ژنتیک نهفته است توسعه داده شده است. الگوریتمهای ژنتیک حجم انبوهی از داده‌ها را تولید می‌کنند که می‌توان از آن برای یادگیری و توسعه حلهای جدید استفاده کرد. الگوریتم ژنتیک یادگیرنده، مبتنی بر قابلیت شبکه خودآموز SOM توسعه داده شده است که در آن شبکه‌ای از نرونها با استفاده از داده‌های به دست آمده از مدل NSGA-II آموزش می‌بینند و به توسعه جوابهای جدید می‌پردازند و از حلهای مؤثر آنها در توسعه مجموعه جواب آرشیو استفاده می‌شود. در ابتدای این فصل مفاهیم پایه‌ای الگوریتم تشریح گردیده، سپس با استفاده از اطلاعات مطالعه موردی، نتایج الگوریتم جدید با نتایج الگوریتم NSGA-II مقایسه شده و مورد تحلیل قرارگرفته است. در پایان فصل نیز ضمن ارائهٔ خلاصه مطالب، نوآوریها و مزایای روش جدید تشریح گردیده‌اند. در پایان فصل، خلاصه فصل و نیز نوآوریها و مزایای الگوریتم جدید تشریح گردیده‌اند. نیازمندیهای مطالعه این فصل، فصلهای دوم و سوم هستند و می‌توان بدون مطالعه فصل چهار هم آنرا مطالعه نمود.

در فصل ششم، با ترکیب کردن دو الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی‌برگرادیان و الگوریتم ژنتیک چندهدفه یادگیرنده که در فصلهای چهارم و پنجم توسعه داده شده‌اند، الگوریتم ترکیبی جدید ژنتیک یادگیرنده مبتنی‌برگرادیان(SLGBGA) توسعه داده شده، و سپس اثربخشی این استراتژی مورد بررسی قرارگرفته است. در این فصل نیز ضمن تشریح مبانی الگوریتم و مراحل آن، مسأله تعیین سیاستهای بهره‌برداری از سیستم سدهای سه‌مخزنه سه‌هدفه مورد مطالعه حل شده و سپس نتایج آن با نتایج سه الگوریتم دیگر مقایسهٔ تحلیلی گردیده‌اند. در پایان فصل، خلاصه فصل و نیز نوآوریها و مزایای الگوریتم جدید تشریح گردیده‌اند. برای مطالعه این فصل باید مطالب فصلهای سوم، چهارم و پنجم مورد مطالعه قرارگیرند.

در فصل هفتم، مسأله تعیین سیاستهای بهره‌برداری از سیستمهای سدهای چندمخزنه چندهدفه که در فصل سوم تشریح شده است، به صورت فازی مدلسازی گردیده است. سپس با استفاده از چهار الگوریتم شامل الگوریتمهای NSGA-II و GBGA و SLGA و SLGBGA حل گردیده است. فازی‌سازی مسأله مورد مطالعه، در متغیرهای تصمیم صورت‌گرفته است و مدل دارای اهداف فازی است. حل مدل نشان از تأئید نتایج قبلی دارد که برتری جامع الگوریتم ژنتیک مبتنی برگرادیان یادگیرنده است. در پایان فصل خلاصه‌ای از مطالب ارائه شده، بیان گردیده است. برای مطالعه فصل هفتم مطالعه فصلهای سوم تا ششم لازم است.

در فصل هشتم، خلاصه مطالب مطرح شده در فصلهای یک تا هفت مطرح گردیده است. در این فصل نوآوریهای رساله معرفی گردیده است و حوزه‌های تحقیقاتی آتی نیز مطرح گردیده‌اند.

این فصل می‌تواند به صورت مستقل نیز مورد مطالعه سریع قرارگیرد. نمودار شکل ۱-۱ توالی پیش‌نیازی مطالعه فصلهای مختلف رساله را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ نمودار نحوه توالی تنظیم فصلهای رساله و راهنمای مطالعه آنها

فصل دوم: مرور ادبیات

۲-۱-مقدمه

در این فصل ادبیات روشهای حل مسائل چندهدفه برنامه‌ریزی منابع آب مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که نوآوری رساله متمرکز بر روشهای حل می‌باشد لذا مرور ادبیات متمرکزبر روشهای حل است که با نگاه ضمنی به مسائل منابع آب صورت‌گرفته است. بنابراین فقط تلاش می‌شود که بررسی الگوریتمهای حل، با تأکید بر مسائل منابع آب صورت‌گیرد.

به طور کلی دو راه برای حل مدلهای ریاضی وجود دارند: حل تحلیلی و استفاده از روشهای مبتنی بر جستجو.

۲-۲-روشهای حل با استفاده از روشهای برنامه‌ریزی ریاضی

تاکنون روشهای مختلفی توسط محققین جهت دستیابی به حل بهتر در بهره‌برداری از مخازن سدها، توسعه داده شده است. یه [۹۳] یک مرور جامع بر این روشها ارائه نموده است. مهمترین مدلهای حل ریاضی در بهره‌برداری از سیستمهای سد را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود:

-مدلهای خطی

یک استراتژی خطی‌سازی توابع هدف و محدودیتها و حل مسأله با برنامه‌ریزی خطی است.

گرایگر و استدینجر [۳۲] نمونه‌ای از این نوع کار را برای سیستمهای چندمخزنه انجام داده‌اند. یکی از روشهای پرکاربرد در این زمینه روش برنامه‌ریزی خطی ناحیه ای [1] است (برای مثال کراولی و دندی [۱۴] از این روش استفاده کرده‌اند) که در مورد توابع جدایی پذیر قابل اعمال است. تبدیل مدلهای غیرخطی به مدل خطی، سرعت و کارآیی دستیابی به حل را بالا می‌برد ولی خطای معتبرسازی را افزایش می‌دهد یعنی ممکن است مدل، رفتار سیستم را به درستی نشان ندهد. برخی مثل ترزوس [۸۹] سعی کرده‌اند با استفاده از متغیرهای صفر و یک و عدد صحیح مدلهای خطی را به واقعیت مسأله سدهای چندمخزنه نزدیکتر کنند ولی این‌کار باعث کاهش شدید کارآیی روشهای حل می‌شود [۴۰] و [۴۳]. بسیاری از مسائل را نمی‌توان در عمل با دقت کافی با روش خطی شکسته ناحیه‌ای مدل کرد به ویژه اگر تابع هدف تولید برق و محدودیتهای مربوطه باشند و ناچار باید از برنامه‌ریزی غیرخطی یا روشهای دیگر برای حل آنها استفاده نمود.

مدلهای خطی به دلیل دسترسی به روشهای حل سریع و مؤثر از مطلوبیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی ریاضی برخوردارند ولی به دلیل اینکه مدلهای دنیای واقعی مثل مسأله بهره‌برداری از سدهای

[1]-Piecewise linear