دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران _ گرایش سازه های هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بهینه سازی کانال های خروجی نیروگاه آبی به کمک الگوریتم اجتماع مورچگان

علی مقدوری

استاد راهنما :

آقای دکتر ساغروانی

تابستان ۱۳۹۰

تقدیم به:

همسر عزیز

و

پدر و مادر فداکار

که در تمامی مراحل زندگی، پشتیبان و همراهم بوده اند.

تقدیر و سپاسگزاری

سپاس خداوند بزرگ را که در تمام دوران زندگی الطاف خود را بر من ارزانی داشته و نیز سپاس فراوان از پدر و مادر و همسر عزیزم که در تمام مراحل زندگی پشتیبان و حامی من بوده اند. امید دارم که تلاش علمی من پاسخگوی بخشی از زحمات عزیزانم بوده باشد.

همچنین از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید فضل الله ساغروانی که در تمامی مراحل انجام پایان نامه، صبورانه سرپرستی امور را بر عهده داشتند و همواره از مساعدتهای پیوسته و بی دریغ ایشان برخوردار بوده ام ، مراتب قدردانی خود را ابراز می نمایم. از تمامی معلمان، دبیران و اساتید گرانقدر دوران تحصیلم تا به اکنون، بدین طریق سپاسگزاری می کنم. همچنین از اساتید گرامی، دکتر احمد احمدی بابت زحمات تدریس در طول دوره کارشناسی ارشد و دکتر وحید رضا کلات جاری بخاطر حضور در جلسه دفاع و ارزیابی پایان نامه، صمیمانه قدردانی می نمایم.

چکیده:

تحقیق حاضر شامل مطالعات تئوریک به منظور بهره‌گیری از الگوریتم بهینه سازی اجتماع مورچگان (ACO) در طرح هندسه بهینهٔ کانال های خروجی نیروگاه است. این الگوریتم به زبان Visual Basic نوشته و اجرا گردید. الگوریتم ACO یکی از روش های نوین بهینه سازی می باشد که اخیراً مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. پروسه طراحی ACO با متغیر های طراحی گسسته، شامل یک ساختار باز برای تعیین قیود و قابلیت پذیرش حالت های مختلف تحلیل می باشد. همچنین استفاده از توربین های ساکسو در سال های اخیر بسیار رایج شده است. دلیل امر آنست که این توربین ها بدون نیاز به مخزن بزرگ در مسیر جریان قادر به تولید انرژی برق بدون خسارات عمده به محیط زیست، می باشند.

هدف در این تحقیق استفاده از تکنیک سیستم اجتماع مورچه ها به منظور بهینه سازی کانال خروجی نیروگاه است. لذا با انتخاب مشخصات مختلف کانال از جمله شیب کف در قسمت های مختلف، شدت بازشدگی و تنگ شدگی تابع هزینه فایده، مورد بررسی قرار می گیرد.

در نهایت فرض میشود که بتوان این قبیل رفتار های مبتنی بر هوش جمعی را به نحوی توسط رایانه شبیه سازی نمود تا بتوان راه حل بهینه مسئله را به دست آورد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی– شیب کف– ضرایب شدت جمع شدگی و بازشدگی– الگوریتم اجتماع مورچگان– کانال خروجی نیروگاه–جستجوی محلی و کلی.

فهرست مطالب

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

فهرست علائم

علامت	نشانه
X	بردار طرح
$F(X)$	بردار توابع هدف
$f(X)$	زیر هدف
τ	شاخص فرومون
τ_0	مقدار فرومون اولیه
η	شاخص بصیرت
ρ	نسبت تبخیر
ξ	نسبت تبخیر محلی
μ	رتبه مورچه
ϵ	مقدار توان در تابع جریمه
γ	ضریب مقدار جریمهٔ خالص کل در تابع جریمه
m	تعداد مورچه ها
α	اهمیت نسبی مقدار فرومون به میزان بصیرت
β	اهمیت نسبی میزان بصیرت به مقدار فرومون
H_f	اختلاف تراز سطح آب در ابتدا و انتهای کانال بر حسب میلیمتر
y_o	عمق در ابتدای Tailrace

y_n	عمق در انتهای کانال
Q_t	دبی کل کانال بر حسب متر مکعب بر ثانیه است
Z	شیب کناره ها
$S_{expansion}$	شیب کف در ناحیه بازشونده
S_{fixed}	شیب کف در ناحیه عرض ثابت کانال
$S_{contraction}$	شیب کف در ناحیه جمع شونده کانال
m_1	ضریب بازشوندگی در پلان کانال
m_3	ضریب جمع شوندگی در پلان کانال

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از اجزای نیروگاه های آبی که کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است، کانال خروجی آب است. این کانالها معمولا تغییرات متعددی را در سطح مقطع و شیب کف تجربه میکنند که به جهت بالا آوردن کف کانال تا سطح رودخانه و کاهش عرض آن برای کاهش هزینه های ساخت به کانال اعمال شده است. چون این امر مستلزم اتلاف انرژی است، کاهش این اتلاف، امکان استفاده از آن را در تولید انرژی فراهم می کند.

کم شدن شیب اتلاف انرژی در کانال به معنی کاهش اتلاف انرژی خواهد بود. در این حالت، هرچه سطح آب کمتر پایین رود، در حقیقت انرژی کمتری تلف شده است. با توجه به اینکه جریان در کانال زیر بحرانی است، کنترل در پایین دست کانال خواهد بود و بنابراین اگراختلاف ارتفاع بین رودخانه و ورودی کانال (که خروجی نیروگاه محسوب می شود) به حداقل برسد در حقیقت ارتفاع مؤثر آب روی توربین بیشینه خواهد شد. این اختلاف ارتفاع به معنی بهره وری بیشتر از نیروگاه و درنتیجه درآمد بیشتر

است. علی رغم اینکه جریان آب داخل کانال از اصول اساسی حاکم بر حرکت سیالات تبعیت می کند ولی نکات متعددی موجب پیچیدگی های بیشتر در این خصوص می گردد و تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی بیشتری را طلب می کند. در تحقیق پیش رو چنانچه هزینه های ساخت را به عنوان عامل کنترل کننده در نظر بگیریم، این هزینه ها نیز باید به نحوی باشند که با درآمد اضافی حاصل از افزایش درآمد نیروگاه قابل مقایسه باشند. مجموعه این عوامل، که نسبت به هم مستقل نیز می باشند، بایدتوسط یک تکنیک بهینه سازی مناسب توابع ناپیوسته که در تحقیق حاضر الگوریتم کلونی مورچگان است بهینه گردند.

1-۲- طرح مسئله

برای استفاده بهینه از ارتفاع آب پشت سد لازم است که افت هد در طول مسیر کانال خروجی نیروگاه کمینه گردد که این امر مستلزم صرف هزینه های ساخت است. در این تحقیق برای بهینه سازی درامد نسبت به هزینه ها از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است.

امروزه استفاده از توربین های ساکسو[1]، که از نوعی توربین کاپلان محسوب میشود، بسیار رایج شده است. دلیل امر آنست که این توربین ها بدون نیاز به مخزن بزرگ در مسیر جریان قادر به تولید انرژی برق آبی که بدون خسارات عمده به محیط زیست می باشد، عمومیت و رواج یافته است. در واقع با کاهش افت هد در مسیر کانال، اختلاف ارتفاع ابتدا و انتهای کانال و به تبع آن افزایش اختلاف هد قبل و بعد از توربین که همان افزایش تبدیل انرژی آب به برق است حاصل می گردد.

1-۳- اهداف تحقیق

[1] Saxo turbines

همان طور که ذکر شد محاسبه پروفیل سطح آب در کانال خروجی نیروگاه و به دنبال آن روشی که کوتاه ترین یا کم هزینه ترین مسیر را به ما بدهد با استفاده از تکنیک سیستم اجتماع مورچه ها هدف از تحقیق در این خصوص می باشد. لذا با انتخاب مشخصات مختلف کانال (شیب کف در قسمت های مختلف، جنس کف کانال، شیب کناره ها، شدت بازشدگی و تنگ شدگی) تابع هزینه فایده، مورد بررسی قرار می گیرد. مراحل ذیل اهداف اختصاصی و مرحله ای طرح را تشکیل می دهند.

۱. تعیین پروفیل سطح آب در یک کانال با جریان متغییر تدریجی دائمی با استفاده از یک روش عددی ساده و مقایسه دقت تحلیل با خروجی های نرم افزار HEC-Ras .
۲. پایین آمدن شیب اتلاف انرژی در کانال به منظور کاهش اتلاف انرژی
۳. استفاده از تکنیک های هوش ازدحامی در تحقیقات آبی

با نگاهی به نکات ذکر شده، آرایش های مختلفی از هندسه کانال نیروگاه در برنامه ایجاد شد و عمق جریان در ورودی کانال که هدف این تحقیق می باشد محاسبه گردید که جهت کنترل کار و محاسبات برخی از محاسبات با نتایج حاصل از نرم افزار HEC-Ras نیز مقایسه شد. از آنجاکه جواب های به دست آمده توسط برنامه با خروجی های HEC-Ras اختلاف اندکی داشته باشند دقت برنامه تدوین شده برای محاسبه پروفیل سطح آب تأیید گردید.

در خصوص اهداف کاربردی طرح باید اشاره کرد که انتخاب ابعاد و شیب کف کانال خروجی نیروگاه کاری تجربی است. هرچند اهداف اشاره شده در تمامی مراحل طراحی مد نظر قرار دارد اما بهینه سازی تعداد زیادی پارامتر می تواند کاری زمان بر و سخت باشد. تجربیات طراحی مهندسین حاکی از آن است حتی درمعتبرترین شرکت های بین المللی مشاور انرژی وسد جهان نیز ابزار محاسباتی مناسبی برای طراحی این خروجی ها یافت نمی شود و فقط تجربیات غنی طراحان است که به کمک پروژه می آید.

تاکنون بیشترین توجه معطوف به این کانال ها از جهت کنترل سرعت و ملاحظات زیست محیطی بوده است و نه مسائل اقتصادی. لذا نیاز به این پژوهش محسوس بوده است.

1-۴- فرضیات تحقیق

رفتار جمعی[۲] بدین معنی است که افراد برای رسیدن به یک هدف نهایی همکاری می کنند. این روش مؤثرتر از زمانی است که افراد جداگانه عمل کنند. ازدحام[۳] را می توان به صورت مجموعه ای سازمان یافته از موجوداتی تعریف کرد که با یکدیگر همکاری می کنند. در کاربردهای محاسباتی هوش ازدحامی[۴] از موجوداتی مانند مورچه ها، زنبورها الگوبرداری می شود. در این نوع اجتماعات هریک از موجودات ساختار نسبتاً ساده ای دارند ولی رفتار جمعی آنها بی نهایت پیچیده است. برای مثال در کلونی مورچه ها هریک از مورچه ها یک کار ساده مخصوص را انجام می دهد ولی به طور جمعی عمل و رفتار مورچه ها، ساختن بهینه لایه محافظت از ملکه و نوزادان، تمیز کردن لانه، یافتن بهترین منابع غذایی و بهینه سازی استراتژی حمله را تضمین می کند. رفتار کلی یک گروه به صورت غیر خطی از آمیزش رفتارهای تک تک اجتماع به دست می آید یا به عبارتی یک رابطه ی بسیار پیچیده بین رفتار جمعی و رفتار فردی افراد اجتماع نیست بلکه به چگونگی تعامل میان افراد جامعه نیز وابسته است. تعامل بین افراد، تجربه افراد درباره محیط را افزایش می دهد و موجب پیشرفت اجتماع می شود. ساختار اجتماعی ازدحام بین افراد مجموعه، کانال های ارتباطی ایجاد می کند که طی آن افراد می توانند به تبادل تجربه های شخصی بپردازند.

در این تحقیق فرض میشود که بتوان این قبیل رفتار های مبتنی بر هوش جمعی را به نحوی توسط رایانه شبیه سازی نمود تا بتوان راه حل بهینه مسئله را به دست آورد.

---

[2] Swarm behavior

[3] Swarm

[4] Swan intelligence

1-۵- مراحل انجام تحقیق

نخستین گام یافتن روش مناسب محاسبه پروفیل سطح آب است. دقت شود که به دلیل کوتاهی مسیر و طول کانال، امکان شکل گیری پروفیل های استاندارد وجود ندارد و این امر استفاده ازتکنیک های معمـــول را با اشکال مواجـــه می کند. علاوه بر این به دلیل تغییر شکل مستمر مقطع و بالا آمدن کف، باید در انتخاب روش محاسباتی، دقت بالایی را به کار برد. با انتخاب روش و شروع به برنامه نویسی برای آن، الگوریتم کلونی مورچگان برای انتخاب ابعاد مقطع ایجاد می شود. سپس این دو برنامه به یکدیگر متصل شده و مرحله اصلی آزمایشات عددی انجام خواهد شد. حتی الامکان چند نمونه از مثال های واقعی بررسی شده و نتایج این مقایسه گزارش خواهد شد.

1-۶- بخش های مختلف پایان نامه

پس از معرفی کلی طرح در فصل نخست، در فصل دوم اصول و مطالعات کلی آبروهای روباز مورد ارزیابی قرار می گیرد. طبقه بندی کانال های باز، طبقه بندی انواع جریان، تأثیر نیروی لزجت و ثقل، مقاومت جریان و روابط شزی و مانینگ و ... از مواردی هستند که در این فصل مورد توجه قرار می گیرند.

فصل سوم مربوط به چگونگی حل مسئله است و بدین جهت برنامه تدوین شده جهت محاسبه پروفیل سطح آب را تشریح و در ادامه برنامه کلی بهینه سازی به کمک تکنیک کلونی مورچگان مورد ارزیابی قرار می گیرد. در فصل چهارم نتایج برنامه تحلیل نیمرخ را با خروجی های HEC-Ras مقایسه و نتایج بهینه سازی در روند های مشاهداتی مورد تحلیل قرار می گیرد. فصل پنجم نتایج کلی تحقیق شامل نتایج حاصل از تحلیل های فیزیکی و ریاضی طرح بوده و در انتها پیشنهاداتی جهت تکمیل و بهینه سازی طرح ارائه شده است.

فصل دوم

هیدرولیک کانال ها و بهینه سازی به روش کلونی مورچگان

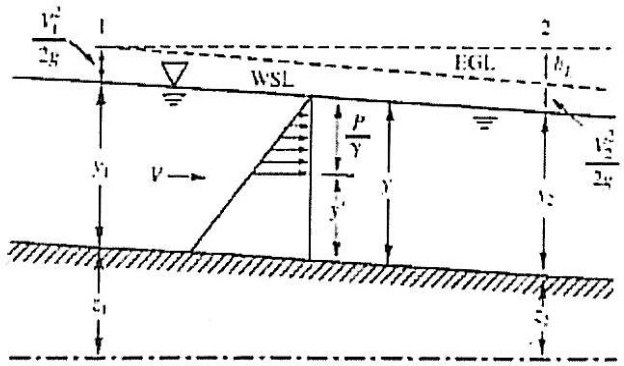
2-۱- مقدمه

در این فصل بصورت مختصر اجزاء و بخش های نیروگاه های آبی ومعادلات انرژی حاکم بر آن تشریح میشود. سپس کلیاتی راجع به سیسم های بهینه سازی و سیستم اجتماع مورچگان ارائه میگردد.

۲-۲- کلیات جریان در کانال های باز

جریان آب در یک مجرا ممکن است به دو صورت تحت فشار و یا جریان آزاد صورت پذیرد. جریان در کانال های باز، حرکت آب در آبراهه های طبیعی (نظیر رودخانه ها و نهرها) و آبراهه های

مصنوعی (نظیرکانال های آبرسانی، کانال های آبیاری و زهکشی) جریان در آبروهای جاده ها و یا حاشیه خیابان ها را شامل می گردد. چنان که دیده می شود در کانال های باز جریان در سطح بالایی خود آزاد بوده و در این مرز جریان همواره با فشار ثابت اتمسفر روبرو می باشد. در شکل (۲ـ۱) رفتار عمومی جریان در کانال های باز نشان داده شده است.



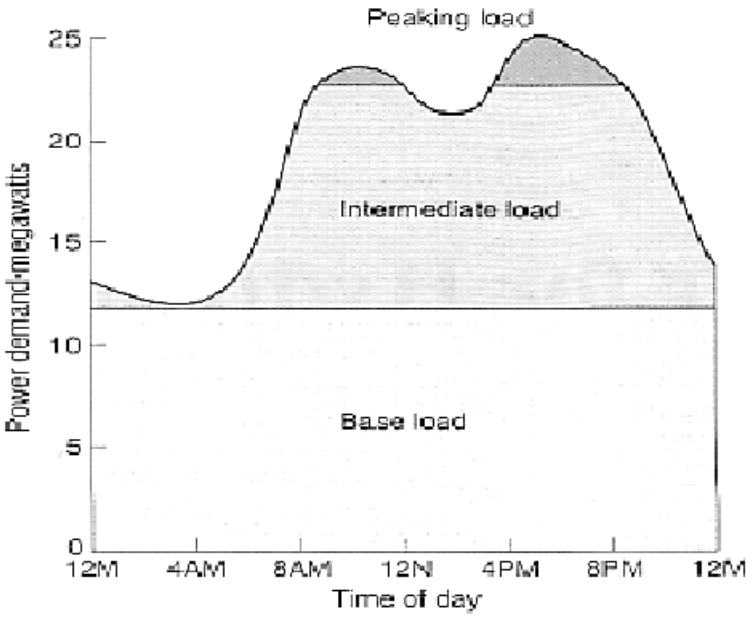
شکل ۲-۱ رفتار عمومی جریان در کانال های باز

علیرغم این که جریان در کانال های باز از اصول اساسی حاکم بر حرکت سیالات تبعیت می کند، ولی نکاتی چند سبب می شود تا جریان در کانال های باز از پیچیدگی های بیشتری برخوردار باشد و مطالعه این گونه جریان ها تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی بیشتری را طلب می کند.

2-۳- نیروگاه های برق آبی

نیروگاه های برق آبی رایج ترین روش های تامین انرژی هستند که در آنها انرژی ناشی از سقوط آب مستقیما به تولید الکترسیته می انجامد.

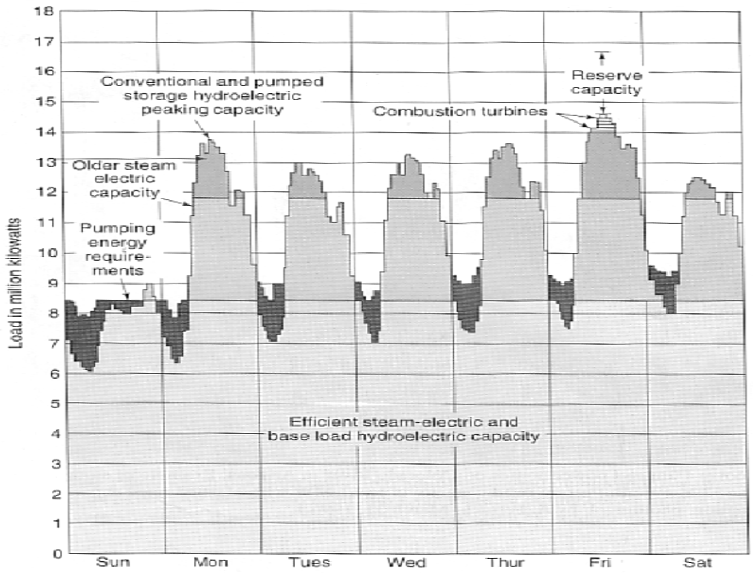
نحوه بار تقاضای الکتریسیته در شکل 2-۲ نشان داده شده است. بار تقاضا به سه بخش تقسیم می شود.



شکل 2-۲ نحوه بار تقاضای الکترسیته

(۱) بار پایه که در ۲۴ ساعت بصورت پیوسته وجود دارد. (۲) بار پیک (اوج) که ماکزیمم باریست که برای چند ساعت در روز اتفاق می افتد. (۳) بار میانه که، بین اینهاست. بار پیک روزانه، ظرفیت لازم برای تولید برق را تعیین می کند. و اوج بارگذاری هفته یا ماه مقدار انرژی ذخیره برای واحدهای صنعتی حرارتی و آبی را تعیین می کند. منحنی های بارگذاری، تابع نوسانات روزانه و هفتگی را به عنوان تابعی از زمان برای یک سیستم برق نشان می دهد. شکل 2-۳ یک منحنی بار هفتگی مناسب را نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که چگونه واحدهای مختلف انرژی با تقاضای روزمره مواجه می شوند. [Mays, Larry W,2005]

نرخ متوسط بار در یک دوره معین بر بار اوج آن زمان، یک پارامتر بارگذاری است. این پارامتر بارگذاری بصورت روزانه، هفتگی، ماهانه و سالانه بیان می شوند. اگر پارامتر بار بالا باشد در نتیجه هزینه واحد انرژی نسبتا پایین است زیرا که سیستم باید نزدیک به ظرفیت بهترین راندمان کار کند. [Mays, Larry W,2005]



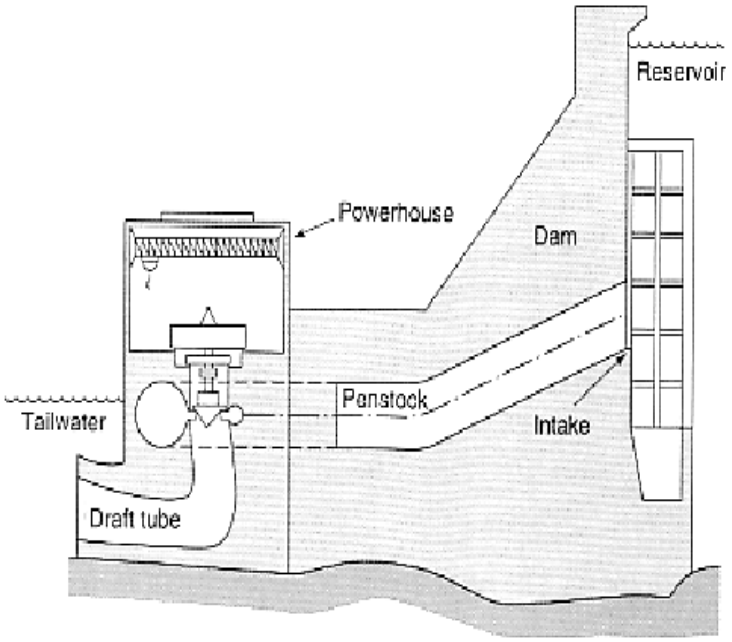
شکل ۲-۳ منحنی بار هفتگی مناسب

۲-۴- اجزای یک نیروگاه برق آبی

در مجموع سه بخش اساسی برای تولید نیرو (انرژی) لازم است :

- راهی برای ایجاد ارتفاع آب
- کانالی برای انتقال آب
- تجهیزات نیروگاهی برای تولید برق

شکل ۲-۴ برخی از اجزاء لازم یک نیروگاه برق آبی نشان می دهد. سد کار اصلی ایجاد هد لازم برای حرکت توربین و همچنین ذخیره آب به منظور سایر اهداف را دارد.



شکل ۲-۴ اجزاء لازم یک نیروگاه برق آبی

ارتفاع سد، هد مولد برای توربین و همچنین حجم آب پشت سد را که برای کار توربین لازم است را مشخص می کند. به همین جهت حجم مخزن که در واقع ظرفیت مخزن است در این بحث اهمیت دارد. تاسیسات دهانه ورودی نیروگاه، آب را به سمت پنستاک[۵] هدایت می کند. پنستاک نیز آب را از ورودی به سمت نیروگاه می برد. بدنه نیروگاه شامل توربین، تاسیسات تولید برق و تجهیزات کنترلی و اضطراری است. توربین نیز انرژی پتانسیل آب را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند که این کار با حرکت ژنراتور صورت می گیرد. درفتیوب[۶] یا کانال خروجی نیز آب را از خروجی توربین می گیرد و به سمت پایاب[۷] می برد. پایاب پایین تر از تاسیسات نیروگاه واقع شده و باعث می شود که آب در درفتیوب بصورت مستغرق باشد.[Mays, Larry W,2005]

[5] penstock

[6] Draft tube

[7] Tarilrace

شکل 2-۵ یک نمونه از نیروگاه های مورد نظر واقع در کانادا

2-۵- کلیات هیدرولیک کانال ها

محاسبه پروفیل سطح آب در جریان های متغیر تدریجی[8] همواره مورد توجه مهندسین علم هیدرولیک بوده است. روش های سنتی محاسبه این پروفیل ها در کتابهای هیدرولیکی از جمله چاو[9] (۱۹۵۹)، فرنچ[10] (۱۹۸۵)، هندرسون[11] (۱۹۶۶) و چادهری[12] (۱۹۹۳). از این میان چادهری تحقیقات بروزی را بر پایه روش های عددی انجام داده است. معادله حاکم جهت محاسبه این جریان ها رابطه بین عمق و فاصله در طول محور X همراه با شیب کف S_0 را مشخص میکند [Saghravani et al., 2000]. همه رابطه ها و روش های ارائه شده بر پایه مقطع ثابت یا همان کانال های منشوری است. در صورتی که در کانال با جمع شدگی یا بازشدگی مواجه شویم استفاده از معادله انرژی همراه با اعمال افت های آن راهی مناسب خواهد بود که در فصل ۳ ارائه شده است.

2-۶- مقدمه ای بر بهینه سازی

بهینه سازی[13]، بررسی نقاط بهینه و روش های پیدا کردن آنها می باشد. به عبارت دیگر بهینه سازی جستجوی روش های پیشرفت به سوی نقاط بهینه می باشد. روش های جستجوی پاسخ بهینه، به نام تکنیک های برنامه ریزی ریاضی[14] شناخته می شوند و معمولاً به عنوان زیر مجموعه ای از تحقیق در عملیات[15] مورد مطالعه قرار می گیرند. تحقیق در عملیات شاخه ای از ریاضی است که بر روی کاربرد های روش های علوم پایه و تکنیک هایی جهت تصمیم گیری در مسائل مختلف و نیز محاسبه بهترین پاسخ یا دسته ای از جواب های بهینه، متمرکز می گردد. جدول ۲-۱ لیستی از تکنیک های مختلف برنامه ریزی ریاضی را در زیر گروه های تحقیق در عملیات را نشان می دهد.[Rao, S.S,1996]

---

[8] Gradually varied flow

[9] Chow

[10] French

[11] Henderson

[12] Chaudhry

[13] Optimization

[14] Mathematical programming techniques

[15] Operations research

تکنیک های برنامه ریزی ریاضی، در جستجوی مقدار مینیمم تابعی از متغیرها و تحت قیود اعمالی مؤثر هستند. روش های فرآیند تصادفی[۱۶] در آنالیز مسائلی که با متغیرهای تصادفی بیان می شوند، کاربرد دارند. روش های آماری[۱۷] نیز در آنالیز داده های آزمایشگاهی، جهت ایجاد مدلی که تا حد امکان بیانگر حالت فیزیکی واقعی باشد، مورد استفاده قرار می گیرند.

از طرفی روش های تحلیل مسائل بهینه سازی را می توان شامل شیوه های تحلیلی نظیر حساب تغییرات[۱۸] ، حساب دیفرانسیل[۱۹] ، روش مضارب لاگرانژ[۲۰] ، و شیوه های عددی[۲۱] مانند برنامه ریزی خطی[۲۲]، روش های جستجوی مستقیم[۲۳]، روش های مبتنی بر گرادیان[۲۴]، روش های تابع جریمه[۲۵]، روش های دوگانه[۲۶] و روش های معیار بهینگی[۲۷] دانست.[Rao, S.S,1996]

جدول ۲-۱- روشهای تحقیق در عملیات

روش های برنامه ریزی ریاضی	روش های فرآیندتصادفی	روش های آماری
روش های حسابی	نظریه تصمیم گیری	آنالیز رگرسیون
حساب تغییرات	تصادفی	تحلیل خوشه ای، تشخیص الگو
برنامه ریزی غیرخطی	فرآیند مارکف	طراحی آزمون ها
برنامه ریزی هندسی	نظریه صف	تحلیل تقریبی (تحلیل عوامل)
برنامه ریزی درجه دوم	نظریه رینوال	
برنامه ریزی خطی	روش های شبیه سازی	
برنامه ریزی پویا	نظریه قابلیت اطمینان	

[16] Stochastic process techniques

[17] Statistical methods

[18] Calculus of variations

[19] Differential Calculus

[20] Lagrange multipliers

[21] Numerical methods

[22] Linear programming

[23] Direct search techniques

[24] Gradient based methods

[25] Penalty function methods

[26] Dual methods

[27] Optimality criteria methods

		برنامه ریزی با اعداد صحیح برنامه ریزی تصادفی برنامه ریزی تفکیک پذیر برنامه ریزی چند هدفه روشهای شبکه: CPM و PERT تئوری بازی شبیه سازی بازپخت الگوریتم ژنتیک شبکه های عصبی

هر کدام از روش های مذکور، مزایا و محدودیت های خاص خود را دارند. به عنوان مثال، علیرغم اینکه از شیوه های تحلیلی پاسخ های دقیقی به دست می آیند، ولی فقط بر روی مسائل ساده و با قیدهای مساوی قابل اعمال می باشند. همچنین بیشتر این روش ها با رسیدن به بهینه محلی[۲۸] متوقف می شوند و قادر به یافتن بهینه کلی[۲۹] نیستند. از طرفی شیوه های عددی را می توان در گستره وسیعی از مسائل به کار برد. تمامی این روش ها با شروع از یک نقطه و با روشی تکراری به سمت جواب نهایی حرکت می کنند. به جز حالتی که فضای طراحی محدب[۳۰] است، هیچ تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه وجود ندارد. یکی دیگر از اشکالات روش های بهینه سازی عددی این است که تابع هدف و محدودیت ها [۳۱] باید دقیقاً متناسب با متغیرهای طراحی تعیین شوند، که این امر در مورد بسیاری از مسائل معمول غیر عملی می باشد[Rao, S.S,1996] .

[28] Local Optimum

[29] Global Optimum

[30] Convex design space

[31] Constraints

استفاده از این روش ها در حل مسائل، دو مزیت عمده دارد: (۱) زمان آماده سازی[۳۲] بسیار کمتر از زمانی است که از روش های سنتی استفاده می کنیم، و (۲) این سیستم ها عملکرد بسیار خوبی داشته و به داده های اشتباه یا نوسانی حساسیت کمی دارند.

۲-۷- معرفی مسئله بهینه سازی

در حالت کلی یک مسئله برنامه ریزی ریاضی یا بهینه سازی را می توان به فرم زیر بیان نمود :

$$Find\ X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ . \\ x_n \end{Bmatrix} \ which\ minimizes\ f(X)$$

(۱-۲)

Subject to the constraints

$$g\_\ j\ (X) \leq 0, \qquad j = 1,2,\dots,m$$
$$l\_\ j\ (X) = 0, \qquad j = 1,2,\dots,p$$

که در آن X یک بردار از مرتبه n بوده و بردار طرح[۳۳] نامیده می شود، f(X) بیانگر تابع هدف و $g_j(X)$ و $l_j(X)$ به ترتیب معرف قیود نامساوی[۳۴] و تساوی[۳۵] هستند. همچنین n، m و p به ترتیب مشخص کننده تعداد متغیرها، تعداد قیود نامساوی و تساوی می باشند. فرم نشان داده شده در معادله (2-۱) مسئله

32 Development time

33 Design vector

34 Inequality constraints

35 Equality constraints

بهینه سازی مقید[۳۶] نامیده می شود. بعضی مسائل بهینه سازی مقید نیستند که این حالت با حذف قیود از معادله فوق به فرم نشان داده شده در معادله (2-۲) بیان می شود:

$$\text{Find } X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ . \\ x_n \end{Bmatrix} \text{ which minimizes } f(X) \qquad (2\text{-}۲)$$

۲-۷- ۱- بردار طرح

هر سیستم مهندسی را می توان با دسته ای از کمیت ها که تعدادی از آنها، طی پروسه طراحی متغیر در نظر گرفته می شوند، تعریف کرد. در حالت عمومی کمیت های قطعی سیستم، کمیت های ثابت و یا به عبارتی پارامترهای از قبل تعیین شده[۳۷] نامیده می شوند. مابقی کمیت ها طی پروسه طراحی، متغیر در نظر گرفته شده و به نام متغیرهای طراحی یا تصمیم گیری شناخته می شوند. نهایتاً مجموعه متغیرهای طراحی (x_i) را می توان با بردار X به فرم معادله (2-۳) نشان داد :

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ x_i \\ . \\ x_n \end{Bmatrix} \qquad (۲\text{-}۳)$$

[36] Constrained

[37] Preassigned parameters

۲-۷-۲- قیود طراحی[۳۸]

در بسیاری از مسائل عملی، متغیرهای طراحی نمی توانند به طور دلخواه انتخاب شوند، بلکه بایستی طوری انتخاب گردند که شرایط و نیازهای خاصی را برآورده نمایند. به مجموعه محدودیت هایی که باید ارضاء گردند تا طرح ایجاد شده قابل قبول باشد، قیود طراحی گفته می شود. در میان قیود موجود به آن دسته که به رفتار یا کارایی سیستم مرتبط هستند، قیود رفتاری یا عملکردی[۳۹] و به آن دسته که محدودیت های فیزیکی از قبیل در دسترس بودن، قابل اجرا بودن و قابل انتقال بودن را بیان می کنند، قیود هندسی یا جانبی[۴۰] گفته می شود.

۲-۷-۳- رویه قید[۴۱]

یک مسئله بهینه سازی که فقط دارای قیود نامساوی باشد را به صورت $g_j(X) \leq 0$ در نظر می گیریم. مجموعه X هایی که معادله $g_j(X) = 0$ را برقرار می کنند فرا رویه[۴۲] را در فضای طراحی تشکیل می دهند که رویه قید نامیده می شود. متذکر می گردد که این رویه یک زیر فضای $(n-1)$ بعدی را تشکیل می دهد که n تعداد متغیرهای طراحی می باشد. بدین ترتیب رویه قید، فضای طراحی را به دو زیر فضا تقسیم می کند: اولی که در آن $g_j(X) < 0$ و دیگری که در آن $g_j(X) > 0$ می باشد. بنابراین نقاطی که بر روی اَبَر رویه قرار دارند قیود $g_j(X)$ را به حالت بحرانی[۴۳] ارضاء کرده اند، در مقابل نقاطی که در ناحیه ای با $g_j(X) > 0$، قرار گرفته باشند، غیر عملی یا غیر قابل قبول[۴۴] بوده و نهایتاً نقاطی که در

---

[38] Design constraints

[39] Behavior of functional constraints

[40] Geometry or side constraints

[41] Constraint surface

42 Hypersurface

[43] Critically

[44] Infeasible or unacceptable

ناحیه ای با $g_j(X) < 0$ قرار می گیرند عملی یا امکانپذیر[45] هستند. مجموعه تمام رویه های قیدی ($g_j(X) = 0,\ j = 1,2,\dots,m$) را که ناحیه امکانپذیر را تفکیک می کنند رویه قیود مرکب[46] می نامند[Rao, S.S,1996].

شکل ۲-۶، یک فضای طراحی دو بعدی فرضی را نشان می دهد که در آن، ناحیه غیر قابل قبول با خطوط هاشور خورده مشخص شده است. یک نقطه طرح[47] که بر روی یک یا چند رویه قرار داشته باشد، نقطه مرزی[48] نامیده شده و قید مربوطه نیز قید فعال[49] خوانده می شود. نقاطی که بر روی هیچ رویه قیدی قرار نداشته باشند به عنوان نقاط آزاد[50] شناخته می شوند. بسته به اینکه یک نقطه طرح متعلق به ناحیه قابل قبول یا غیر قابل قبول باشد، در یکی از گروه های زیر جای می گیرد:

۱) نقطه آزاد و قابل قبول

۲) نقطه آزاد و غیر قابل قبول

۳) نقطه مرزی و قابل قبول

۴) نقطه مرزی و غیر قابل قبول

تمامی این چهار گروه نقاط در شکل ۲-۶ آمده است .

---

45 Feasible or acceptable

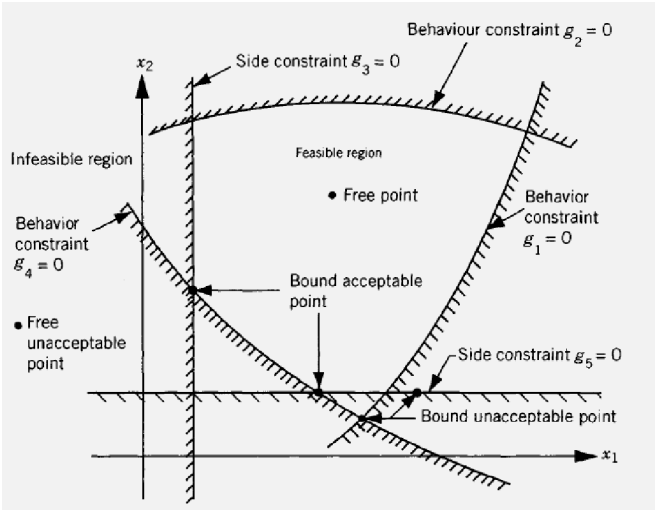
46 Composite constraint surface

47 Design point

48 Bound point

49 Active constraint

50 Free point



شکل ۲-۶- نمایش رویه های قید در یک فضای طراحی دو بعدی فرضی[Rao, S.S,1996].

۲-۷-۴- تابع هدف[۵۱]

هدف روش های معمول طراحی را می توان یافتن طرح قابل قبول یا امکانپذیر که صرفاً نیازهای عملکردی یا دیگر نیازهای مسئله را برآورده کند، دانست. در عمل تعداد پاسخ های امکانپذیر بیشتر از یکی بوده و هدف از بهینه سازی پیدا کردن بهترین جواب از میان این پاسخ ها می باشد. بنابر این بایستی معیاری جهت مقایسه پاسخ های امکانپذیر در نظر گرفت تا بتوان بهترین جواب را انتخاب کرد. معیاری که متناسب با اینکه کدام طرح بهینه است، به عنوان تابعی از متغیرهای طراحی بیان شود را به نام معیار، ملاک یا تابع هدف می شناسیم. انتخاب تابع هدف متناسب با طبیعت مسئله مورد نظر صورت می گیرد. برای مثال در هواپیماها یا فضاپیماها، مینیمم سازی وزن و در طراحی سازه های ساختمانی، مینیمم سازی هزینه ها به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود.

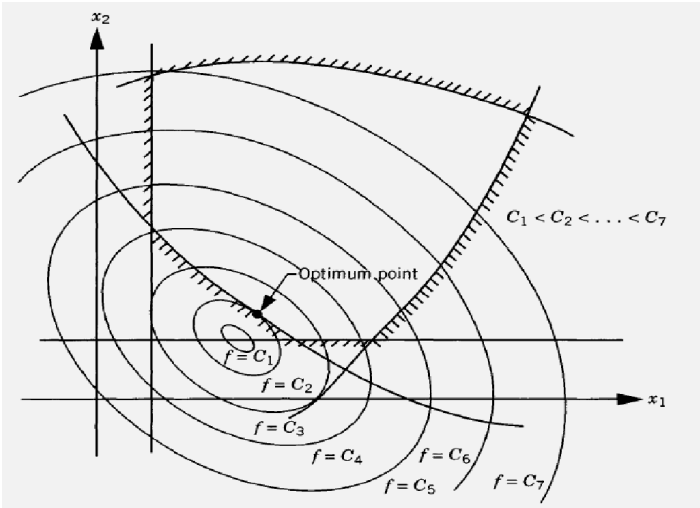
بنابراین تابع هدف در بسیاری از موارد مستقیماً با نوع مسئله تحت طراحی مرتبط است. هر چند که در مواردی وجود دارد که بهینه سازی بر اساس یکی از معیارها موافق با معیار دیگری نباشد. برای

[51] Objective function

مثال در بهینه سازی در طراحی سازه ها، طراحی بر اساس مینیمم سازی وزن سازه موافق با طراحی بر اساس مینیمم سازی تنش ها نیست. بنابر این انتخاب تابع هدف را می توان مهم ترین بخش در کل پروسه طراحی دانست.

۲-۷-۵- رویه های تابع هدف[۵۲]

نقاطی که رابطه $f(X) = c = constant$ را برقرار می کنند، ابر رویه ای را در فضای طراحی تشکیل می دهند، و به ازای هر مقداری از c رویه جدیدی ایجاد می گردد. به این رویه ها، رویه های تابع هدف گفته می شود که در شکل ۲-۷ نمونه ای از این رویه ها در یک فضای طراحی دو بعدی فرضی نشان داده شده اند.



شکل ۲-۷. منحنی های تراز[۵۳] مربوط به تابع هدف

۲-۸- روش های متعارف بهینه سازی

[52] Objective function surfaces

[53] Contours

در حالت کلی مسائل بهینه سازی را می توان بر حسب متغیرهای طراحی و کمیت های بیان کننده رفتار سازه مورد نظر، در چهارچوب مسائل برنامه ریزی ریاضی، پایه ریزی نمود. این روش ها به طور کلی به دو گروه متمایز تقسیم می شوند: گروه نخست شامل روش های مبتنی بر گرادیان هستند که مشتقات تابع هدف و محدودیت ها را به همراه مقادیر این توابع برای یافتن طرح بهینه به کار می گیرند . در برخی مسائل مهندسی ساختمان ، بهینه سازی توابع با استفاده از روش های مبتنی بر گرادیان تابع هدف امکان پذیر است . ولی در تعدادی از مسائل نمی توان از این روش ها استفاده کرد و یا بکارگیری آنها به سادگی امکان پذیر نخواهد بود . در مواردی که فضای مسئله گسسته است ، گاهی با وجود پیوستگی فضای جستجو ، بهینه های محلی مانع رسیدن روش های گرادیانی به بهینه کلی می شود . در این موارد از روش های جستجوی مستقیم که در گروه دوم روش های برنامه ریزی ریاضی جای می گیرند ، بهره می گیریم [Rao, S.S,1996].

گروه عمده ای از مسائل طراحی بهینه سازه ها ، به دلیل وابستگی غیرخطی میان رفتار سازه و متغیرهای طراحی در گروه مسائل برنامه ریزی غیر خطی قرار می گیرند . با توجه به ماهیت غیرخطی اینگونه مسائل، روشن است که حل آن به سادگی امکانپذیر نبوده و با دشواری هایی همراه می باشد . یکی از این دشواری ها، وجود چندین پاسخ کمینه موضعی است . یک نقطه کمینه محلی نسبت به نقاط مجاور خود ، مقدار کوچکتری را برای تابع هدف به دست می دهد ، ولی نمی توان انتظار داشت که این پاسخ ، کمترین مقدار تابع هدف در ناحیه قابل قبول باشد . از این رو رسیدن به یک پاسخ بهینه کلی در مسائل برنامه ریزی غیر خطی با تردید همراه بوده و فرآیند بهینه سازی در بسیاری از موارد به پاسخ محلی همگرا می شود . در مواردی که فضای طراحی چند قیدی است ، عملیات جستجو را می توان از چند نقطه آغاز نمود . ولی با وجود به کارگیری این روش ، تضمینی برای یافتن بهینه کلی وجود ندارد [Rao, S.S,1996].

مدت هاست که مطالعاتی بر روی الگوریتم هایی که بتوانند از نقاط بهینه محلی بگریزند ، آغاز شده و تا کنون روش های متفاوتی ارائه و مورد بررسی قرار گرفته اند . در این میان الگوریتم های تصادفی به دلیل عملکرد ساده و در نتیجه سهولت اجرا به کمک کامپیوتر ، مورد توجه بیشتری قرار دارند .

به طور کلی روش های مختلف بهینه سازی مسائل مقید را می توان طبق جدول ۲-۲ به دو گروه اصلی روش های مستقیم[۵۴] و غیر مستقیم[۵۵] تقسیم بندی نمود [Rao, S.S,1996].

جدول ۲-۲- روش های بهینه سازی توابع مقید

روشهای مستقیم	روشهای غیر مستقیم
روش های جستجوی تصادفی	تکنیک تبدیل متغیرها
روش های جستجوی اکتشافی	روش های تابع جریمه
روش های تخمین هدف و قیود	
روش های جهات امکان پذیر	
روش کاهش گرادیان تعمیم یافته	

با توجه به مطالب قبل ، در فرآیند جستجوی نقاط بهینه ، دو مورد باید به طور همزمان مد نظر قرار گیرد، نخست اینکه بهینه کلی می تواند در هر جای فضای جستجو قرار داشته باشد ، دوم اینکه بر

54 Direct methods

55 Indirect methods

اساس استراتژی محلی ، احتمال یافتن نقطه ای جدید که مقدار تابع را بهبود بخشد ، نزدیک نقطه ای با مقدار تابع هدف بهتر، بیش از نقطه ای با مقدار تابع هدف بدتر است .

بنابر آنچه بیان شد ، یک روش بهینه سازی مؤثر باید دو هدف متناقض را پیگیری کند . با در نظر گرفتن استراتژی کلی ، توزیع نقاط انتخابی باید یکنواخت باشد و برای بر آورده کردن استراتژی دوم ، توزیع نقاط باید بیشتر در پیرامون بهترین نقاط فعلی متمرکز گردد . به همین دلیل ، بیشتر روش های بهینه سازی از دو استراتژی جستجوی کلی و محلی استفاده کرده و تمام روش ها ، استراتژی جستجوی کلی را به کار می گیرند .

مطالعات چند دهه اخیر روش های عددی مختلفی را برای بهینه سازی توابع مقید ارائه کرده است . این روشها معمولاً با تفکر و استدلال های منطقی در چرخه های سعی و خطا ، گام به گام به سمت نقطه بهینه پیش می روند . در این تحقیق از میان روش های بهینه سازی عددی الگوریتم اجتماع مورچگان[۵۶] مورد استفاده قرار گرفته است . محاسبات این روش از مشتق تابع هدف و قیود حاکم بی نیاز می باشد . به همین دلیل استفاده از آن برای بهینه سازی کانال در تحقیق حاضر که متغیرهای طراحی دارای بردارهای طراحی گسسته می باشند ، سودمند خواهد بود .

۲-۹- الگوریتم سیستم اجتماع مورچگان

۲-۹-۱- مقدمه ای بر سیستم اجتماع مورچگان

بهینه سازی به روش کلونی مورچگان[۵۷] (ACO)، یکی از جدیدترین رویکردهای حل مسائل پیچیده بهینه سازی می باشد. این روش نیز مانند بسیاری از دیگر روشهای هوش ازدحامی بهینه سازی، با الهام گرفتن از طبیعت، روشی را برای جستجوی جواب بهینه ارائه می کند. عملکرد این الگوریتم بر اساس

[56] Ant colony system

[57] Ant colony optimization

رفتار جستجوی غذا[58] در کلونی مورچگان طبیعی پایه ریزی شده که در آن جمعیتی از مورچگان طبیعی بطور غریزی با کمک گرفتن از ردپای دیگر مورچگان، کوتاهترین مسیر بین منبع لانه و منبع غذا را پیدا می کنند. در واقع مورچه ها مجهز به حواسی هستند که به آنها در مسیر یابی کمک می کند. در این راستا دو عامل تاثیر اساسی دارند، اول اینکه هر مورچه بطور طبیعی و مداوم، ماده ای بنام فرومون[59] از خود ترشح می کند که تا مدت زمانی بصورت یک ردپا یا مسیر فرومون[60] بر روی مسیر حرکتش برجا می ماند. دیگر اینکه مورچه ها قادر به تشخیص نوع و مقدار فرومون موجود بر روی مسیرها بوده و در مسیر یابی خود از آن استفاده می کنند. همچنین باید توجه داشت که مسیرهایی که فرومون بیشتری بر روی آنها وجود داشته باشد از جذابیت بیشتری برای مورچه ها برخوردارند. عوامل دیگری نیز وجود دارند که بطور طبیعی به این عملکرد کمک می کنند، که از آن میان می توان به عامل تبخیر فرومون تحت شرایط محیطی اشاره کرد [Dorigoand, Stützle,2004].

در ادامه به ارائه دو مثال همراه با نتایج آن در حل مسئله زمانبندی حرکت قطار و بهینه سازی یک تیر مرکب با استفاده از سیستم اجتماع مورچگان پرداخته میشود.

۲-۹-۲- حل مسئله زمانبندی حرکت قطار با استفاده از سیستم اجتماع مورچگان

۲-۹-۲-۱- مقدمه

برنامه ریزی حمل و نقل ریلی فرآیند بسیار پیچیده ای است که بر پایه مدیریت واکنش متقابل واکنش میان تعداد زیادی از اجزاء متاثر از هم صورت می پذیرد. با توجه به پیچیدگی برنامه ریزی حمل و نقل ریلی، این، فرآیند به چند مرحله تقسیم می شود. این مراحل شامل تجزیه و تحلیل تقاضا، برنامه

[58] Foraging behavior

[59] Pheromone

[60] Pheromone trail

ریزی استفاده از خط، زمان بندی حرکت قطار، برنامه ریزی مربوط به استفاده از آلات نقلیه و مدیریت خدمه است. در ادامه شرحی مختصر بر این فرآیند برنامه ریزی سلسله مراتبی آورده شده است.

به راحتی می توان مسئله زمان بندی حرکت قطار را به یک مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) تبدیل کرد. دوریگو و گاملاردلا نشان دادند که الگوریتم ACS در حل مسئله TSP از دیگر الگوریتم های فوق ابتکاری موفق تر بوده است. همان گونه که در جدول ۲-۳ توسط دوریگوو گامباردلا نشان داده شده است، سیستم اجتماع مورچه ها (ACS) در حل سه مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) به ترتیب در ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ شهر جوابی بهتر از سه الگوریتم فوق ابتکاری دیگر (بازپخت شبیه سازی شده (SA)، برنامه ریزی تکاملی (EP) و الگوریتم ژنتیک (GA) و دقیقاً منطبق بر جواب بهینه مسئله حاصل نموده است. اعداد ذکر شده در این جدول نشان دهنده طول مسیر ساخته شده است [قصیری , سلوک,1384].

جدول ۲-۳ مقایسه الگوریتم های فوق ابتکاری

نام مسئله	SA	EP	GA	ACS	مقدار بهینه مسئله
با ۵۰ TSP شهر	۴۴۳	۴۲۶	۴۲۸	۴۲۵	۴۲۵
با ۷۵ TSP شهر	۵۸۰	۵۴۲	۵۴۵	۵۳۵	۵۳۵
با TSP ۱۰۰ شهر	غیر قابل حل	غیر قابل حل	۲۱۷۶۱	۲۱۲۸۲	۲۱۲۸۲

با توجه به کیفیت خوب عملکرد الگوریتم ACS در حل مسئله TSP و همچنین قابلیت تبدیل مسئله زمان بندی حرکت قطار به TSP تصمیم به حل مسئله زمانبندی حرکت قطار با این الگوریتم گرفته شده است.

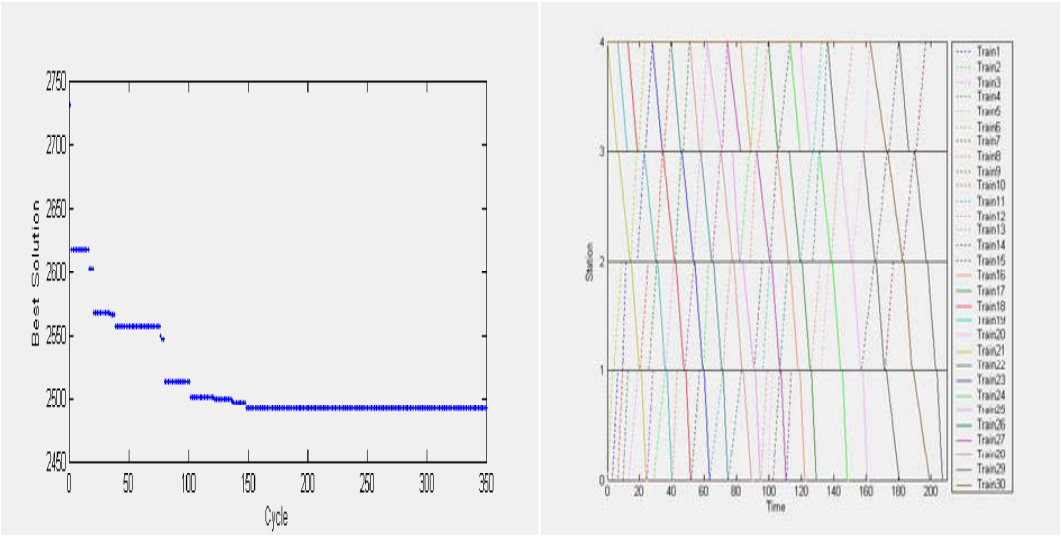
۲-۹-۲-۲- روش حل مدل پیشنهادی با ACS

در الگوریتم پیشنهادی چنین فرض شده است که قطارها همان نقش شهرها (گره ها) را در مسئله TSP ایفا می کنند. قطارهای اعزامی از چپ به راست و همچنین قطارهای اعزامی از راست به چپ تشکیل ۲ زیر شبکه ، مستقل را در TSP می دهند. طبق تعریف مسیر انتخابی هر مورچه در شبکه قطارها توالی اعزام قطارها را نشان می دهد. برای مثال ۷ قطار (سه قطار اعزامی از راست به چپ و ۴ قطار اعزامی از چپ و راست) است ، اگر مورچه ای مسیر گره شروع ، قطار ۱ ، قطار ۳ و قطار ۲ را انتخاب کند به معنی توالی اعزام قطارهای ۱و۳ و ۲ است. در این الگوریتم یک اجتماع شامل $2\times n$ مورچه است که این تعداد در n گروه ۲ تایی در کنار هم برای ساخت جواب همکاری می کنند. هر گروه شامل ۲ مورچه است که یکی از آنها به ساخت توالی در مجموعه قطارهای اعزامی از ایستگاه راست به چپ ، و دیگری به ساخت توالی در مجموعه قطارهای اعزامی از ایستگاه چپ به راست تخصیص می یابند [قصیری , سلوک,1384].

۲-۹-۲-۳- نتایج اجرای مدل

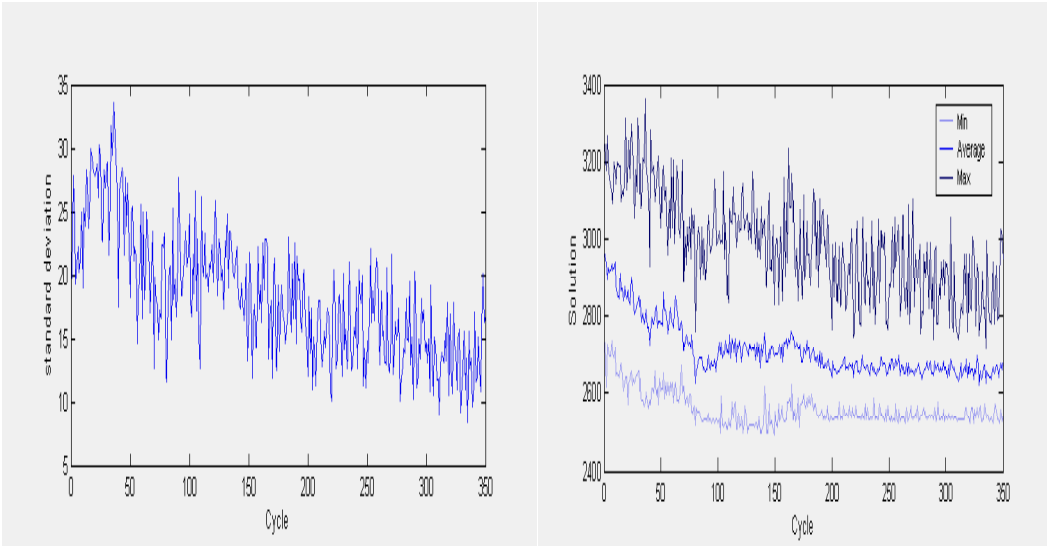
بعد از تعیین پارامترها، الگوریتم پیشنهادی برای مسئله ای با30 قطار اجرا شده است. نمودار حرکت قطارها در شکل ۲-۸-الف نشان داده شده است. نمودار حرکت قطارها موقعیت هر قطار بر روی مسیر به صورت تابعی از زمان نشان می دهد. در این نمودار زمانهای ورود و خروج هر یک از قطارها از ایستگاه های مبدا، میانی و مقصد نشان داده می شود که مبنای برنامه ریزی و بهره برداری در راه آهن است .شکل ۲-۸-ب نشان دهنده همگرائی در بهبود جواب ها در هر چرخه از اجرای الگوریتم است . مقدار تأخیر پس از همگرایی جوابها در چرخه 152 برابر با 2492,1 واحد زمانی است .شکل ۲-۹-الف میانگین ، بیشینه و کمینهٔ جوابهای ساخته شده در هر چرخه را نشان می دهد که تاکیدی بر همگرایی جوابها بوده و مکمل شکل ۲-۸-ب است .نمودار شکل ۲-۹-ب انحراف معیار جوابهای ساخته شده در

هر چرخه را نشان می دهد که گویای کاهش دامنه تغییرات جوابها در هر چرخه از اجرای الگوریتم است [قصیری , سلوک,1384].



ب الف

شکل ۲-۸- الف- نمودار حرکت قطارها در شکل و ب- همگرائی در بهبود جواب ها



ب الف

شکل ۲-۹- الف- میانگین ، بیشینه و کمینهٔ جوابهای ساخته شده و ب- انحراف معیار جوابهای ساخته شده

۲-۹-۳- سبک سازی پلهای مرکب دال بتنی و تیر جعبه ای بروش اجتماع مورچگان

۲-۹-۳-۱- مقدمه

تیر ورق های جعبه ای به خاطر دارا بودن مشخصات هندسی و ایستایی مساعد، برای استفاده در دهانه های ۳۵ متر و بالاتر مناسب می باشند. در راستای یافتن بهترین طرح در تیر های مذکور به دلیل تعداد زیاد حالات ممکن طراحی، عمل جستجو را نمی توان با کنترل کلیه طرح ها انجام داد. قصد بر آن است تا با در نظر گرفتن سخت کننده های طولی وزن تیر مرکب جعبه ای را کاهش دهیم. در این راستا الگوریتم بهینه سازی اجتماع مورچگان در یک فایل کمکی به زبان پیتون در محیط نرم افزار آباکوس نوشته و اجراء گردیده است. بارهای بهره برداری استاتیکی بوده و بر اساس مشخصات مندرج در آئین نامه پل های ایران در نظر گرفته شده است و سایر ضوابط بر گرفته از آیین نامه آشتو می باشند [قاسمی ، دیزنگیان،۱۳۸۹].

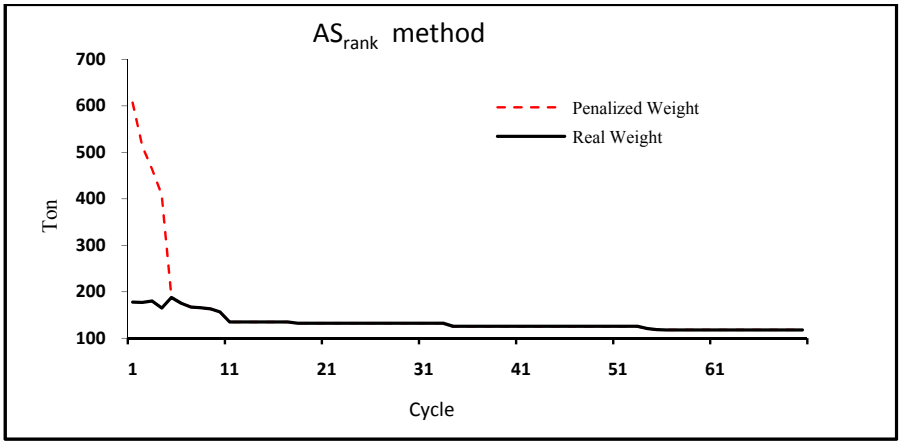
۲-۹-۳-۲- مدل سازی سازه جهت بهینه سازی

جهت بهینه سازی سازه بروش اجتماع مورچگان، ابتدا باید سازه را به مجموعه ای از گره ها و یالها تبدیل کرد. در این راستا هر مورچه هنگام عبور از عضو مورد نظر باید یک یال را انتخاب نماید تا با انجام این عمل برای تمامی اعضا(متغیر ها)، طرح کاملی از سازه ارائه گردد. قابل ذکر است از الگوریتم ASrank جهت بهینه سازی در مقاله حاضر استفاده شده است. جستجوی الگوریتم در صورتیکه تعداد کل تکرارهای انجام شده به عدد مشخصی برسد یا در تعداد سیکل معین، بهبودی در وزن سازه حاصل نشود، متوقف خواهد شد.

۲-۹-۳-۳- خلاصه و نتیجه‌گیری

پارامتر های طراحی با دقت زیادی در مدل سازی تیر جعبه ای توسط نرم افزار اجزای محدود در نظر گرفته شده اند. بعلت تقارن محوری پل، فقط یک تیر جعبه ای بهمراه دال بتنی مدل گردید. با توجه به تمایل الگوریتم در همگرا شدن به سمت ضخامت های حداقل، بسیاری از طرح های بهین به نقض

میزان خیز استاندارد منجر می شدند، که با تنظیم مناسب ضرایب و پارامتر های طراحی، این ایراد بر طرف گردید. [قاسمی ، دیزنگیان،۱۳۸۹].



شکل ۲-۱۰- نمودار همگرایی وزن در مقابل تعداد تکرارها

فصل سوم

ابزارها و روش ها

۳-۱- مقدمه

در بخش دوم به هیدرولیک کانال ها اشاره شد. در این فصل ابتدا قسمت های مختلف کانال خروجی نیروگاه[۶۱] ارائه شده و سپس جزئیات روش حل موضوع همراه با روش های مختلف الگوریتم کلونی مورچگان و برنامه نویسی آنها بررسی و نشان داده می شود.

۳-2- مشخصات کانال خروجی نیروگاه

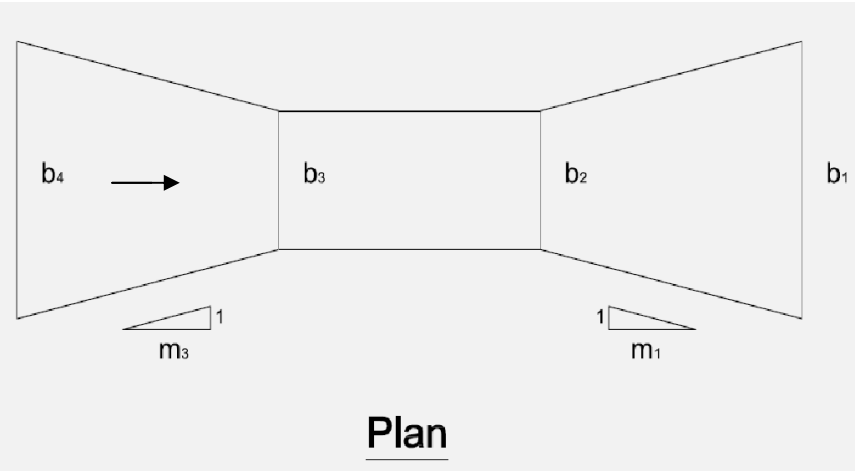
در فصل ۱ اشاره شد که هدف بهینه کردن کانال خروجی نیروگاه از طریق مینیمم کردن افت هد در طول مسیر کانال است. این کانال از سه قسمت به ترتیب ناحیه جمع شونده[۶۲]، ناحیه با عرض ثابت[۶۳] و ناحیه

[61] Tailrace

[62] Contraction

[63] Fixed

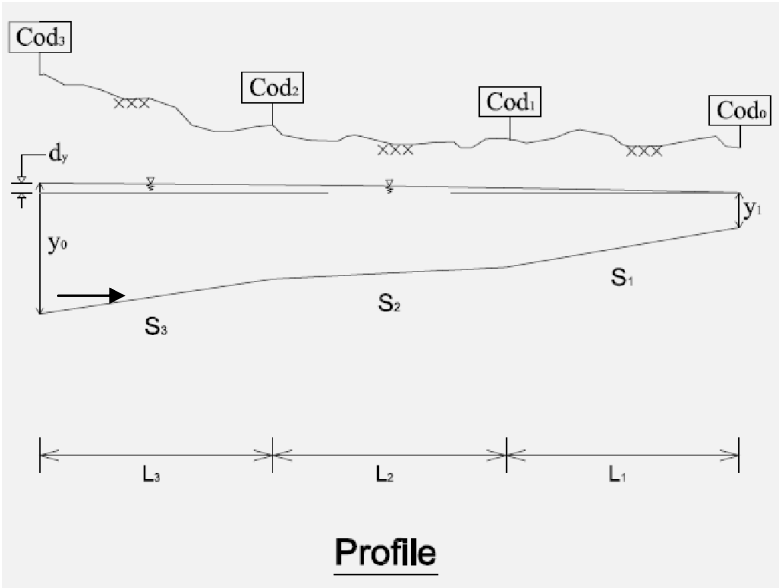
باز شونده[۶۴] مطابق با شکل ۳-۱ تشکیل شده است. مسیر جریان آب در کانال با مقداری افت هد مواجه می شود. یکی از عوامل این افت هد، زاویه جمع شدگی و باز شدگی تبدیل ها است. کاملاً قابل پیش بینی است که افزایش این زوایا افزایش افت هد را در کانال به دنبال دارد که از نظر اقتصادی مطلوب نیست. بنابراین دو پارامتر انتخابی شدت جمع شدگی و باز شدگی خواهد بود که با m_1 و m_3 نشان داده می شوند.



شکل ۳-۱ پلان Tailrace

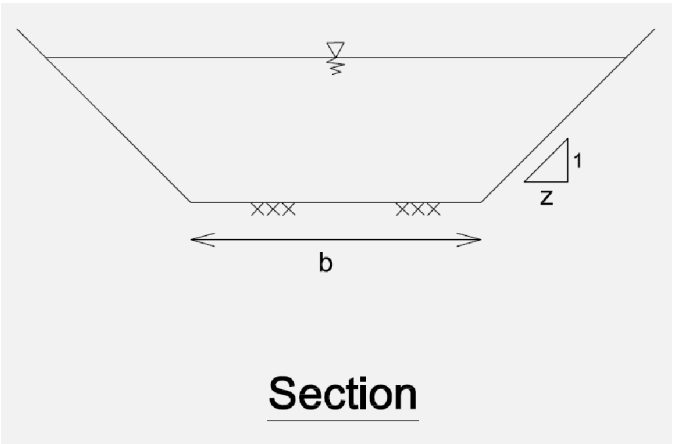
همچنان که اشاره شد، شیب کانال معکوس است و در هر سه قسمت، جریان زیر بحرانی برقرار است. در طراحی های معمول و تحقیق حاضر شیب این ۳ قسمت در حدود ٪۱۰ تا ٪۱۵ منظور می شود. در شکل ۳-۲ پروفیل سطح آب و کف کانال به صورت شماتیک نشان داده شده است. تغییرات افت هد ارتفاعی جریان در کانال به ازای دبی های مختلف در کانال که منتج شده از دبی های مختلف در طول دوره طرح میباشد بررسی میگردد. همچنین اختلاف تراز ارتفاعی قبل و بعد از کانال و اثر این پارامتر روی مقدار افت هد در جریان نیز تحلیل خواهد شد.

[64] Expansion



شکل ۳-۲ پروفیل سطح آب

یکی دیگر از پارامترهای قابل طراحی در کانال شیب این ۳ قسمت می باشد. همچنین همانطور که در شکل ۳-۲ مشخص شده طول کانال از ۳ قسمت تشکیل شده که جمع آنها باید ثابت و در تحقیق حاضر برابر 30m باشد. لذا طول هر یک از این ۳ قسمت متغیری در طراحی تلقی می شود. بر اساس قیدهای اجرایی در تحقیق حاضر حداقل و حداکثر این طول به ترتیب برابر ۸ و ۱۲ است. در شکل ۳-۳ سطح مقطع کانال نمایش داده شده است.



شکل ۳-۳ سطح مقطع کانال

۳-۳- محاسبه نیمرخ سطح آب درTailrace

برای بررسی نیمرخ سطح آب و تعیین عمق در هر نقطه نیاز به یک مقطع کنترل است که عمق جریان در آن نقطه مشخص باشد. در واقع این نقطه شرط اولیه در حل معادله دیفرانسیل حاکم می باشد و لذا می توان با استفاده از روش های محاسباتی عددی و یا تحلیلی به حل این معادله پرداخت و تغییرات عمق را در طول مسیر جریان به دست آورد. از آنجایی که اکثر این روش ها مبتنی بر شکل کانال های منشوری هستند و کانال Tailrace از سه قسمت باز شونده و جمع شونده و ثابت تشکیل شده است، از روش ساده عددی بر اساس گام به گام مستقیم استفاده شده است و در فصل نتایج، جواب ها با جواب های آنالیز شده توسط HEC-Ras مقایسه می شود. همچنین از روش پیشنهادی هندرسون نیز برای همگرایی مسئله استفاده می شود.

۳-۳-۱- روش حل عددی گام به گام مستقیم[۶۵]

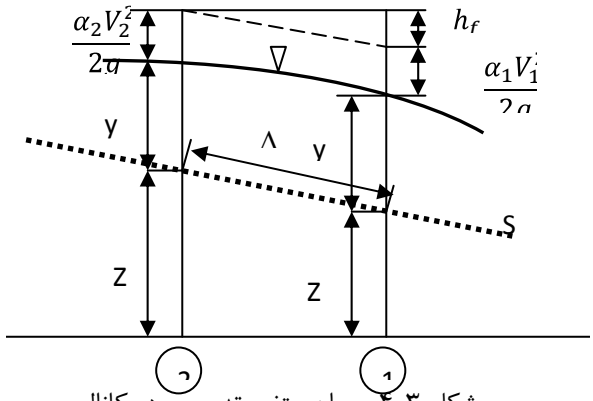
جریان در کانال مذکور دائمی است. به همین جهت بر اساس معادله انرژی بین دو مقطع دلخواه عمل می شود. با انتخاب دو عمق دلخواه، می توان فاصله بین دو عمق را به دست آورده، نیمرخ سطح آب را ترسیم کرد. برای این منظور دو مقطع ۱و۲ از جریان نشان داده شده در شکل ۳-۴ که به فاصله Δx از یکدیگر قرار دارند، در نظر گرفته می شود. چنانچه مقطع منشوری باشد با نوشتن معادله انرژی بین دو مقطع ۱و۲ داریم:

$$H_1 - h_f = \qquad (۳-۱)$$

$$Y_1 + \propto_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - h_f = Y_2 + \qquad (۳-۲) \qquad H_2$$

$$\propto_1 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

[65] Direct step method



شکل ۳-۴ جریان متغیر تدریجی در کانال

$$dx = \left(\left(y_2 + \propto_2 \frac{V_2^2}{2g}\right) - \left(y_1 + \propto_1 \frac{V_1^2}{2g}\right)\right) / (S_o - S_f) \qquad ۳-۳$$

حال چنانچه دو مقطع دلخواه با اعماق y_1 و y_2 انتخاب شوند با معلوم بودن دبی جریان مقدار d_x در رابطه ۳-۳ مشخص شده و در صورتی که S_f (شیب خط انرژی) در حد فاصل دو عمق نیز تعیین گردد، می توان فاصله بین دو عمق را محاسبه نمود. رابطه ۳-۴ شیب خط انرژی بر حسب دبی جریان را نشان میدهد:

$$Q = \frac{1}{n} S_f^{1/2} R^{2/3} A \rightarrow S_f = \frac{Q^2 n^2}{R^{4/3} A^2} \qquad ۴-۳$$

رابطه های ذکر شده تا اینجا مربوط به یک کانال منشوری است. چنانچه عمق در یک مقطع دلخواه داده شود، می توان با به دست آوردن dx، پروفیل سطح آب را به دست آورد. ولی اگر کانال غیر منشوری باشد و سطح مقطع آن ثابت نباشد ، با دادن یک عمق نمی توان به طور مستقیم dx را حساب کرد. به همین جهت با حدس یک dx اولیه در دو عمق متوالی شعاع هیدرولیکی R و مساحت A به دست آمده و در رابطه ۳-۴ قرار داده می شود. سپس dx جدید را از رابطه فوق محاسبه و با این dx مجدداً R و A جدید حاصل می شود. این فرایند آنقدر ادامه پیدا می کند تا dx دو مرحله متوالی با دقت مورد نظر، باهم برابر به دست آیند. برای مثال حلقه برنامه در قسمت بازشونده کانال در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است.

Do

$A(1) = (b(1) + Z \times y(1)) \times y(1)$, $A(2) = (b(2) + Z \times y(2)) \times y(2)$

$R(1) = {A(1)}/{b(1) + 2 \times y(1) \times \sqrt{1 + Z^2}}$, $R(2) = {A(2)}/{b(2) + 2 \times y(2) \times \sqrt{1 + Z^2}}$

$E(1) = y(1) + {Q^2}/{2 \times 9.81 \times A(1)^2}$, $E(2) = y(2) + {Q^2}/{2 \times 9.81 \times A(2)^2}$

$y(2) = y(1) + y(1) \times \Delta y$, $b(2) = b(1) - 2 \times {\Delta x}/{m1}$

$S_{f1} = {Q^2 \times n^2}/{R(1)^{\frac{4}{3}} \times A(1)^2}$

$S_{f2} = {Q^2 \times n^2}/{R(2)^{\frac{4}{3}} \times A(2)^2}$

$S_f = {(Sf1 + Sf2)}/{2}$, $H_f = C_e \times {(\frac{Q}{A(!)} - \frac{Q}{A(2)})^2}/{2 \times 9.81}$

$\Delta x * = {(E(2) - E(1) - Hf)}/{(Sf + S.)}$,

همگرایی = Abs(Δx^* - Δx) , $\Delta x = \Delta x^*$

Loop Until همگرایی > همگرایی *

شکل ۳-۵ حلقه برنامه در قسمت بازشونده

در بخش بعد نحوه اعمال ضریب افت در تبدیل ها تشریح می شود. در تحقیق حاضر بر اساس روش های بالا برنامه با زبان Visual Basic نوشته شده است. تابع هدف بر اساس معادلات ارائه شده در قسمت ۳-۴ تشریح شده است.

۳-۳-۲- مدل کردن کانال با نرم افزار HEC-Ras

در اینجا مقاطع کانال را در ۴ قسمت مشخص شده وارد کرده و مسئله را برای حالت Subcritical و Mixed تنظیم و تحلیل می شود. دبی مسئله در ۳ مقدار مختلف در یک کانال با سایر پارامترهای یکسان در نظر گرفته شده است. ضریب مانینگ مانند برنامه نوشته شده توسط Visual Basic، ۰/۰۴۰

منظور شده است. همچنین ضرایب افت جمع شدگی و بازشدگی در HEC-Ras به صورت پیش فرض برابر با ۰/۱ و ۰/۳ در نظر گرفته می شود.

۳-۳-۳- همگرایی در روش عددی گام به گام مستقیم

در روش عددی گام به گام مستقیم در معادله ۳-۲، h_f افت هد در طول مسیر است. چنانچه افت موضعی جریان را با h_e و جدا از h_f در نظر گرفته شود به ترتیب زیر خواهد بود:

$$h_e = C_e \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \right.$$ ۳-5

α2V2 22g

جدول ۳-۱- مقدار ضریب C_e در معادله ۳-۷ [حسینی،ابریشمی،۱۳۸۳]

تنگ شونده	گشاد شونده	وضعیت تبدیل
۰	۰	کانال منشوری (بدون تبدیل)
۰/۱	۰/۳	تبدیل تدریجی
۰/٦	۰/۸	تبدیل ناگهانی

$$h_2 + \frac{a_2\ V_2^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1\ V_1^2}{2g} + h_{\mathrm{f}} + h_{\mathrm{e}}$$

6-3

با توجه به معلوم بودن مشخصات جریان در مقطع 1، مقدار h_2 در رابطه فوق مجهول بوده که تعیین دقیق آن نیاز به آزمون و خطا دارد. برای این منظور و در اولین آزمون، مقداری برای h_2 (یا به عبارت دیگر برای y_2) انتخاب و در نتیجه مقادیر h_2 و h_e و h_f محاسبه می گردند.

برای تسریع در رسیدن به نتایج نهایی می توان با استفاده از روش پیشنهادی هندرسون، مقدار انتخابی h_2 در آزمون i+1 را بر اساس نتایج آزمون i به گونه ای در نظر گرفت که سرعت همگرایی افزایش یابد. بر این اساس چنانچه H_E تفاوت طرفین رابطه انرژی در آزمون i باشد داریم:

$$H_E = \left[H_2 - (H_1 + h_f + h_e)\right]$$

هدف از محاسبه بعدی تغییر دادن مقدار y_2 است به نحوی که مقدار H_E برابر صفر گردد و لذا:

$$\frac{dH_E}{dy_2} = \frac{d}{dy_2}\left[y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - Z_1 - y_1 - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \frac{1}{2}\Delta x\left(S_{f1} + S_{f2}\right) - C_e \left|\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}\right|\right]$$

با توجه به ثابت بودن مقدار y_1 ، Z_1 ، Z_2 و V_1 می توان نوشت :

$$\frac{dH_E}{dy_2} = \frac{d}{dy_2}\left[y_2 + (1 + C_e)\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{1}{2}\Delta x\, S_{f2}\right]$$

7-3

$$\frac{dH_E}{dy_2} = 1 - (1 + C_e)Fr_2^2 - \frac{1}{2}\Delta x \frac{dS_{f2}}{dy_2}$$

در معادله فوق، Fr_2^2 از رابطه 3-۸ به دست می آید.

$$Fr_2^2 = \frac{\alpha_2\, Q_2^2\, T_2}{g\, A_2^3}$$

۸-3

در صورتی که کانال مستطیلی عریض فرض گردد:

$$\frac{dS_{f2}}{dy_2} = -\frac{3/33 S_{f2}}{y_2} \approx \frac{-3/33 S_{f2}}{R_2}$$

9-3

با جایگزینی روابط 3-۸ و 3-۹ در معادله 3-۷ داریم:

$$\frac{dH_E}{dy_2} = \left[1 - (1 + C_e)Fr_2^2 + \right. \qquad 10\text{-}3$$

$$1/67 \;\; Sf2\, \Delta xR2$$

برای آن که در آزمون i+1 ، مقدار H_E به ازاء تغییر y_2 برابر صفر گردد، می بایست ΔH_E معادل-H_Eدر نظر گرفته شود زیرا:

$$\Delta y_2 = \frac{-H_E}{\left[1-(1+C_e)Fr_2^2+\frac{1/67\, S_{f2}\, \Delta x}{R_2}\right]} \qquad 11\text{-}3$$

رابطه 3-11 میزان تغییر y_2 در آزمون i+1 را نشان می دهد که با داشتن آن، مقدار y_2 در آزمون i+1 از رابطه زیر به دست آمده:

$$\Delta y_2 = y_2^{(i+1)} - y_2^{(i)} \Rightarrow y_2^{(i+1)} = \qquad 12\text{-}3$$

$$y_2^{(i)} + \Delta y_2$$

در صورتی که در نیمرخ های فوق بحرانی محاسبات از بالادست به پایین دست انجام شود می توان معادله انرژی را مجدداً نوشت و تغییر علامات لازم در روابط را به دست آورد [حسینی،ابریشمی،۱۳۸۳].

۳-4- محاسبه هزینه ها و تعیین تابع هدف

در بخش ۳-۳ برنامه ای تدوین شد که بر اساس آن مقدار افت هد کانال را در آخر ارائه می کند. هر اندازه این مقدار افت کاهش پیدا کند موجب افزایش عملکرد توربین میشود که در تحقیق حاضر به نحوه محاسبه رابطه بین توربین و کانال پرداخته نشده است. لذا بصورت فرضی به ازای هر میلی متر افت هد که کاهش داده شود، محاسبات زیر بر قرار میگردد که در یک دوره بهره برداری ۴۰ ساله منظور شده است. در مقابل به ازای هر متر مکعب حجم کانال که شامل هزینه های خاک برداری و آماده سازی سطوح، ضرایب فهرست بها، ضریب پشینهادی پیمانکار، حمل و سایر موراد است به طرح اعمال می شود.

$1mm \longrightarrow w = \rho g h \eta$

$\Delta w = \frac{\rho g \eta}{1000} = g\eta \quad \{g \cong 10, \eta \cong 0.6\}$

قیمت واحد وات انرژی $= {}^{30}/_{1000}$

در یک دوره 40 ساله $= 40 \times 365.25 \times 24 \times 3600 \times 6 \times 0.03 = 227 \times 10^6$

قیمت هر متر مکعب خاکبرداری $\cong 26200 \times 1.3 \times 1.06 \times 1.04 \times 1.35 \times 1.4 \cong$ 70925

قیمت هر متر مربع آماده سازی سطوح $\cong 4000 \times 1.3 \times 1.06 \times 1.04 \times 1.4 \cong$ 8025

حال بر اساس روابط فوق تابع هدف که در برنامه استفاده میگردد بدین شکل منظور میگردد:

cost = (۷۱* خاکبرداری) + (۲۲۷۰۰۰۰ * افت هد ارتفاعی آب) + آماده سازی سطوح *۸.۰۲۵

که افت هد ارتفاعی و حجم خاکبرداری و سطح آماده سازی توسط برنامه نوشته و محاسبه میگردد.

۳-۵- تعیین اثرات پارامتر های طراحی در نتایج تحلیل

در این قسمت قبل از بهینه سازی طرح با الگوریتم کلونی مورچگان، پارامترهای مختلف طراحی را که در بخش های قبل تشریح شد تغییر داده و با ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها اثر هر کدام در افت هد ارتفاعی جریان به دست می آید. بدین شکل می توان حساسیت افت هد را نسبت به هر یک از پارامترها سنجید. در بخش بعد این نتایج ارائه شده است.

۳-۶- الگوریتم سیستم مورچگان (AS)

در الگوریتم AS، برای اینکه الگوریتم بتواند بدرستی کار جستجو را انجام دهد، مقدار فرومون اولیه (τ_0) که بر روی مسیر ها قرار می گیرد بایستی از مقداری که انتظار می رود توسط مورچه های یک تکرار ریخته شود، کمی بیشتر باشد. یک تخمین مناسب از این مقدار می تواند از رابطه (۳-13) محاسبه شود:

$$\tau_o = {}^{m}/_{C^{nn}} \qquad ۱۳\text{-}۳$$

که در آن m بیانگر تعداد مورچه ها و C^{nn} تور تشکیل شده از اتصال نزدیکترین نقاط مجاور، هستند. دلیل این انتخاب این است که مقدار فرومون اولیه خیلی کم در نظر گرفته شود جستجو به سرعت به سمت انتخاب اولین مسیرهایی که توسط مورچه ها تشکیل شده اند می گراید. و در صورت انتخاب مقداری بزرگ برای این پارامتر، تعداد تکرار های مورد نیاز برای همگرایی زیاد خواهند شد[Dorigo,Stützle,2004]. در الگوریتم بهینه سازی کانال هزینه های کمتر به عنوان نزدیکی نقاط در نظر گرفته شده است.

۳-۶-۱- تشکیل تور

عملکرد الگوریتم مورچگان در تکرار های مختلف صورت می گیرد. در هر تکرار از این روش، مورچه ها بطور یکجا مسیرشان را تشکیل می دهند. در آغاز الگوریتم یا تکرار اول، این کار بصورت کاملاً تصادفی صورت می گیرد. اما در ادامه کار هر مورچه در هر گام از تشکیل مسیرش، هنگامیکه که می خواهد از شهری به شهر دیگر حرکت کند، از میان مسیرهای ممکن بکمک رابطه احتمالاتی معادله ۳-14، که

ترکیبی از فرومون و بصیرت مسیرها می باشد، یکی از آنها را انتخاب می کند و این کار را تا زمانی که تور خود را کامل نماید انجام می دهد:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l \in J_k(i)}[\tau_{il}]^{\alpha}[\eta_{il}]^{\beta}} & if\ j \in J_k(i) \\ 0, & if\ j \notin J_k(i) \end{cases} \qquad ۱٤-۳$$

در این رابطه، p_{ij} احتمال انتخاب شدن مسیر ij بین دو شهر i و j بوده، τ_{ij} و η_{ij} به ترتیب بیانگر فرومون و بصیرت مسیر، α و β مقادیری ثابت هستند که اهمیت هر یک از پارامترهای فرومون و بصیرت را مشخص می کنند. $J_k(i)$ نیز مشخص کننده مسیرهای ممکن برای انتخاب توسط k امین مورچه، زمانی که در شهر i قرار گرفته است می باشد [Dorigo,Stützle,2004].

به عنوان مثال، در رابطه ۳-14، بصیرت مسیرها برای مسیری به طول d_{ij}، در مساله فروشنده دوره گرد بصورت $\eta_{ij} = {}^{1}/_{d_{ij}}$ تعریف می شود. باید توجه داشت که پارامترهای α و β نقش بسیار مهمی ایفا می کنند و بایستی به درستی تعیین گردند (این عوامل معمولاً بصورت تجربی محاسبه می گردند). برای مثال اگر $\alpha = 0$ انتخاب گردد، الگوریتم به سرعت به سمت انتخاب نزدیکترین شهرها می رود. همچنین انتخاب $\beta = 0$ موجب می شود الگوریتم به سرعت به سمت انتخاب مسیر با بیشترین فرومون کشیده شود [Dorigo,Stützle,2004].

۳-۶-۲- به هنگام سازی فرومون مسیرها

در هر مرحله، پس از اینکه تورهای ایجاد شده توسط مورچه ها آنالیز گردیدند، نوبت به بهنگام سازی کردن فرومون موجود بر روی تمام مسیرها می رسد. در این مرحله، ابتدا فرومون موجود بر روی تمام مسیرها با یک نسبت ثابت کاهش می یابد (تبخیر می شود) و سپس هر مورچه، متناسب با کیفیت

توری که به انجام رسانده است، بر روی مسیر حرکتش فرومون می ریزد. رابطه ۳-۱۵ نحوه بهنگام سازی فرومون مسیرها را در الگوریتم AS نشان می دهد:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t$$

۳-۱۵

در این رابطه t شماره تکرار مورد نظر، $\tau_{ij}(t)$ و $\tau_{ij}(t+1)$ به ترتیب مقدار فرومون مسیر ij قبل و بعد از بهنگام سازی، ρ پارامتر نسبی تبخیر و عددی بین صفر و یک است، و نهایتآ $\Delta\tau_{ij}(t)$ مقدار فرومونی است که بایستی توسط مورچه های تکرار بر روی مسیر مورد نظر افزوده شود، که بصورت معادله ۳-۱۶ محاسبه می گردد:

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}{}^{k}(t)$$

۳- ۱٦

$\Delta\tau_{ij}{}^{k}$ میزان فرومونی است که توسط k امین مورچه بر روی مسیر ij اضافه می شود. و از رابطه ۳-۱۷ بدست خواهد آمد:

$$\Delta\tau_{ij}{}^{k}(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & if\ ij \in T_k \\ 0, & if\ ij \notin T_k \end{cases}$$

۳-۱۷

که در آن T_k و L_k به ترتیب مشخص کننده تور k امین مورچه و طول متناظر با آن می باشند. طبق رابطه ۳-۱۷، اگر مسیر ij در این تور قرار گیرد فرومون مربوطه بر روی آن ریخته خواهد شد [Dorigo,Stützle,2004].

۳-۷- الگوریتم سیستم مورچگان رتبه بندی شده (RBAS)

یکی از الگوریتم هایی که پس از الگوریتم سیستم مورچگان و با الهام گرفتن از عملکرد آن ارائه شد، سیستم مورچگان رتبه بندی شده (RBAS) می باشد که برای اولین بار توسط بولنهایمر[٦٦] و همکارانش ارائه گردید [Bonabeau, Dorigo,1999]. در این روش در هر تکرار، مورچه ها بر حسب میزان هدفی که بدست آورده اند رتبه بندی شده و سپس تعدادی از بهترین مورچه ها متناسب با رتبه ای که دارند فرومون می ریزند. همچنین بهترین مورچه از کل تکرار های قبلی نیز فرومون می ریزد. بدین ترتیب رابطه بهنگام سازی فرومون در این الگوریتم بصورت معادله ۳-۱۸ خواهد بود:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + w\Delta\tau_{ij}{}^{bs} + \sum_{\mu=1}^{w-1}\Delta\tau_{ij}{}^{\mu} \qquad ۳-۱۸$$

در این رابطه w مشخص کننده تعداد مورچه هایی هستند که می توانند فرومون بریزند که معمولاً در صدی کوچک از جمعیت مورچه ها در نظر گرفته می شود. همچنین $\Delta\tau_{ij}{}^{bs}$ مقدار فرومون مربوط به بهترین مورچه در کل تکرارها و $\Delta\tau_{ij}{}^{\mu}$ مقدار فرومون متناظر با مورچه دارای رتبه μ است که این دو مقدار بصورت (۳-۱۹) محاسبه می گردند:

$$\Delta\tau_{ij}{}^{bs} = \frac{1}{L^{bs}} \quad \& \quad \Delta\tau_{ij}{}^{\mu} = \frac{w-\mu}{L^{\mu}}$$

[66] Bullnheimer

در این روابط L^{bs} و L^{μ} به ترتیب طول تور انجام شده توسط بهترین مورچه کلی و مورچه با رتبه μ می شوند. تحقیقات بولنهایمر و همکارانش بیانگر این است که جوابهای بدست آمده از این الگوریتم به مقدار قابل توجهی بهتر از پاسخهای بدست آمده از الگوریتم سیستم مورچگان بوده است [Dorigo,Stützle,2004]. در تحقیق حاضر پارامتر تبخیر فرومون ها و سایر پارامترها در روش RBAS کالیبره شده است.

۳- ۸- الگوریتم سیستم کلونی مورچگان (ACS)

این الگوریتم که توسط دوریگو و گامباردلا[67] ارائه شد، از سه جهت با الگوریتم سیستم مورچگان متفاوت است. اولآ این الگوریتم در جستجوی خود نسبت به الگوریتم سیستم مورچگان، به نحو بهتری از تجربه مورچه های دیگر بهره می گیرد، که این امر به دلیل روش انتخاب مسیر در آن است. دوم اینکه تبخیر و افزودن فرومون فقط بر روی مسیر های متعلق به بهترین تور کلی انجام می شود. و هر زمان مورچه ای از مسیری برای حرکتش استفاده می کند، بلافاصله مقدار فرومون آن مسیر کاهش می یابد (بهنگام سازی محلی فرومون) تا شانس بیشتری برای دیگر مسیرها فراهم شود.

1-8-3- روند تشکیل تور در الگوریتم (ACS)

در الگوریتم ACS، هر گاه مورچه ای در شهری مثل i قرار می گیرد انتخاب شهر بعدی j از طریق رابطه (3-۲۰) صورت می گیرد:

20-3

[67] Gambardella

$$j = \begin{cases} \arg \quad \max_{l \in J_k(i)}\{[\tau_{il}][\eta_{il}]^{\beta}\}, & \text{if } q \le q_0; \\ J, & \text{Otherwise;} \end{cases}$$

که در آن q مقداری است تصادفی در بازه [0, 1]، q_0 ($0 \le q_0 \le 1$) پارامتری است ثابت و J شهری است که از رابطه احتمالاتی 3-۱۴ بدست می آید (برای $\alpha = 1$) [Dorigo,Stützle,2004].

3-8-2- رابطه بهنگام سازی فرومون مسیرها در (ACS)

در الگوریتم ACS بهنگام سازی فرومون مسیرها شامل دو فاز بهنگام سازی کلی[۶۸] و بهنگام سازی محلی[۶۹] فرومون مسیرها می شود که در ادامه تشریح می شوند.

3-8-2-1- بهنگام سازی کلی

در بهنگام سازی کلی فرومون مسیرها، در انتهای هر تکرار، تنها مورچه ای که، از ابتدای شروع به کار الگوریتم، بهترین تور کلی را طی کرده است می تواند بر روی مسیر حرکتش فرومون بریزد. بنابراین رابطه بهنگام سازی کلی فرومون مسیرها بصورت معادله 3-۲۱ می باشد که کلیه پارامترها قبلا تعریف شده اند:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij}{}^{bs} \qquad (۲۱-۳)$$

3-8-2-2- بهنگام سازی محلی

[68] Global Update

[69] Local update

علاوه بر بهنگام سازی کلی فرومون، ACS از یک رابطه بهنگام سازی محلی نیز بهره می گیرد که مطابق با آن هر مورچه پس از عبور از هر مسیر بلافاصله فرومون موجود بر روی آن را بر اساس معادله (3-22) تغییر می دهد:

$$\tau_{ij}(N) = (1-\xi)\tau_{ij}(P) + \xi\tau_0 \qquad (۲۲-۳)$$

در این رابطه $\tau_{ij}(N)$ و $\tau_{ij}(P)$ به ترتیب مقادیر فرومون مسیر ij قبل و بعد از بهنگام سازی و ξ و τ_0 به ترتیب مقدار تبخیر محلی و فرومون اولیه می باشند. تاثیر بهنگام سازی محلی این است که هر زمان مورچه ای از مسیری استفاده می کند مقداری از فرومون آنرا کاهش می دهد که این سبب کاهش جذابیت مسیر مذکور و در نتیجه افزایش امکان جستجوی مسیرهایی که کمتر استفاده شده اند، خواهد شد [Dorigo,Stützle,2004].

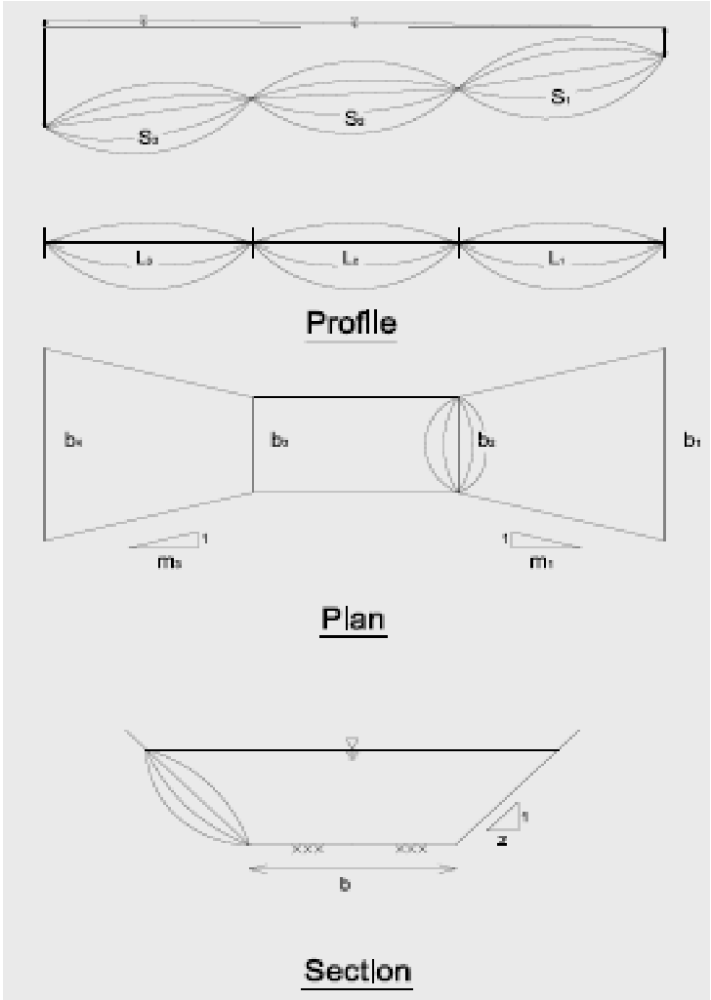
3-9- مدلسازی کانال به روش الگوریتم مورچگان

برای استفاده از الگوریتم مورچگان در بهینه سازی کانال، باید به نحوی به تعریف پارامترهای مورد نیاز این الگوریتم از قبیل فرومون، بصیرت و غیره، متناسب با مساله کانال ، بپردازیم. همچنین لازم است به نحوی ساختار مساله طراحی کانال را برای الگوریتم مورچگان آماده کنیم. برای استفاده از روش کلونی مورچگان در چنین مساله ای مفهوم تور، که در مساله TSP استفاده شد، نیاز به کمی تغییر دارد. یادآوری می کنیم که هدف از مساله TSP یافتن کوتاهترین توری بود که تمام شهرها را به هم متصل می کرد. در طراحی کانال مورد بحث، هدف ما یافتن مقدار عددی هر یک از متغیر ها بگونه ای که هزینه ساخت کانال را حداقل کند. در این راستا طراحی کانال را می توان با اعمال تغییراتی به TSP معادل نمود.

شکل ۳-۶ بطور شماتیک مسیرهای مجازی بین گره های یک کانال را نشان می دهد. طول هر مسیر مجازی موجود بین دو گره i و j، بوسیله حجم خاکبرداری و آماده سازی مورد نیاز محاسبه می

شود. یک مورچه مصنوعی برای حرکت از گره i به j بایستی از یکی از این مسیرها عبور نماید. طول هر یک از این مسیرها بیانگر حجم المان مذکور می باشد.

تفاوتی که بین این مساله و TSP وجود دارد در توپولوژی تور می باشد. در یک TSP هر مورچه باید از هر شهر یک بار در طول سفرش بازدید کند. اما در کاربرد الگوریتم مورچگان در کانال تور زمانی تکمیل می شود که مورچه برای هر متغیر مقداری را انتخاب کند.



شکل ۳-۶ نحوه تشکیل تورها در کانال خروجی نیروگاه

فصل چهارم

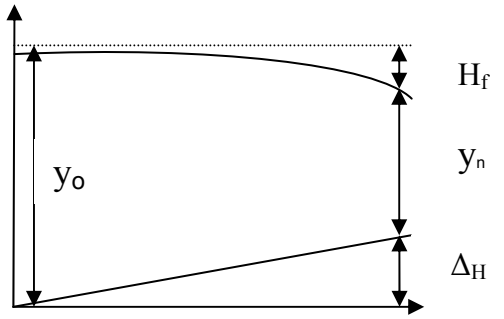
نتایج و بحث

4-۱- مقدمه

قبل از انجام تحلیل نهایی جریان در Tailrace شرایط و اصول هیدرولیکی حاکم بر کانال ها مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج مربوط به تغییرات و اثرهای هر پارامتر به صورت مجزا و یا توأماً با یکدیگر در این بخش ارائه و مورد مقایسه قرار می گیرد. همچنین در نهایت کلیه پارامتر ها با الگوریتم کلونی مورچه ها بررسی و بهینه می گردند. در تجزیه و تحلیل مسئله مشخص شد که شکل پروفیل سطح آب و به تبع

آن عمق مورد مطالعه در این مسئله تابعی از متغیرهای مستقل و مجزا از جمله شیب طولی کف کانال در سه قسمت (Contraction chanel, Fixed chanel،Expansion chanel)، شیب کناره ها (Z) ، زبری کف یا ضریب مانینگ (n) و شدت جمع شدگی و بازشدگی ($C_{expansion}$,$C_{contraction}$) محورهای ۱و۳ کانال می باشد. اشاره شد که با محاسبه پروفیل سطح آب و به دست آوردن عمق ابتدایی در کانال Tailrace، پارامتر اصلی و نهایی در این تحقیق جهت به دست آوردن رابطه و تابعی متناسب با افزایش عملکرد توربین و تولید برق نیروگاه حاصل می گردد. درواقع هرچقدر کمیت عددی این عمق کمتر باشد به همان نسبت اختلاف هد انرژی قبل و بعد نیروگاه بیشتر شده و افزایش تولید انرژی را به دنبال دارد. جهت مقایسه دقیق تر نتایج پروفیل سطح آب به وسیله پارامترهای مؤثر در آن برای یافتن تأثیرات این پارامترها روی عمق اولیه کانال، اختلاف تراز سطح آب در ابتدا و انتهای کانال را مبنا قرار داده و تغییرات آن تحت تأثیر عوامل مختلف سنجیده می شود.

این پارامتر با H_f نمایش داده می شود.



$$H_f=y_o-y_n-\Delta_H$$

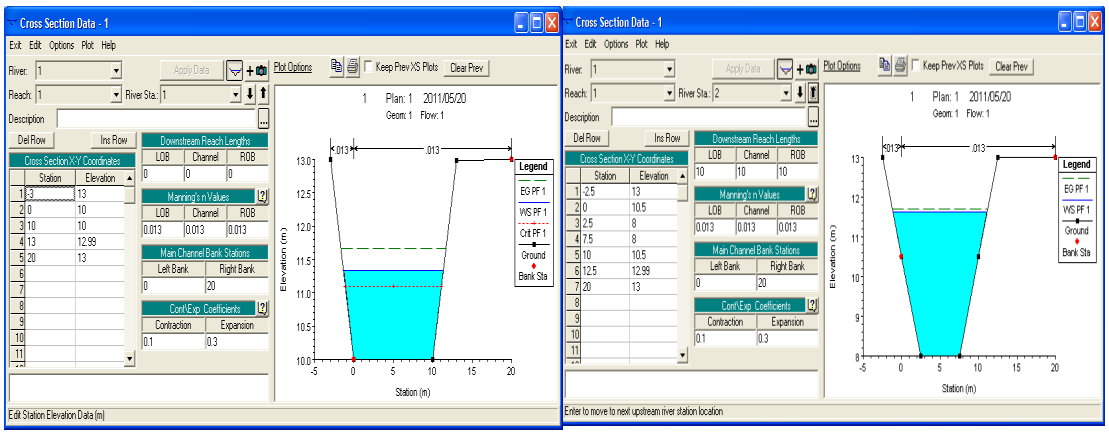
شکل ۴-۱- شکل گیری پروفیل سطح آب در Tailrace

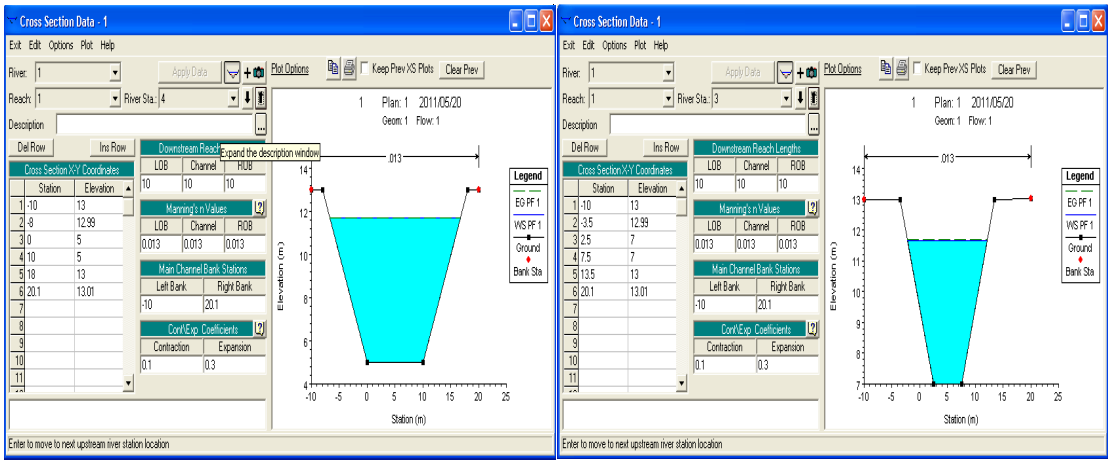
که در آن y_o عمق در ابتدای Tailrace، y_n عمق در انتهای آن و Δ_H اختلاف ارتفاع (تراز زمین) در ابتدا و انتها است. در بررسی این تغییرات، مسئله در چند دبی مختلف بررسی می شود. Q_t دبی کل کانال بر حسب متر مکعب بر ثانیه است که ثابت در نظر گرفته می شود. قابل ذکر است از عوامل طبیعی مثل گرفتگی رسوبات در مسیر جریان که می تواند از عوامل مقاومت جریان به حساب آید صرفنظر می شود و

اثرات آن به مطالعه دقیق تر در یک محیط آزمایشگاهی واگذار می شود. نمودار هر یک از پارامتر های ذکر شده تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار می گیرد که اثرات متغیر آن در ادامه بیان خواهد شد. در زیر نتایج محاسبات مختلف تحت تأثیر متغیرهای مختلف بیان می شود. قبل از ارائه این نتایج ابتدا خروجی ها و نتایج برنامه نوشته شده محاسبه پروفیل سطح آب با جواب های نرم افزار HEC-Ras مقایسه می شود.

۲-4- مقایسه نتایج برنامه با نرم افزار HEC-Ras

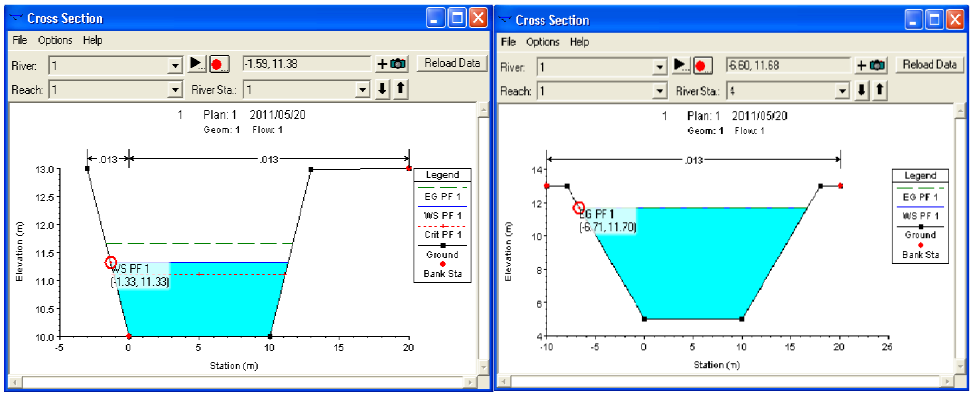
در این قسمت مسئله ای با دبی ۳۸ m^3/s و شیب های طولی منفی کف به ترتیب ۲۰٪ ، ۱۰٪ و ۲۰٪ در نظر گرفته می شود. ضریب مانینگ سطوح بتنی معمولی و بتنی یکنواخت ۰/۰۱۳ در نظر گرفته می شود (در سایر مثال ها این مقدار برابر ۰/۰۴۰ میباشد). ضرایب افت جمع شدگی و بازشدگی نیز به ترتیب برابر 0/1 و 0/3 است. Z یا شیب کناره ها نیز برابر ۱ است. ابتدا نتایج مربوط به نرم افزار HEC-Ras ارائه می گردد.



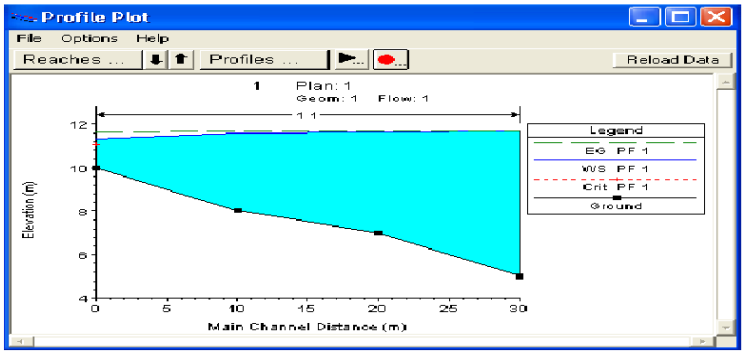


شکل ۴-۲- مشخصات هندسی کانال در ۴ مقطع

در شکل ۴-۲ مشخصات هندسی کانال در ۴ مقطع لازم در جدول Cross Section X-Y Coordinates قید شده است. ضریب مانینگ وضرایب افت جمع شدگی و بازشدگی نیز مطابق اندازه های ذکر شده در بالا لحاظ شده است. شکل ۴-۳ نتایج این تحلیل را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود در ناحیه مشخص شده عمق جریان در ابتدا و انتهای کانال دیده می شود که به ترتیب برابر ۶/۷۱m و ۱/۳۳m حاصل شده است. مطابق با شکل ۴-۴ جریان در زیر کانال زیر بحرانی بوده و به تدریج از هد ارتفاعی آن کاسته می گردد.

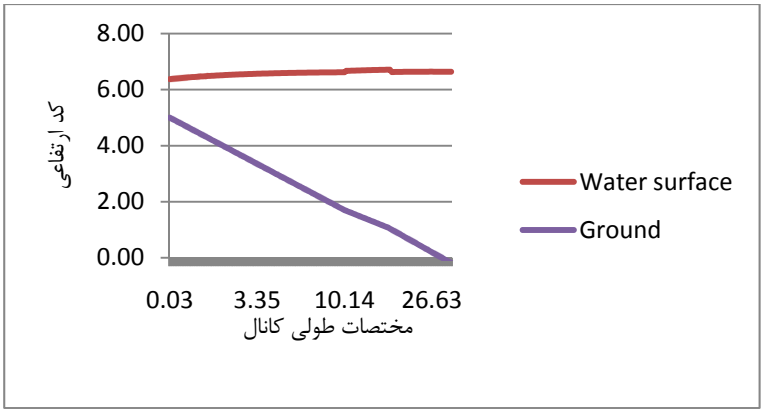


شکل ۴-3- نتایج آنالیز HEC-Ras در دو مقطع ابتدایی و انتهایی

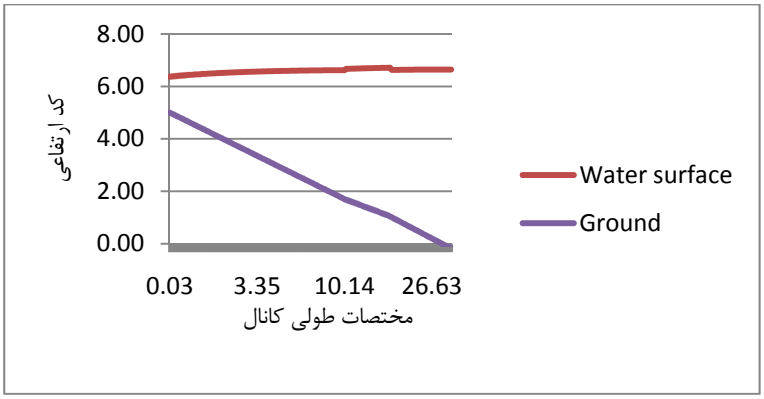


شکل ۴-4- پروفیل سطح آب در کانال

همین مسئله به وسیله برنامه نوشته شده تحلیل و محاسبه شده است. عمق نهایی به دست آمده برابر m ۶/۷۲۴ است که نشان دهنده ۰/۲۱٪ اختلاف می باشد. البته با در نظر نگرفتن ضرایب تصحیح انرژی عمق نهایی ۶/۶۵m به دست می آید که ۰/۹٪ اختلاف با نتایج برنامه HEC-Ras دارد. همچنین برای مقایسه دقیق تر در جدول ۴-۱ چند نمونه از نتایج مختلف با مشخصاتی متفاوت ارائه می شود.



الف



ب

نمودار ۴-۱- منحنی پروفیل طولی جریان با استفاده از برنامه Visual Basic و HEC-Ras

جدول ۴-۱- چند نمونه از نتایج مختلف ارائه شده با برنامه تدوین شده و HEC-Ras

50	40	28	Q(m³/s)		z=0.07
۱۱/۷۱cm	۱۰/٦٥cm	۸/۲۱cm	HEC-Ras	افت هد	m=4 n=۰/۰۴۰
۱۱/٤۸cm	۱۰/۳۸cm	۷/۸۹cm	Program		
۱۱/۱۷cm	۱۰/۰۹cm	۷/۳٦cm	Henderson		S_2=۰/۰۱ S_1,S_3=۰/۲

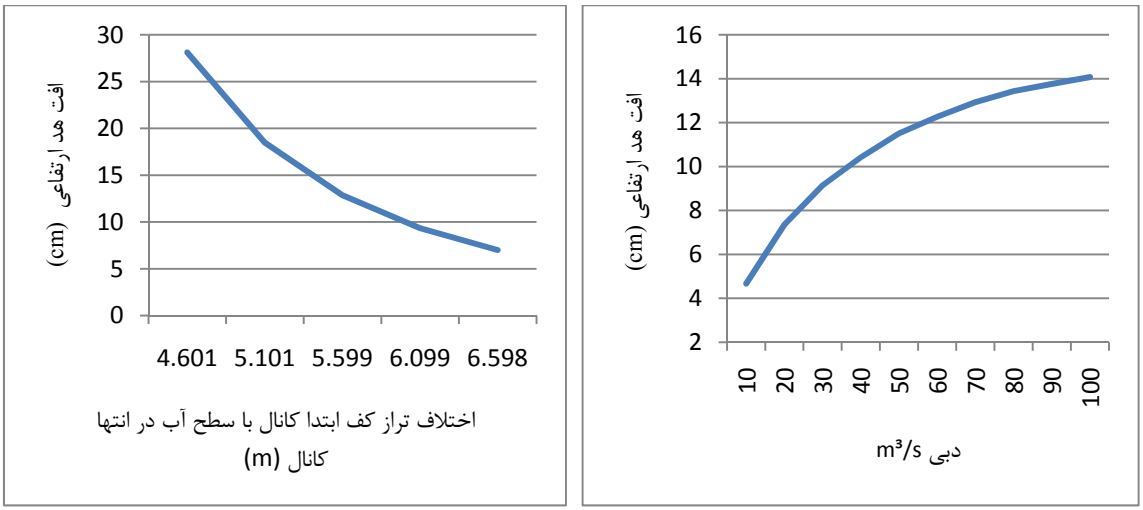
4-۳- تأثیرات پارامترهای مختلف بر افت هد ارتفاعی جریان (H_f)

در این قسمت و بخش های بعدی حساسیت[۷۰] رفتار پروفیل سطح آب تحت تاثیر تغییر پارامتر های مختلفی بررسی میشود. ابتدا در قسمت اول تاثیر دو پارامتر محیطی که در شرایط عادی ثابت است ولی در طول دوره بهره برداری تغییر میکند را روی افت هد ارتفاعی جریان کانال بررسی کرده و سپس سایر مشخصات هندسی کانال ارزیابی میشود.

[70] Sensitivity

4-۳-۱- تأثیرات دبی طرح و عمق انتهای کانال

یکی از تغییرات ناشی از فرایند های هیدرولوژیکی دبی عبوری است. با وجود اینکه دامنه تغییرات دبی جریان محدود است ولی به هر حال در طول دوره طرح تغییر میکند. بررسی اثر کمیت آن روی افت هد ارتفاعی جریان در طول کانال در شکل ۴-۵-الف نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه میشود با افزایش دبی مقدار افت هد ارتفاعی افزایش میابد. ولی روند این افزایش رو به کاهش است. این مسئله در شرایط با Z=0.07، ضریب مانینگ ۰.۰۴۰و طول ۳۰متر برای کانال و شیب های ۱۰٪ برای دو قسمت اول و آخر و شیب افقی در قسمت وسط فرض شده است. این مسئله با فرضیات مذکور را مجددا برای شرایط با دبی ثابت و برابر ۵۰ m^3/s و اختلاف تراز کف ابتدای کانال در بالادست و سطح آب در پایین دست کانال را به عنوان متغیر، بررسی میشود. این روند تغییرات در شکل ۴-۵-ب نشان داده شده است.



الف ب

شکل ۴-5-الف- منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات دبی طرح ۴-5-ب- تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای و اختلاف تراز کف ابتدای کانال در بالادست و سطح آب در پایین دست کانال

4-۳-۲- تأثیرات شیب کف بر افت هد ارتفاعی جریان (H_f)

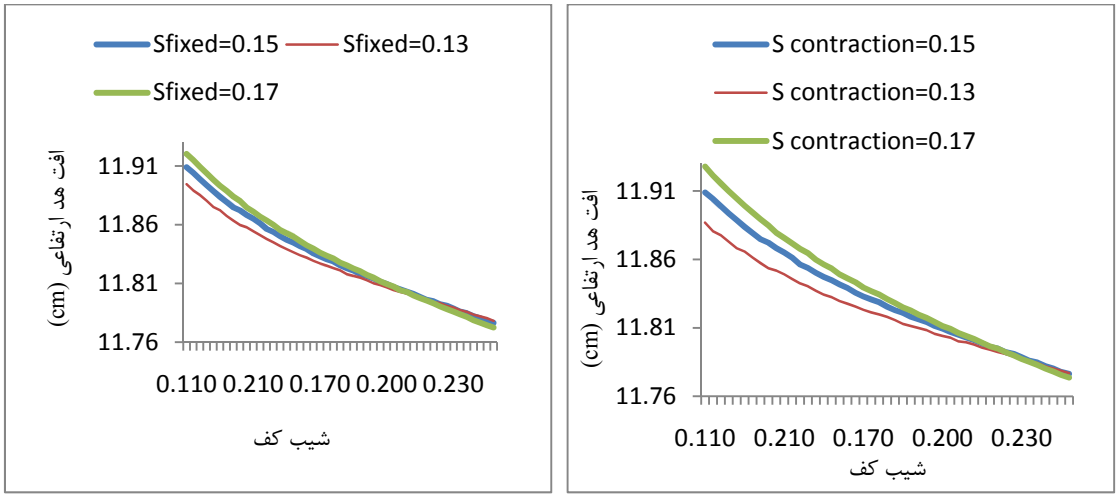
4-۳-۲-۱- شیب قسمت بازشونده کانال (Expansion)

شیب این ناحیه با $S_{expansion}$ نمایش داده شده است. نمودارهای شکل ۴-۵ افت هد ارتفاع جریان (H_f) را در دبی ۲۸ m^3/s به ازای تغییرات شیب Expansion در بازه ۱۰٪ تا ۲۳٪ بر حسب سانتی متر نشان می دهد. سایر پارامتر ها مطابق جدول ۴-۲ است:

جدول ۴-۲- مشخصات کانال

ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴
شیب کناره ها (Z)	۱/۲۵
ضریب جمع شدگی و بازشدگی محورهای ۱ و ۳ (m)	۳/۵

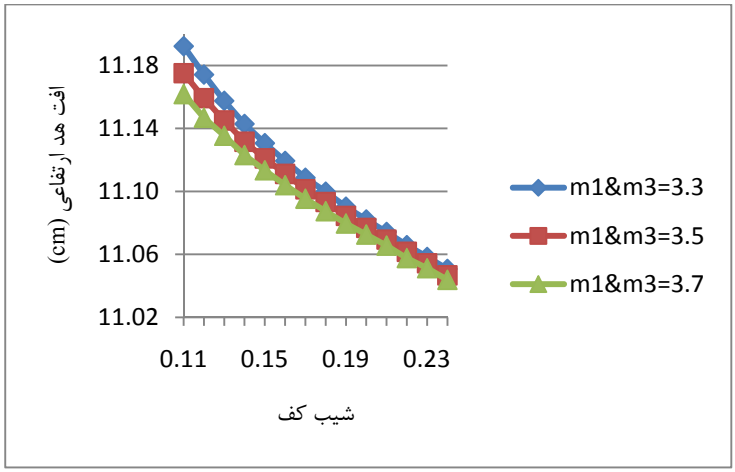
همان طور که در نمودار دیده می شود با افزایش شیب در ناحیه Expansion، کاهش افت نسبتاً قابل ملاحظه ای در مقدار H_f دیده می شود. این روند با ۳ شیب ثابت در هر دو قسمت Contraction و Fixed Chanel با اندازه های ۱۳٪ ، ۱۵٪ و ۱۷٪ محاسبه می شود. اما با مقایسه و بررسی سه منحنی مشخص شده در شکل مذکور بر خلاف قبل مشخص می شود که منحنی ها با $S_{contraction}$ و S_{fixed} بالاتر به طور کلی از افت هد ارتفاعی بیشتری برخوردارند، به غیر از بخش های انتهایی منحنی که با تقاطع جای آنها عوض شده است. برای نمونه در شکل ۴-۶- الف به ازای یک شیب معین روی محور افقی، S_{fixed} با مقدار ۱۷٪ بالاتر از S_{fixed} با اندازه ۱۵٪ واقع شده که این مؤید رابطه ای بر خلاف ناحیه Expansion است. ولی قضاوت قطعی تر در این زمینه به بخش مربوط به شیب همان قسمت موکول می شود. مخصوصاً که برای نتیجه گیری دقیق تر نیازبه بررسی با دبی های بیشتری است و ممکن است در سایر دبی ها نتایج متفاوتی به دست آید. به همین جهت در ادامه مسئله با دبی ۵۰ m^3/s بررسی می شود تا از رفتار منحنی ها تحلیل دقیق تری حاصل شود.



الف ب

شکل ۴-۶- منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شیب کف در ناحیه expansion در شیب های متفاوت contraction و fixed

در ادامه نمودار شکل ۴-۷ این تغییرات را در سه ضریب جمع شدگی و باز شدگی ارائه می دهد. آنچه که از این نمودار استنباط می گردد این است که با بزرگ شدن ضرایب جمع شدگی و باز شدگی افت هد ارتفاعی جریان (H_f) کاهش می یابد. علت این اصل را می توان اینگونه تفسیر نمود که هرچقدر شدت جمع شدگی و باز شدگی بیشتر باشد اثر بیشتری در روند جریان گذاشته و مقاومت بیشتری را در برابر آن ایجاد می کند که خود باعث افت انرژی و افزایش افت هد ارتفاعی می گردد. از طرفی افزایش این شدت جمع شدگی به معنی کوچکتر بودن ضریب آن است.



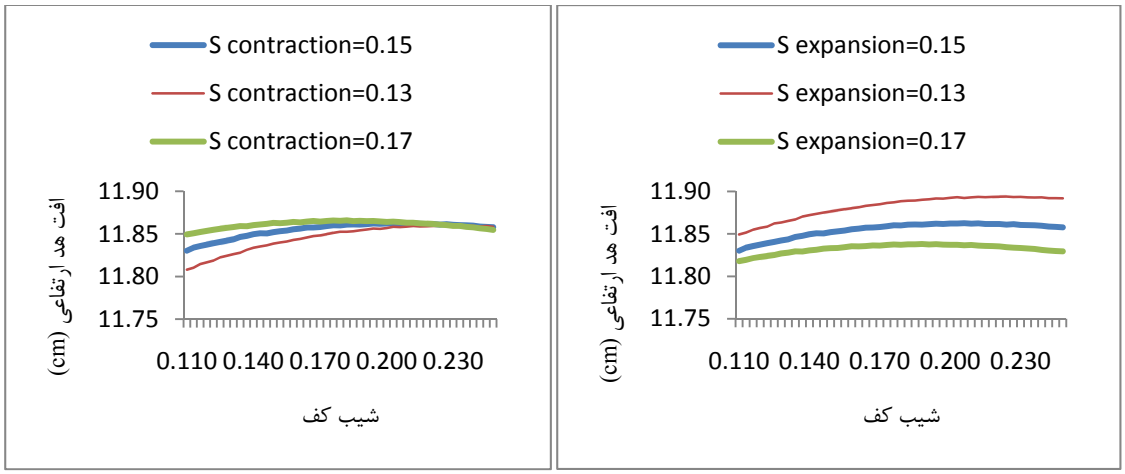
شکل ۴-۷- منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شیب کف درناحیه expansion در ضرایب جمع شدگی و بازشدگی متفاوت

4-۳-۲-۲- شیب قسمت ثابت کانال (Fixed chanel)

در فصل قبل بیان شد که سطح مقطع این قسمت از کانال منشوری است و به همین جهت امکان استفاده از روش های جدیدتر در محاسبه پروفیل طولی سطح جریان میسر است، لکن به دلیل دقت نسبتاً مشابه این روش ها با روش عددی گام به گام انرژی، مخصوصاً در طول کوتاه ۱۰m، به صورت پیوسته از همان تکنیک استفاده شده است. از شکل های ۴-۸ روابط متفاوتی نسبت به قبل به دست آمده است. چنانچه مسئله با همان داده های قبلی محاسبه و آنالیز شود مشاهده می شود که با افزایش S_{fixed} ، ابتدا افت هد ارتفاعی جریان(H_f) افزایش می یابد و سپس روند کاهشی را در پیش خواهد گرفت. دو نمودار شکل مذکور نشان می دهند که افزایش دو پارامتر $S_{contraction}$ و $S_{expansion}$ باعث همان روند کاهشی H_f با بزرگ شدن S_{fixed} می شود.

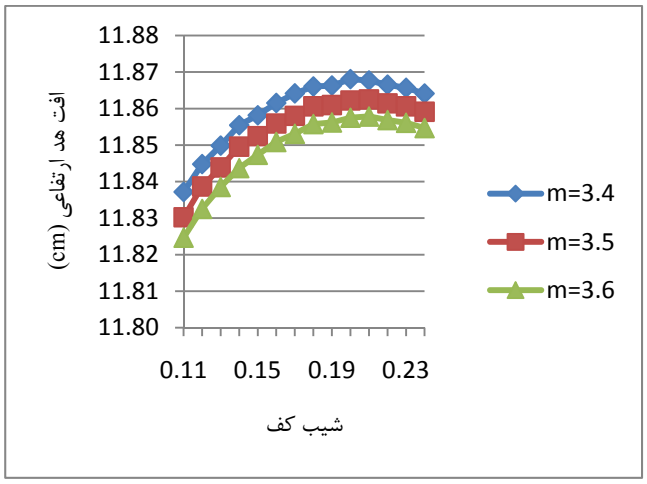
بنا بر آنچه تا کنون به دست آمده است می توان حدس زد که پس از ارزش گذاری پارامترهای محاسباتی مثل H_f و پارامترهای اجرایی مانند حجم خاکبرداری و بهینه سازی مسئله بر اساس آنها، شیب بهینه ناحیه expansion بیشتر از مقدار بهینه شده در ناحیه fixed می باشد. چراکه نه تنها با افزایش

$S_{expansion}$، H_f کاهش می یابد و این بر اساس اصل اولیه تحقیق موجب افزایش عملکرد توربین می شود، بلکه به حجم عملیات کمتر خاکبرداری، پرداخت سطوح و سایر تمهیدات دیگر نیازمند است.



شکل ۴-۸ منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شیب کف در ناحیه fixed در شیب های متفاوت contraction و expansion

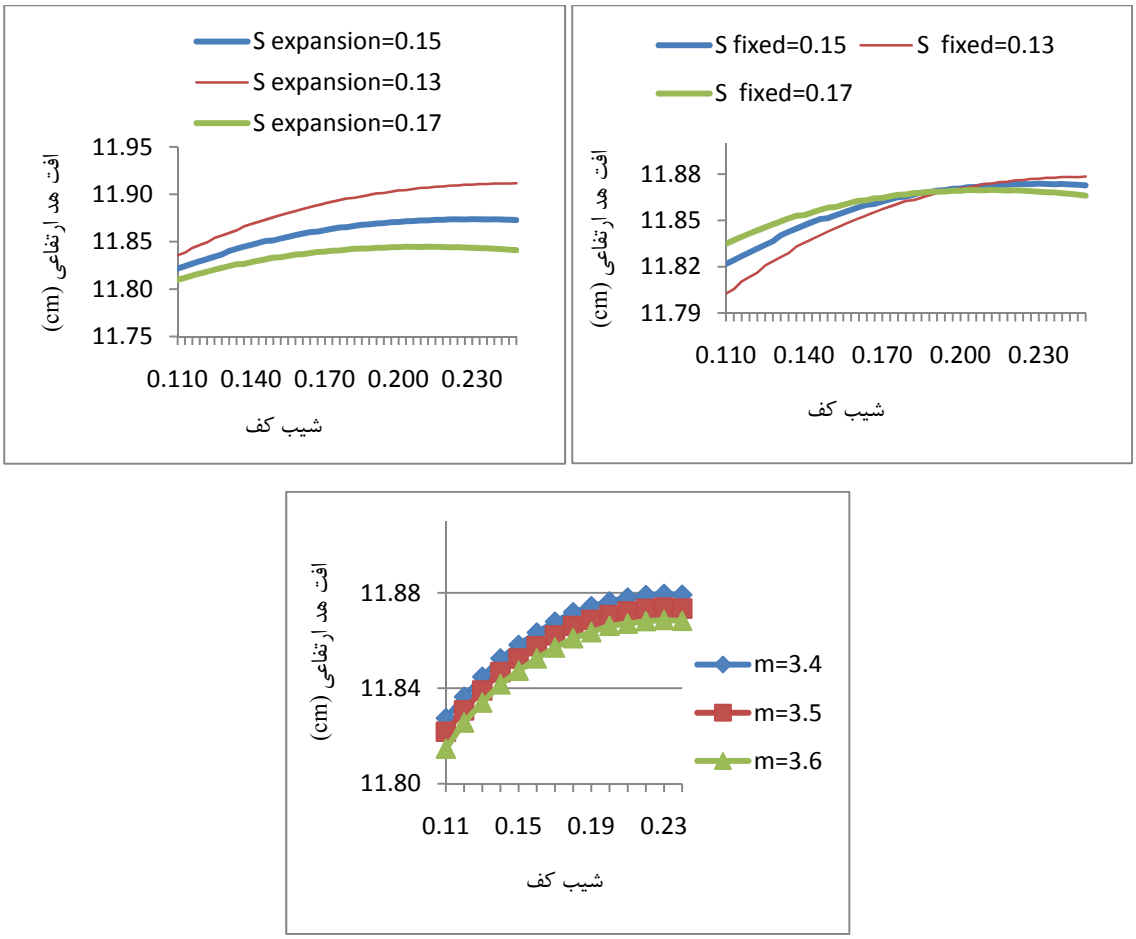
در این قسمت نیز مانند قبل با بزرگ شدن ضرایب جمع شدگی و باز شدگی افت هد ارتفاعی جریان (H_f) کاهش می یابد. در نمودار شکل ۴-۹ نتایج نشان داده شده است.



شکل ۴-۹- منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شیب کف در ناحیه fixed در ضرایب جمع شدگی و بازشدگی متفاوت

4-۳-۲-۳- شیب قسمت جمع شونده کانال (Contraction)

در بخش قبل دیده شد که با افزایش S_{fixed} ابتدا افت هد ارتفاعی جریان(H_f) افزایش می یابد و سپس روند کاهشی را در پیش خواهد گرفت. روند نسبتاً مشابهی در نمودارهای مربوط به $S_{contraction}$ مشاهده می شود. سایر توضیحات کار تقریباً مشابه به قسمت قبل یا همان fixed chanel است. لذا از توضیحات مجدد خودداری شده است و نمودارهای مربوط به این قسمت در شکل ۴-۱۰ ارائه می شود.

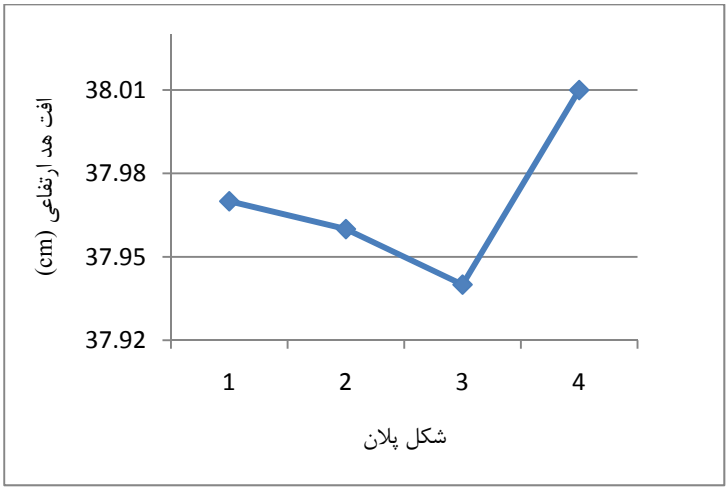


شکل ۴-۱۰ منحنی های تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شیب کف در ناحیه fixed در شیب های متفاوت contraction و expansion و ضرایب جمع شدگی و بازشدگی متفاوت

با افزایش شیب کف کانال، افت هد ارتفاعی مورد نظر ممکن است کاهش یا افزایش یابد. در قسمت های نزدیک تر به خروجی کانال موجب کاهش و در نواحی مربوط به اول کانال ممکن است باعث افزایش H_f شود.

4-۳-۳- تأثیر طول نواحی جمع شونده، بازشونده و ثابت کانال بر افت هد (H_f)

تغییرات پلان کانال یا به عبارتی شکل کانال از نظر نسبت طول نواحی مختلف Expansion، Contraction و Fixed در این قسمت بررسی می شود. باید یادآور شد ضرایب جمع شدگی و باز شدگی نیز در شکل و پلان مؤثر است که در ادامه به آن پرداخته می شود. فرض بر این است که در تمامی حالات، طول کانال Tailrace ثابت و برابر ۳۰متر باشد. طول نواحی واگرا، ثابت و همگرا متغیر در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب که حالت مبنا و اول را سه قسمت با طول های برابر فرض می کنیم. در حالت دوم طول ناحیه Expansion ۱۲متر و دو قسمت دیگر هر کدام ۹ متر است. در حالت سوم طول ناحیه وسط یا همان Fixed، ۱۲ متر و دو قسمت دیگر ۹متر است. حالت چهارم مربوط به Contraction با طول ۱۲متر و سایر نواحی با طول ۹متر است. لازم به یادآوری است که با توجه به عرض ثابت کانال وسط که برابر ۵متر منظور شده است، ضرایب جمع شدگی و بازشدگی متغیر است که اثرات آن ها در بخش بعد بررسی می گردد. در شکل ۴-۱۱ اثر این ۴ حالت روی H_f نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود با افزایش طول ناحیه Expansion نسبت به حالت ابتدایی که همه طول ها برابر فرض شدند، H_f کاهش نسبتاً ناچیزی پیدا می کند. افزایش ناحیه Fixed کاهش بیشتری را در H_f ایجاد می کند، اما افزایش طول ناحیه Contraction موجب افزایش H_f می شود. قبل از ورود به مباحث اقتصادی قضیه میتوان پیش بینی کرد که افزایش طول در نواحی Expansion و Fixed از نظر اقتصادی احتمالاً به صرفه بوده و کاهش طول ناحیه Contraction سبب بهینه شدن طرح می گردد. اطلاعات مسئله مطابق با جدول ۴-۳ است.



شکل ۴-۱۱ منحنی تغییرات افت هد ارتفاعی در شکل های مختلف پلان کانال

جدول ۴-۳ اطلاعات مسئله ۴-۳-۳

شیب طولی کف به ترتیب (S)	۰/۱ ، ۰/۱ ، ۰/۲
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
شیب کناره ها (Z)	۱/۰۰
دبی (Q)	۵۰ m^3/s

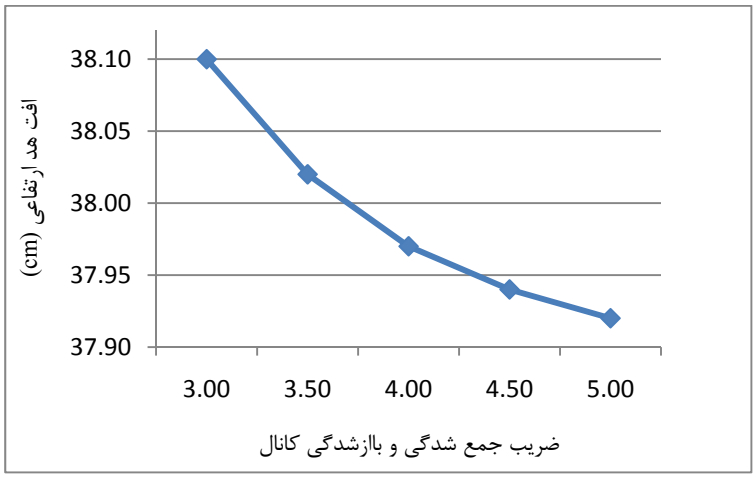
4-۳-۴- تأثیر ضریب جمع شدگی و بازشدگی بر افت هد ارتفاعی جریان (H_f)

تغییرات پلان کانال علاوه بر طول کانال ها، تابعی از ضرایب جمع شدگی و بازشدگی نواحی Expansion و Contraction است که به اثرات آنها بر روی H_f در این قسمت پرداخته می شود. برای تحلیل این موضوع سایر پارامتر ها از جمله طول قسمت های مختلف را باید ثابت و برابر در نظر گرفت. همچنین مشهود است که عرض کانال وسط که ثابت نیز می باشد با افزایش و کاهش این ضرایب تغییر می کند. به منظور سهولت در تحلیل مسئله ضرایب این دو قسمت برابر در نظر گرفته می شود. همانطور که در شکل ۴-۱۲ مشخص شده است با افزایش ضرایب Expansion و Contraction مقدار افت هد (H_f) در کانال کاهش پیدا می کند. این بدین معناست که هر چقدر شدت جمع شدگی و بازشدگی کاهش یابد

(ضرایب مذکور بزرگتر باشد) افت کمتری در کانال ایجاد می گردد. با اینکه افزایش این ضرایب موجب کاهش H_f و در نتیجه اقتصادی تر شدن طرح می شود اما از طرف دیگر زیاد شدن حجم خاکبرداری و آماده سازی سیستم را به دنبال دارد که اثرات متضاد این پارامتر و غیر خطی بودن آنها یافتن یک روش بهینه سازی را می طلبد. اطلاعات مسئله در جدول ۴-۴ نشان داده شده است. (بحث فوق زمانی معتبر است که ضرایب ۰/۱و۰/۳ ثابت باشند. در شرایط طبیعی باید از طریق آزمایش تعیین گردد.)

جدول۴-۴ اطلاعات مسئله ۴-۳-۴

شیب طولی کف به ترتیب (S)	۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۱
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
شیب کناره ها (Z)	۱/۰۰
دبی (Q)	۵۰ m^3/s
طول کانال (L_1, L_2, L_3)	10 m



شکل ۴-۱۲ منحنی تغییرات افت هد ارتفاعی به ازای تغییرات شدت جمع شدگی و بازشدگی کانال

4-۴- تأثیرات پارامترهای مؤثر در الگوریتم سیستم مورچگان رتبه بندی شده[۷۱]

همانطور که در فصل قبل ذکر شد زیر برنامه ای جهت محاسبه پروفیل سطح آب در جریان پایدار برای تعیین عمق در ابتدای Tailrace تدوین شده است، که همراه با در نظر گرفتن اثر وزنی هزینه ها و فایده ها به عنوان تابع هدف در الگوریتم سیستم مورچگان قرار گرفت. در این قسمت تأثیر پارامتر های مختلف روی حجم محاسبات و سرعت بهینه سازی به روش سیستم مورچگان رتبه بندی شده بررسی و تحلیل می شود و در انتها به ارائه این نتایج پرداخته می شود. در قسمت بعد نتایج این روش با روش الگوریتم کلونی مورچگان[۷۲] مقایسه می شود.

4-۴-۱- درجه اهمیت فرومون ها[۷۳] (پارامتر α)

در فصل سوم اشاره شد که احتمال انتخاب مسیر ij تابعی از فرمون های آن مسیر و بصیرت مسیر است . برای بررسی دقیق این موضوع مسئله بهینه سازی Tailrace با مقادیر مختلفی از α حل و تکرار می شود تا مقدار کالیبره شده در الگوریتم مورد نظر حاصل شود. برای این منظور در ابتدا مقادیر α مطابق جدول ۴-۵ قرار داده می شود.

جدول ۴-۵ مقادیر α

α	1	2	3	5	7	8

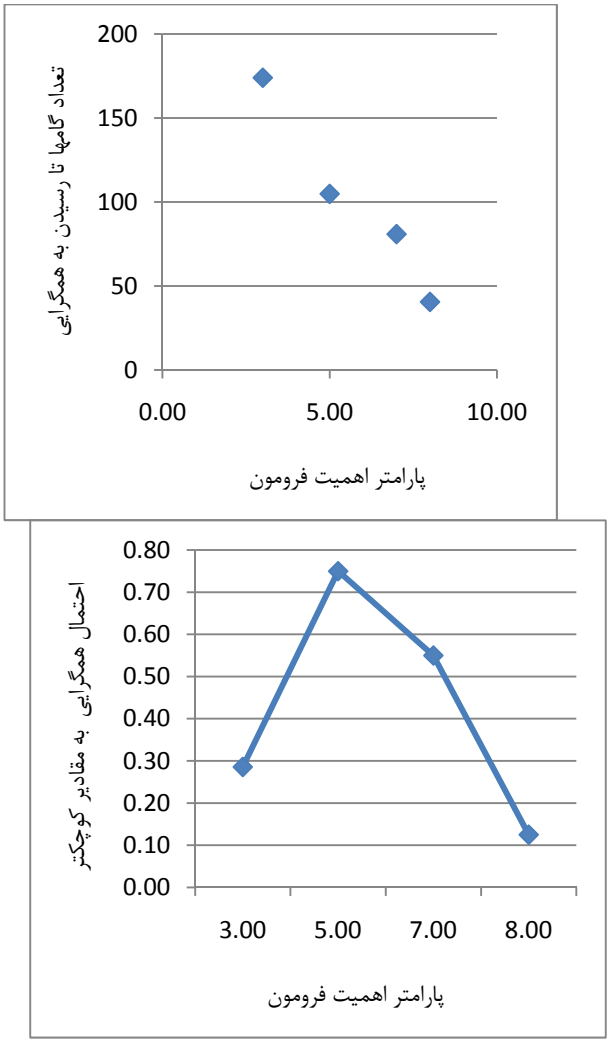
عملیات بهینه سازی با مقادیر بالا، ۱۰۰ مرتبه انجام می شود. در هر مرتبه از انجام عملیات چند نکته و نتیجه قابل توجه است. نخست آنکه آیا در طول ۲۰۰ مرتبه تکرار، مسئله به مقدار مینیمم کلی و اصلی همگرا می شود یا خیر. دوم اینکه چنانچه الگوریتم همگرا شود، این همگرایی بعد از چند گام

[71] Rank Based Ant System (RBAS)

[72] Ant Colony system (ACS)

[73] parameter to control the influence of τij

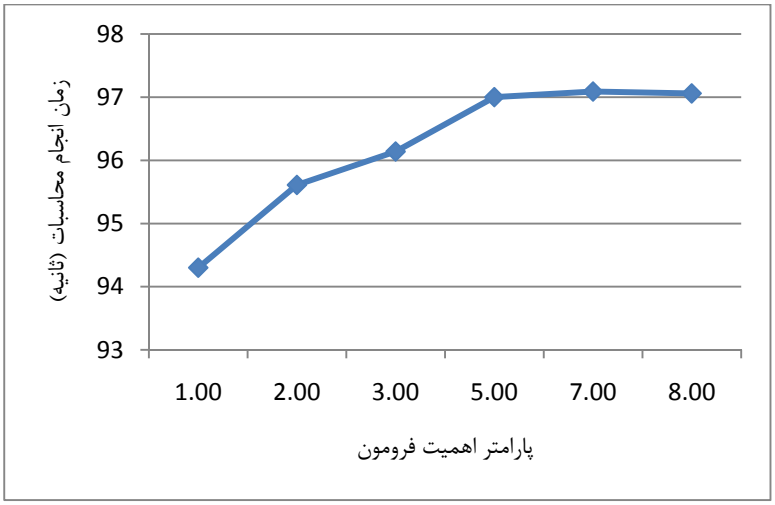
صورت می گیرد و سوم اینکه سرعت انجام محاسبات برای ۲۰۰ گام به چه شکل است. لازم است در این خصوص بحث و تحلیلی صورت پذیرد. همانطور که در شکل ۴-۱۳- الف ملاحظه می شود، با افزایش α ، تعداد گام های رسیدن به همگرایی کاهش یافته یا به عبارتی سرعت همگرایی افزایش می یابد. ولی با توجه به شکل ۴-۱۳-ب ، به ازای مقادیر بزرگتر از ۵ احتمال همگرایی به سمت مینیمم های کوچکتر کاهش می یابد. در واقع اگر چه الگوریتم زودتر همگرا می شود ولی این همگرایی به سمت مقادیر و جواب های موضعی است. لذا بر اساس فرضیات ارائه شده آغاز بحث در این مقطع مقدار ۵/۵ به نظر کالیبره شده و مطلوب است. قابل ذکر است که چنانچه $\alpha < ۲$ باشد، سرعت همگرایی بسیار کم شده و با ۲۰۰ گام مسئله به هیچ مقدار مشخصی همگرا نمی شود. لذا توصیه می شود پارامترتصحیح فرمون ها (α) از ۲ بزرگتر در نظر گرفته شود. همانطور که بر اساس نتایج و نمودارها مشاهده می شود با افزایش α اثر فرومون ها زیاد شده و سبب می گردد که الگوریتم با سرعت بیشتری به سمت انتخاب مسیر با بیشترین فرومون کشیده شود.



ب الف

شکل ۴-۱۳الف - تغییرات تعداد گامها تا رسیدن به همگرایی به ازای تغییرات پارامتر α و ب- احتمال همگرایی به مقادیر کوچکتر در الگوریتم به ازای تغییرات پارامتر α

بر اساس محاسبات انجام گرفته در نمودار شکل ۴-۱۴ سرعت انجام محاسبات و اجرای الگوریتم در ۲۰۰ گام به صورت خیلی ناچیزی افزایش پیدا می کند، که می توان بزرگتر شدن اعداد را دلیل بر طولانی کردن زمان اجرای الگوریتم دانست.



شکل ۴-۱۴- زمان انجام محاسبات تا ۲۰۰ گام به ازای تغییرات پارامتر α

4-۴-۲- درجه اهمیت بصیرت مورچه ها[۷۴] (پارامتر β)

در ادامه روند کالیبره و تنظیم کردن پارامتر های RBAS، مقدار β یا همان پارامتر بصیرت مورچه ها ارزیابی می شود. برای این منظور بیش از ۱۰۰ بار الگوریتم اجرا شده است. فرضیات و مشخصات قسمت قبل منظور شده و با توجه به این نکته که α ثابت و برابر ۶ فرض شده است، الگوریتم با مقادیر جدول ۴-۳ تحلیل می شود.

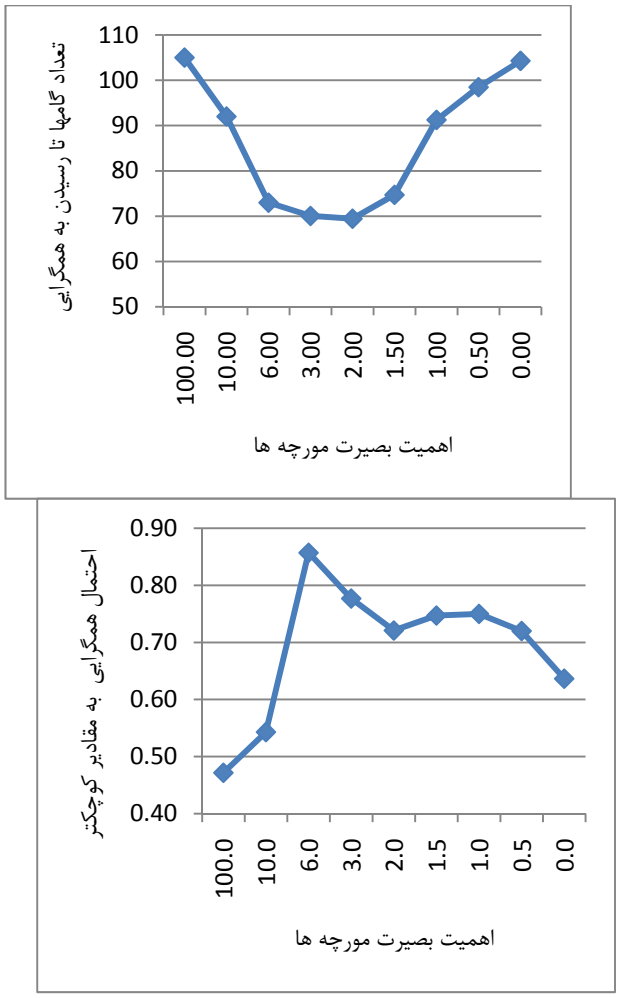
جدول ۴-۶ مقادیر β

β	0	0/5	1	1/5	2	3	6	10	100

در این روند همانند قسمت 4-۴-۱ سرعت همگرایی که بر اساس تعداد گام های رسیدن به جواب در الگوریتم است ارزیابی می شود. همچنین نمودار احتمال رسیدن به مقادیر کوچکتر برای همه خروجی ها و جواب ها به دست می آید. در پایان سرعت انجام محاسبات ۲۰۰ گام، در هر آزمایش تحلیل

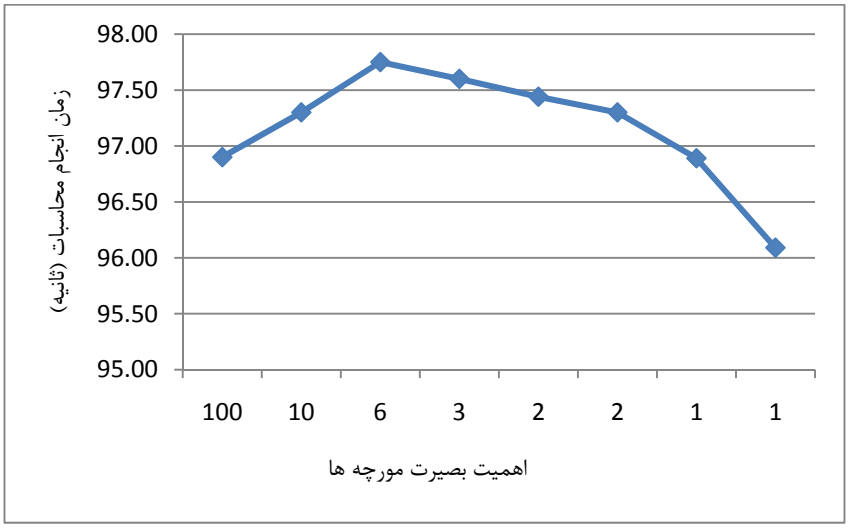
[74] parameter to control the influence of ηij

و ارائه می گردد. بر اساس نتایج حاصل شده که در شکل ۴-۱۵-الف نمایش داده شده است، الگوریتم با β = ۲ با سرعت بیشتری همگرا می شود. اما با β = ۶ احتمال رسیدن به جواب مطلق (مقدار بهینه کلی) افزایش می یابد. لازم به یادآوری است که در این روند و روند قبلی و همچنین پس از این، با هر بار اجرای الگوریتم نتایج ثبت شده و پس از حداقل ۱۰ مرتبه مقداری میانگین برای شاخص تعداد گام های لازم تا همگرایی و با احتمال همگرایی به اکسترمم مطلق در نمودارها حاصل شده است. با انجام آزمایش یا تحلیل بیشتر الگوریتم، نتایج قابل اصلاح و دقیق تر شدن است.



الف ب

شکل ۴-۱۵الف - تغییرات تعداد گام ها تا رسیدن به همگرایی به ازای تغییرات پارامتر β و ب- احتمال همگرایی به مقادیر مینیمم کوچکتر در الگوریتم به ازای تغییرات پارامتر β



شکل ۴-۱۶ زمان انجام محاسبات تا ۲۰۰ گام به ازای تغییرات پارامتر β

4-۴-۳- تبخیر فرومون ها (پارامتر ρ)

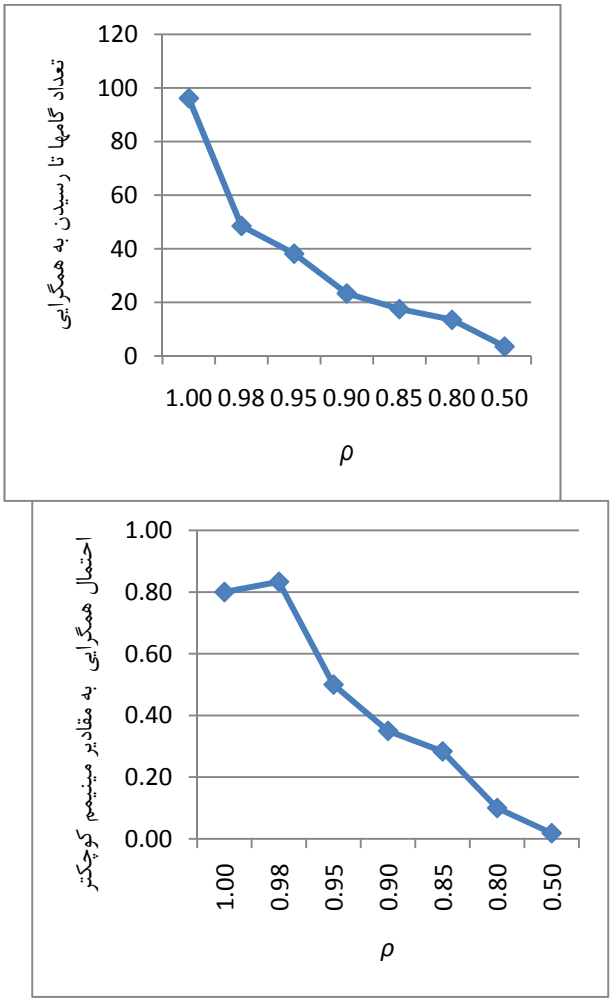
در فصل 3 اشاره شد که پس از اینکه تورهای ایجاد شده توسط مورچه ها در یک مرحله تحلیل گردید، نوبت به هنگام سازی فرومون های موجود روی مسیرهاست. بدین منظور فرومون باید کاهش یابد و این کاهش لازم است توسط پارامتر ρ که مقدار نسبی و عددی بین صفر و یک است انجام گیرد.

جدول ۴-۷ مقادیر ρ

ρ	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۱

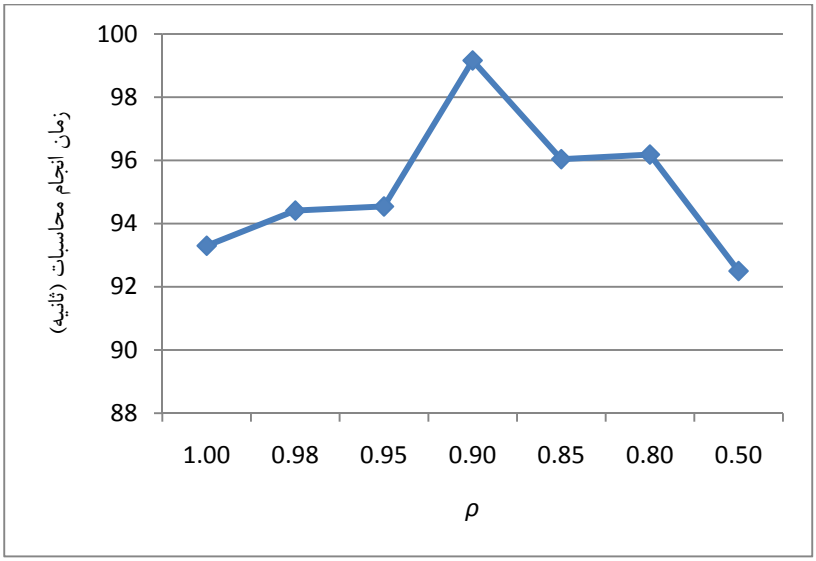
مطابق با نتایج حاصل شده تا کنون α را برابر ۵/۵ و β برابر ۳ قرار داده شده و پس از ۱۰۰ مرتبه اجرای برنامه، نتایج مقادیر مناسب برای ρ در نمودار شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است. همانطور که اشاره شد ρ در این مرحله برابر با مقادیر داده شده در جدول ۴-۷ فرض شده است. با انتخاب پارامتر ρ با کمیت

های بزرگتر سرعت همگرایی افزایش می یابد. این مسئله در نمودار شکل ۴-۱۸-الف نمایش داده شده است. بر اساس نمودار شکل ۴-۱۹، ۱= ρ مقداری مناسب در الگوریتم می باشد. اگر چه مطابق با نمودار ب در شکل ۴-۱۹، ۰/۹۸= ρ بهینه می باشد.



ب الف

شکل ۴-۱۷- الف - تغییرات تعداد گام ها تا رسیدن به همگرایی به ازای تغییرات پارامتر ρ و ب- احتمال همگرایی به مقدار بهینه کوچکتر در الگوریتم به ازای تغییرات پارامتر ρ



شکل ۴-۱۸ زمان انجام محاسبات تا ۲۰۰ گام به ازای تغییرات پارامتر ρ

4-۴-۴- مقدار فرومون اولیه (پارامتر τ_o)

مجدداً در فصل قبل اشاره شد که مقدار فرومون اولیه که بر روی مسیر ها قرار می گیرد بایستی از مقداری که انتظار می رود توسط مورچه در یک تکرار ریخته شود کمی بیشتر باشد. در الگوریتم $\Delta\tau_0$ برابر با تقسیم هزینه ماکزیمم بر هزینه مینیمم در هر تکرار در نظر گرفته شده است که این نسبت نیز بررسی خواهد شد.

جدول ۴-۸ مقادیر τ_o

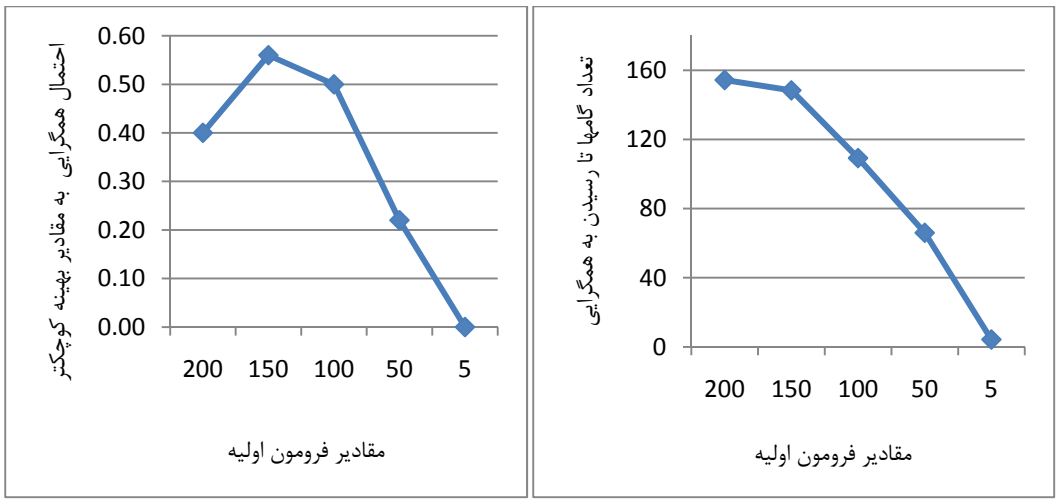
τ_o	۵	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰

هزینه ماکزیمم مذکور در ابتدای برنامه وارد شده است. بنابراین ضمن در نظر گرفتن مقادیر وارد شده، نسبت هزینه ماکزیمم به هزینه مینیمم هر تکرار در برنامه در حدود ۳ الی ۵ می باشد. بنابراین پیشنهاد شده است که بزرگتر از موارد مذکور در نظر گرفته شود. به همین جهت مطابق با جدول پارامتر τ_o بررسی و ارائه می شود تا مقدار مناسب و بهینه پیشنهاد گردد. نتیجه این بررسی در نمودار

شکل ۴-۱۹ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود با افزایش فرومون اولیه تعداد گام های الگوریتم برای رسیدن به همگرایی افزایش می یابد اما آهنگ این افزایش به تدریج کند شده و تقریباً در فرومون های با اندازه ۱۵۰ ثابت می شود.

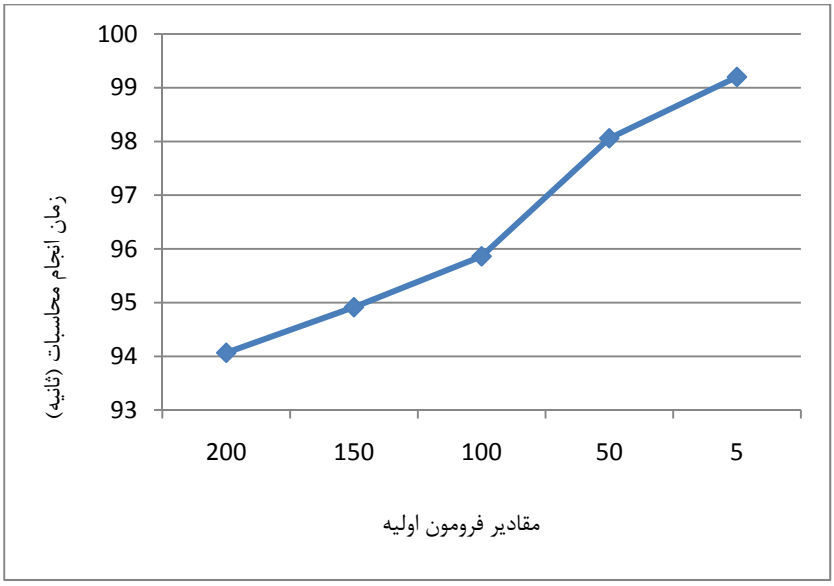
با توجه به نمودار ب ترسیم شده در شکل ۴-۱۹، دیده می شود که با افزایش فرومون های اولیه، احتمال همگرایی به نقاط اکسترمم کوچکتر افزایش می یابد. نمودار بیان می کند که چنانچه این مقدار در حدود ۱۵۰ باشد احتمال همگرایی در الگوریتم بیشترین احتمال را دارد. اما با افزایش بیشتر فرومون اولیه این احتمال کاهش یافته به طوریکه در مقادیر بیشتر از ۲۰۰ با تعداد گام های در نظر گرفته شده همگرایی صورت نمی پذیرد.

درانتها نیز مجدداً سرعت انجام محاسبات ۲۰۰ گام در هر الگوریتم نمایش داده شده است که بر اساس آنها مسئله با فرومون های اولیه بیشتر در مدت زمان کمتری تحلیل می شود.



ب الف

شکل ۴- ۱۹ - الف - تغییرات تعداد گامها تا رسیدن به همگرایی به ازای تغییرات مقادیر فرومون اولیه و ب- احتمال همگرایی به مقادیر بهینه کوچکتر در الگوریتم به ازای تغییرات مقادیر فرومون اولیه



شکل ۴-۲۰ زمان انجام محاسبات تا ۲۰۰ گام به ازای تغییرات مقادیر فرومون اولیه

۴-۵- ارائه مثال های عددی

۴-۵-۱- مثال۱- بهینه سازی Tailrace در شرایط با شیب ثابت

گاهی به دلیل مسائل اجرایی امکان طراحی شیب به منظور احداث و آماده سازی Tailrace وجود ندارد. به همین جهت در طول فرایند طراحی شیب مقداری ثابت یا لازم الاجرا است که در ابتدای پروژه وارد الگوریتم طراحی شده و سایر پارامتر های طرح بهینه می شود. برای بررسی دقیق تر این موضوع یک مسئله با مشخصات داده شده در جدول ۴-۱۰ طراحی و بهینه شده است. تعداد مسیرهای این مسئله ۱۸۶۲۰ بوده که هزینه مینیمم محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۴-۱۱ مشخص شده است. نحوه همگرایی هزینه طرح در الگوریتم در شکل ۴-۲۱ نمایش داده شده است.

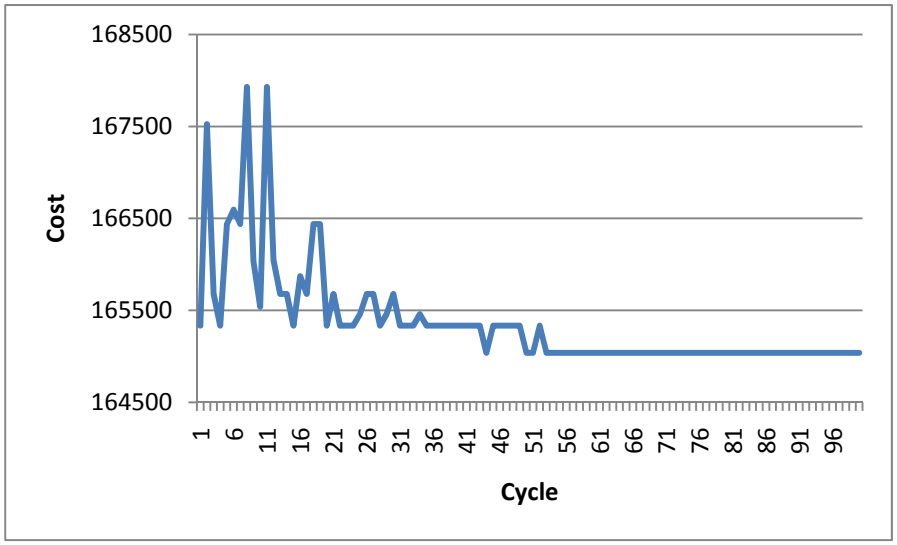
در جدول ۴-۹، تعداد کل حالات ممکن فضای طراحی با توجه به متغیرهای طراحی مربوط به ابعاد کانال خروجی نیروگاه در نظر گرفته شده ارائه شده است.

جدول ۴-۹. محاسبه تعداد کل طرح های ممکن مثال ۱.

تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب کناره ها	حالات ممکن مربوط به ضریب بازشدگی	حالات ممکن طول ناحیه Expansion	حالات ممکن طول ناحیه Contraction
۱/۸ × ۱۰^۴	۲۰	۱۹	۷	۷

جدول ۴-۱۰ اطلاعات مسئله مثال ۱.

شیب طولی هر سه قسمت کف به ترتیب (S)	۰/۰،۱۵/۰،۱۰/۱۵
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
دبی (Q)	۳۰ m^3/s



شکل ۴-۲۱ . نمودار نتایج طراحی به روش RBAS مثال ۱.

جدول ۴-۱۱ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرها مثال۱.

هزینه مینیمم	۱۶۵۰۳۸
تعداد تکرار	۱۰۰

شیب کناره(Z)	۱/۶
ضریب بازشدگی	3.00
ضریب جمع شدگی	۱/۵
طول ناحیه Expansion	۱۲
طول ناحیه Contraction	۶
طول ناحیه Fixed	۱۲
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۱۶

۴-۵-۲- مثال۲- بهینه سازی Tailrace در شرایط با شیب کناره های ثابت

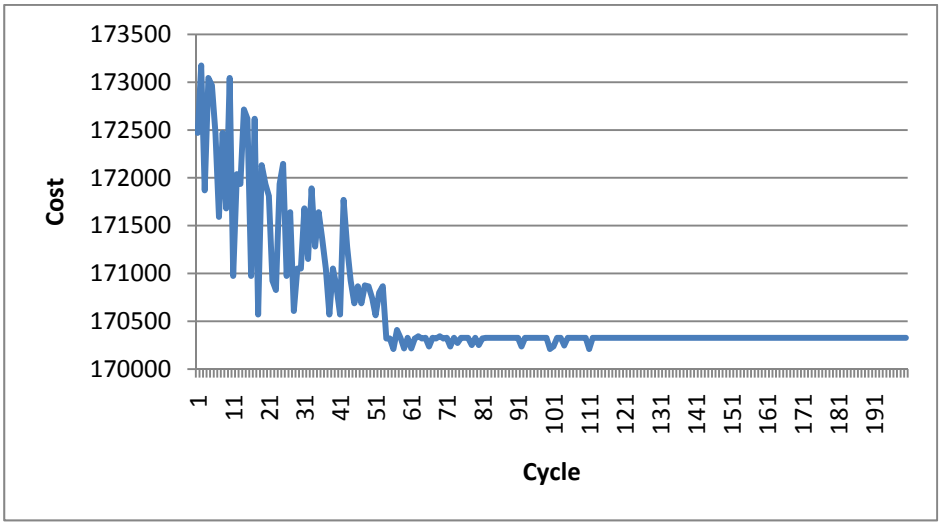
در این مثال قید و محدودیت دیگری در اجرا فرض شده است و آن شیب کناره های کانال خروجی نیروگاه است. این محدودیت از مسائل رایج اجرایی در طرح های مربوط به کانال های آبی مخصوصاً طبیعی است. چرا که افزایش این شیب موجب افزایش احتمال فرسایش و تخریب جداره های کانال و افزایش سرعت آب (به دلیل کاهش سطح مقطع) و افزایش عمق می شود. لذا با توجه به این محدودیت ها در بسیاری از پروژه ها طراح ملزم به استفاده از شیب ثابتی در کناره های کانال است. در این قسمت فرض بر قابل تغییر بودن سایر پارامترهای طراحی است. الگوریتم موجود با توجه به تمامی مسیرها بررسی و هزینه مینیمم جستجو می شود. نتایج این مسئله در جدول ۴-۱۴ و نمودار همگرایی تابع هدف (هزینه ها) در نمودار شکل ۴-۲۲ ارائه شده است. در جدول ۴-۱۲ مجدداً تعداد کل حالات ممکن فضای طراحی با توجه به متغیرهای طراحی مربوط به ابعاد کانال خروجی نیروگاه در نظر گرفته شده، نشان داده شده است. جدول ۴-۱۳ نیز اطلاعات کلی مسئله را نمایش می دهد.

جدول ۴-12. محاسبه تعداد کل طرح های ممکن مثال 2.

تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Fixed	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Contraction	حالات ممکن مربوط به ضریب بازشدگی	حالات ممکن طول ناحیه Expansion	حالات ممکن طول ناحیه Contraction
49×۱۰^{۴}	10	10	10	10	۷	۷

جدول ۴-۱۳ اطلاعات مسئله مثال ۲.

شیب کناره ها (Z)	۱
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
دبی (Q)	۳۰ m^3/s



شکل ۴-۲۲ . نمودار نتایج طراحی به روش RBAS مثال ۲.

جدول ۴-۱۴ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرها مثال۲.

هزینه مینیمم	۱۷۰۳۲۶
تعداد تکرار	۲۰۰
شیب ناحیه Expansion	۰/۲۱
شیب ناحیه Contraction	۰/۲۱
شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱
ضریب بازشدگی	۳/۲
ضریب جمع شدگی	۲/۶۲
طول ناحیه Expansion	۱۱
طول ناحیه Contraction	۹
طول ناحیه Fixed	۱۰
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۶۷۴

۴-۵-۳- مثال۳- بهینه سازی Tailrace در شرایط با طول ناحیه Expansion ثابت

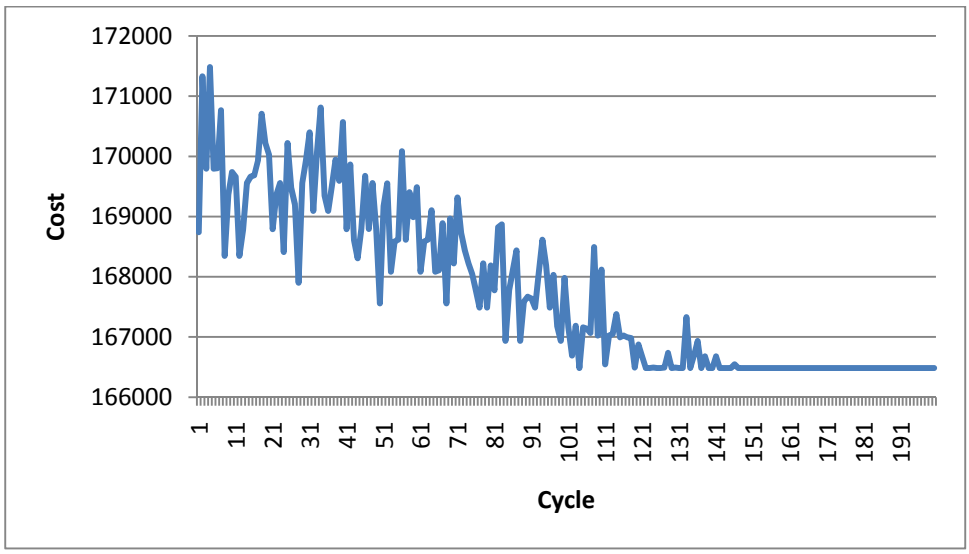
در مثال ۳ طول ناحیه Expansion ثابت فرض می شود. این قید وابسته به پلان کانال است. مجدداً در این قسمت نیز فرض بر قابل تغییر بودن سایر پارامترهای طراحی است. الگوریتم موجود با توجه به تمامی مسیر ها بررسی و هزینه مینیمم جستجو می شود. در جدول ۴-۱۵ تعداد کل حالات ممکن فضای طراحی با توجه به متغیرهای طراحی مربوط به ابعاد کانال خروجی نیروگاه در نظر گرفته شده، نشان داده شده است. جدول ۴-۱۶ نیز اطلاعات کلی مسئله را نمایش می دهد. نتایج این مسئله در جدول ۴-۱۷ و نمودار همگرایی تابع هدف نیز در نمودار شکل ۴-۲۳ تشریح شده است.

جدول ۴-۱۵. محاسبه تعداد کل طرح های ممکن مثال ۳.

تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Fixed	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Contraction	حالات ممکن مربوط به ضریب بازشدگی	حالات ممکن مربوط به شیب کناره ها	حالات ممکن طول ناحیه Fixed
۱۴۰×۱۰^۴	10	10	10	10	۲۰	۷

جدول ۴-۱۶ اطلاعات مسئله مثال ۳.

طول ناحیه Expansion	۱۰
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
دبی (Q)	۳۰ m^3/s



شکل ۴-۲۳ . نمودار نتایج طراحی به روش RBAS مثال ۳.

جدول ۴-۱۷ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرها مثال۳.

هزینه مینیمم	۱۶۶۴۸۴
تعداد تکرار	۲۰۰

شیب ناحیه Expansion	۰/۲۱
شیب ناحیه Contraction	۰/۱۹
شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱
ضریب بازشدگی	۳
ضریب جمع شدگی	۲/۴۰
شیب کناره(Z)	۱/۴۰
طول ناحیه Contraction	۸
طول ناحیه Fixed	۱۲
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۱۵

۴-۵-۴- مثال۴- بهینه سازی Tailrace در شرایط با طول ناحیه Fixed ثابت

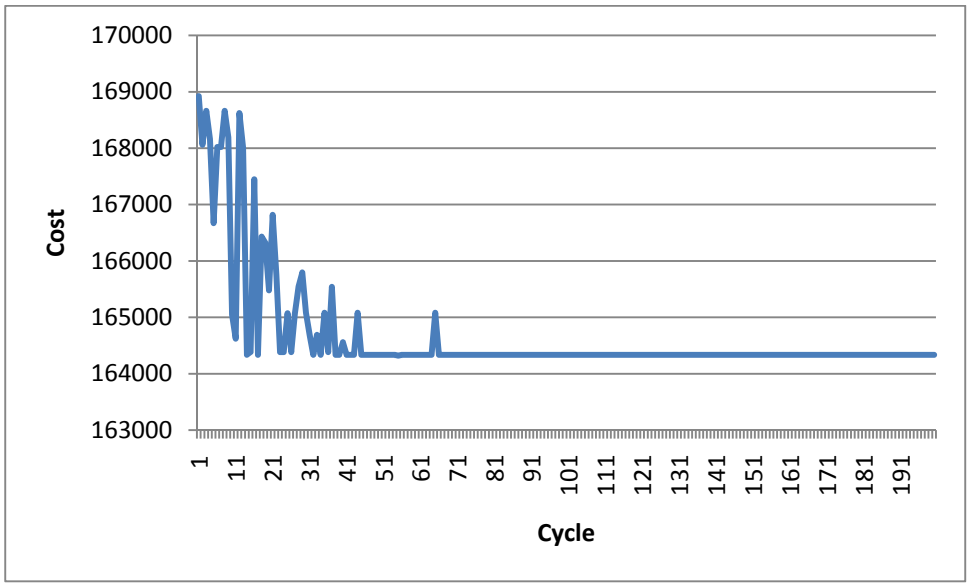
مسئله مثال ۳ این بار با طول ناحیه Fixed ثابت که همان۱۰ متر است در نظر گرفته، تحلیل و بهینه می شود. این نیز یکی از سه پارامتر شکل پلان است که در شکل۴-۲۴ مشخص شده است. نتایج بررسی الگوریتم به صورت جداول و نمودار زیر ارائه شده است.

جدول ۴-۱۸. محاسبه تعداد کل طرح های ممکن مثال ۴.

تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Fixed	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Contraction	حالات ممکن مربوط به ضریب بازشدگی	حالات ممکن مربوط به شیب کناره ها	حالات ممکن طول ناحیه Expansion
۱۴۰×۱۰^{۴}	10	10	10	10	۲۰	۷

جدول ۴-۱۹ اطلاعات مسئله مثال ۴.

طول ناحیه Fixed	۱۰
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
دبی (Q)	۳۰ m^3/s



شکل ۴-۲۴ . نمودار نتایج طراحی به روش RBAS مثال ۴.

جدول ۴-۲۰ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرها مثال۴.

هزینه مینیمم	۱۶۴۳۳۵
تعداد تکرار	۲۰۰
شیب ناحیه Expansion	۰/۲۱
شیب ناحیه Contraction	۰/۱۲

شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱
ضریب بازشدگی	۳
ضریب جمع شدگی	۲/۱۸
شیب کناره(Z)	۱/۴۰
طول ناحیه Contraction	۹
طول ناحیه Expansion	۱۱
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۲۱

۴-۵-۵- مثال۵- بهینه سازی Tailrace در شرایط با ضریب بازشدگی ثابت

در قسمت آخر مثالی دیگر از پارامتر های مؤثر در پلان کانال خروجی نیروگاه بررسی می شود تا در نهایت بتوان در مورد میزان اثر هر یک از آنها قضاوت کرد. به عبارتی میزان حساسیت[۷۵] الگوریتم به هر یک از پارامتر های مذکور قابل شناسایی است. لذا مجدداً ضریب بازشدگی کانال که در شکل۴-۲۵ مشخص شده است را ثابت فرض کرده و سایر مشخصات تغییر می کند. تعداد هر یک از حالت های موجود در فضای طراحی در جدول ۴-۲۱، مشخصات اصلی کانال در جدول ۴-۲۲، و نتایج آن در جدول ۴-۲۳ ارائه شده است. همچنین روند همگرایی الگوریتم در تابع هزینه ها در نمودار شکل ۴-۲۷ مشخص شده است.

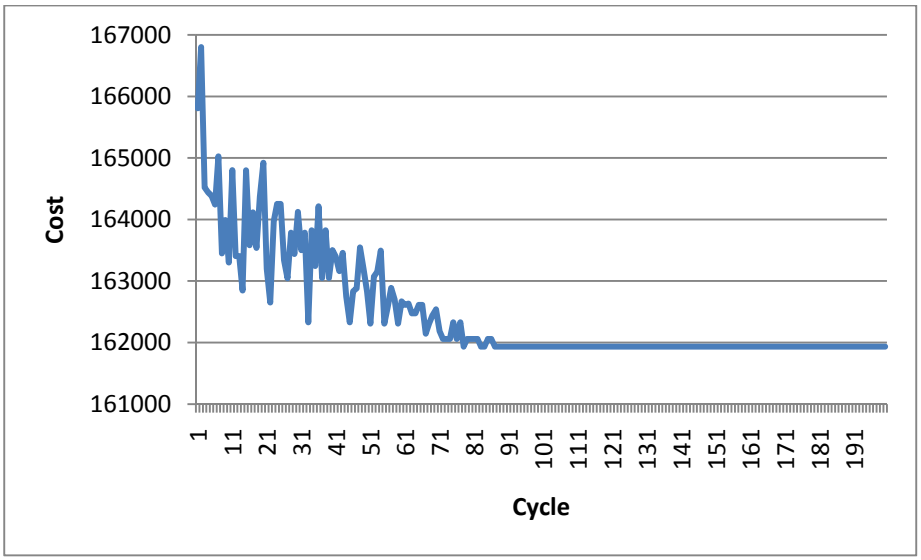
جدول ۴-۲۱. محاسبه تعداد کل طرح های ممکن مثال ۵.

[75] Sensitivity

تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Fixed	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Contraction	حالات ممکن طول ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب کناره ها	حالات ممکن طول ناحیه Fixed
۹۸ × ۱۰^۴	10	10	10	۷	۲۰	۷

جدول ۴-۲۲ اطلاعات مسئله مثال ۵.

ضریب جمع شدگی	۳
ضریب زبری مانینگ (n)	۰/۰۴۰
دبی (Q)	۳۰ m^3/s



شکل ۴-۲۵ . نمودار نتایج طراحی به روش RBAS مثال ۵.

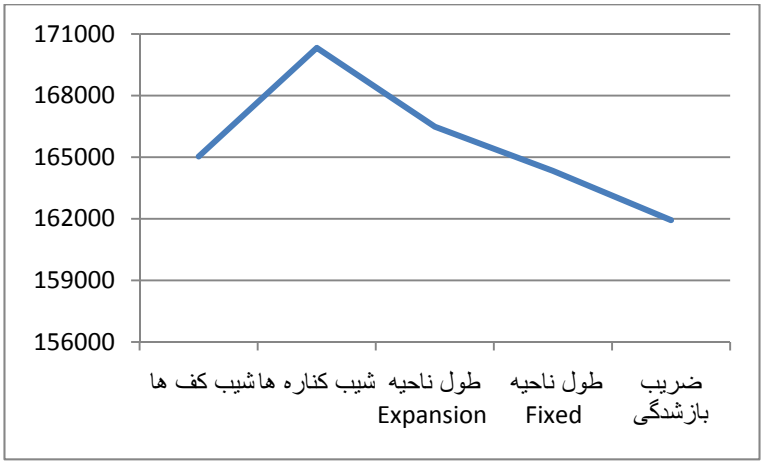
جدول ۴-۲۳ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرها مثال ۵.

هزینه مینیمم	۱۶۱۹۳۳
تعداد تکرار	۲۰۰
شیب ناحیه Expansion	۰/۲۰

شیب ناحیه Contraction	۰/۱۳
شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱
طول ناحیه Fixed	۱۲
ضریب جمع شدگی	۲/۱۸
شیب کناره(Z)	۱/۵۰
طول ناحیه Contraction	۶
طول ناحیه Expansion	۱۲
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۲۳

۴-۵-۶- نتایج بررسی مثال ها

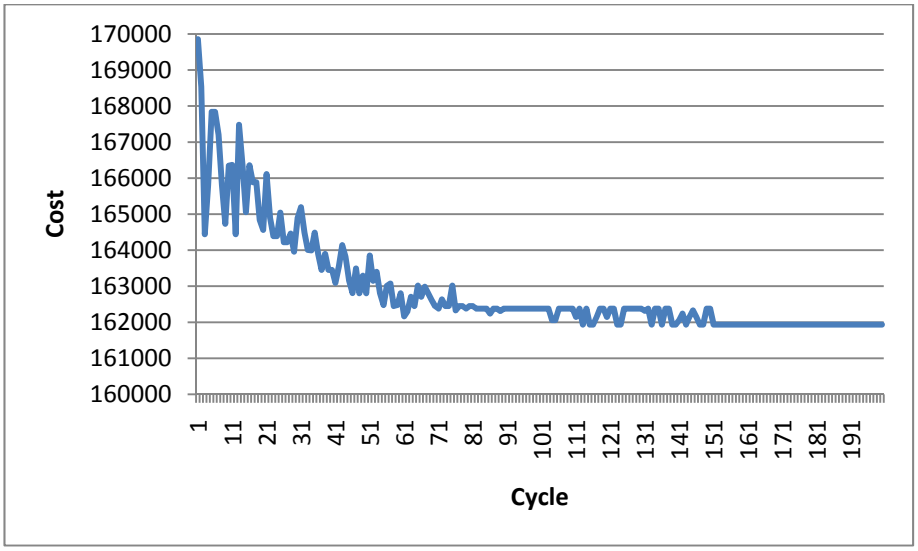
با بررسی نتایج فوق می توان قضاوت های مهم و دقیق تری در طراحی کانال خروجی نیروگاه انجام داد. همانطور که اشاره شد با کنار هم قرار دادن آن ها نیز اثر هر یک از این پارامترها را روی الگوریتم بهینه سازی به دست آورد. در نمودار شکل ۴-۲۶ هزینه های مینیمم حاصل شده در ۵ مثال بالا نمایش داده شده است. همان طورکه ملاحظه می شود در حالت ثابت نگه داشتن ضریب بازشدگی و یا تثبیت طول نواحی Expansion، Contraction و Fixed هزینه کمتری حاصل شده و این بیانگر این است که تغییر آنها کمک کمتری در بهینه سازی طرح ایفا می کند. بر خلاف آن، با ثابت شدن شیب کناره ها بیشترین هزینه را در بر داشته که مؤثرتر بودن این پارامتر را در روند بهینه کردن طرح نشان می دهد.



شکل ۴-۲۶ . مقایسه نتایج مثال ها.

۴-۶- مقایسه نتایج ACS و RBAS

به منظور کنترل دقیق تر الگوریتم باید مقایسه ای بین یافته ها و جواب های بدست آمده RBAS با نتایج حاصل از روش ACS انجام گردد. بر مبنای اطلاعات الگوریتم در مجموع بیش از ۹۸۰۰۰۰۰ مسیر وجود دارد . چنانچه برای یافتن مسیر بهینه از ۲۰۰ مورچه استفاده شده باشد و ۲۰۰ بار تکرار برای این مقدار مورچه در نظر گرفته شود در مجموع $۴*10^4$ بار مسئله حل شده است. این برابر با $\frac{4}{1000}$ کل مسیر ها یا حالت های موجود می باشد . با برنامه نویسی و اجرا ACS وRBAS جهت پیدا کردن مینیمم مطلق نتایج نشان داده شده. روش RBAS پس از ۱۵۱ بار اجرای کل برنامه و گذشت بازه زمانی ۳۰دقیقه ای انجام شد. همانطور که ملاحظه می شود مقدار ۱۶۱۹۳۳ هزینه مینیمم در الگوریتم RBAS شده و در جدول ۴-۲۵ نتایج نشان داده شده است. همچنین روند بهینه یابی در نمودار شکل ۴-۲۷ مشخص شده است. داده های موجود در کل مسئله نیز در جدول ۴-۲۴ معین شده است.



شکل ۴-۲۷. روند بهینه یابیRBAS

جدول ۴-۲۴ . تعداد حالات مربوط به طراحی متغیرهای کلی مسئله.

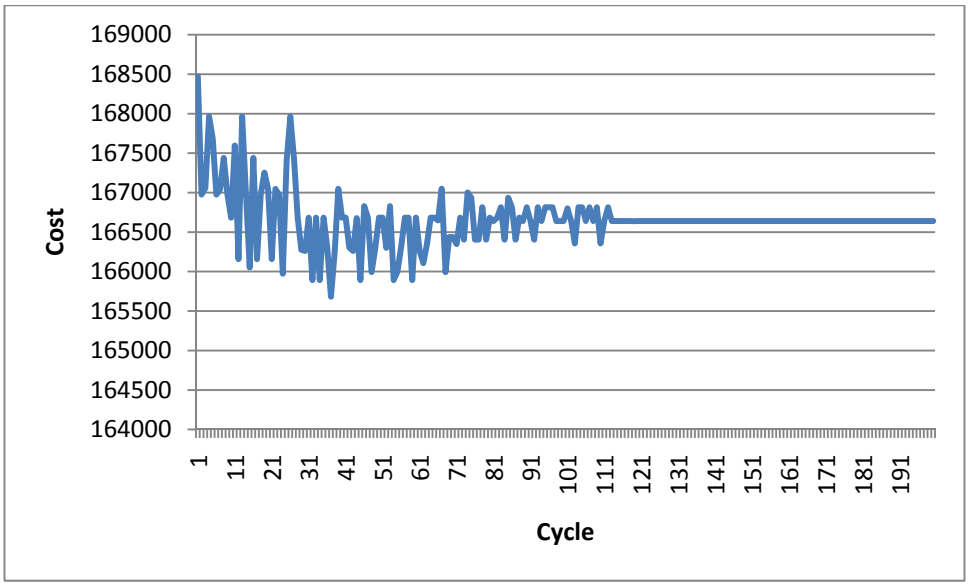
تعداد کل طرح های ممکن	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Fixed	حالات ممکن مربوط به شیب ناحیه Contraction	حالات ممکن طول ناحیه Expansion	حالات ممکن مربوط به شیب کناره ها	حالات ممکن مربوط به ضریب بازشدگی	حالات ممکن طول ناحیه Fixed
۹۸×۱۰^{۵}	10	10	10	۷	۲۰	۱۰	۷

جدول ۴-۲۵ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرهای کلی مسئله RBAS

هزینه مینیمم	۱۶۱۹۳۳
تعداد تکرار	۲۰۰
شیب ناحیه Expansion	۰/۲۰
شیب ناحیه Contraction	۰/۱۳
شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱

طول ناحیه Fixed	۱۲
ضریب جمع شدگی	۱/۵
شیب کناره(Z)	۱/۵۰
طول ناحیه Contraction	۶
طول ناحیه Expansion	۱۲
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۸۰۰

روش ACS پس از ۱۱۶ بار اجرای کل برنامه و گذشت بازه زمانی ۲۵ دقیقه ای انجام شد. مقدار ۱۶۶۶۴۰ هزینه مینیمم در الگوریتم و در جدول ۴-۲۶ نتایج نشان داده شده است. همچنین روند بهینه یابی در نمودار شکل ۴-۲۸ مشخص شده است. داده های موجود در کل مسئله نیز در جدول ۴-۲۴ در بالا معین شده بود.



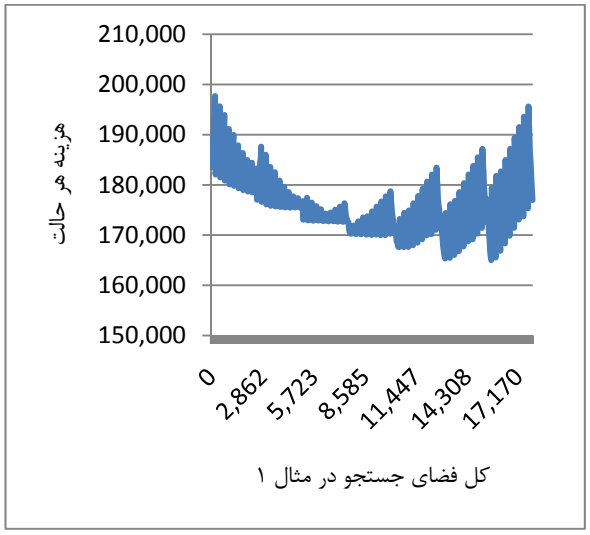
شکل ۴-۲۸. روند بهینه یابیACS .

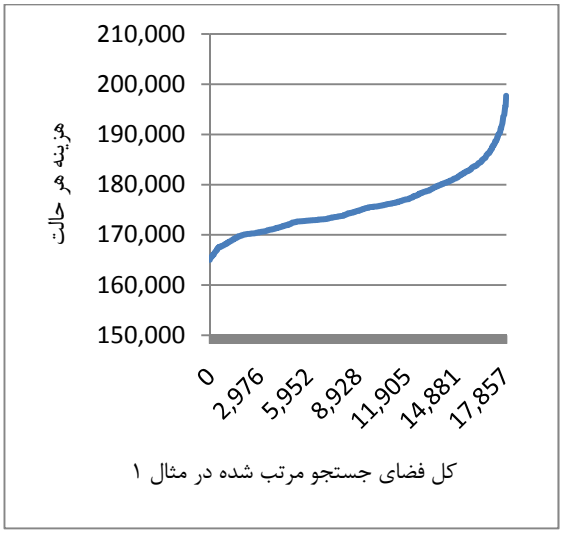
جدول ۴-۲۶ . اطلاعات مربوط به طراحی متغیرهای کلی مسئله ACS

هزینه مینیمم	۱۶۶۶۴۰
تعداد تکرار	۲۰۰
شیب ناحیه Expansion	۰/۱۶
شیب ناحیه Contraction	۰/۱۸
شیب ناحیه Fixed	۰/۰۱
طول ناحیه Fixed	۱۰
ضریب جمع شدگی	۲/۰
شیب کناره(Z)	۱/۴۰
طول ناحیه Contraction	۸
طول ناحیه Expansion	۱۲
زمان حل الگوریتم(ثانیه)	۱۵۰۰

۴-۷- مقایسه نتایج مثال۱ و کل جواب های فضای جستجو

در قسمت ۴-۶ نتایج حل مسئله با دو روش ACS وRBAS بررسی گردید. در این قسمت این الزام وجود دارد که الگوریتم در حل مسئله تا چه میزان به جواب قطعی و مطلق نزدیک شده است و یا حتی اساسا به جواب قطعی رسیده است یا خیر. حل کامل مسئله در فضای جستجوی کلی کاری زمان بر و تا حدی با رایانه های شخصی غیر ممکن است. اما برای کنترل این امر مسئله مثال یک که در ابتدا حل شد را این بار بصورت کلی بررسی کرده تا با جواب مثال مذکور در بالا مقایسه شود. شکل ۴-۲۹-الف نمودار کل هزینه های مربوط به ۱۸۰۰۰ حالت را و شکل ۴-۲۹-ب همان مقادیر را بصورت مرتب شده از کوچک به بزرگ نمایش میدهد.





الف ب

شکل ۴-۲۹. نمودار کل هزینه های مربوط به ۱۸۰۰۰ حالت در حالت الف نامرتب و ب مرتب شده .

بر اساس نتایج بدست آمده در این تحلیل مقدار مینیمم و سایر مشخصات مربوط به کانال در حالت ذکر شده دقیقا برابر با نتایج روش RBAS است که در جدول ۴-۱۱ ارائه شده بود.

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۵-۱- بحث و نتیجه گیری

از بررسی نتایج بدست آمده برای بهینه سازی وزن سازه مشخص است که در اکثر موارد الگوریتم سیستم کلونی مورچگان (ACS) که با درجهٔ بالاتری به مورچهٔ نخبهٔ کلی در هر سیکل اجازهٔ به جای گذاشتن فرومون را در مقایسه با الگوریتم سیستم مورچگان رتبه بندی شده (RBAS) می دهد، جواب های ضعیفتری را ارائه می کند. در رابطه با بهنگام سازی محلی، نتایج مثالهای ارائه شده نشان میدهد که استفاده از این عامل در بهینه سازی، تاثیر بسیار مطلوبی در سرعت همگرایی الگوریتم و کیفیت جوابهای بدست آمده ندارد.

تعداد مورچه ها و نرخ تبخیر فرومون در سیکل های اول شروع بکار الگوریتم که نیاز به جستجوی بهتر فضای طراحی می باشد، به ترتیب بصورت کاهشی و افزایشی تا رسیدن به یک مقدار

معلوم در نظر گرفته شدند که این امر سبب میگردد با تعداد آنالیز کمتری به نزدیکی نقطهٔ بهینهٔ طراحی نزدیک شویم.

در تحقیق حاضر بهینه سازی کانال خروجی نیروگاه با در نظر گرفت ترکیبات مختلفی از متغیرهای طراحی نامبرده، انجام شده است؛ که این ترکیبات عبارتند از:

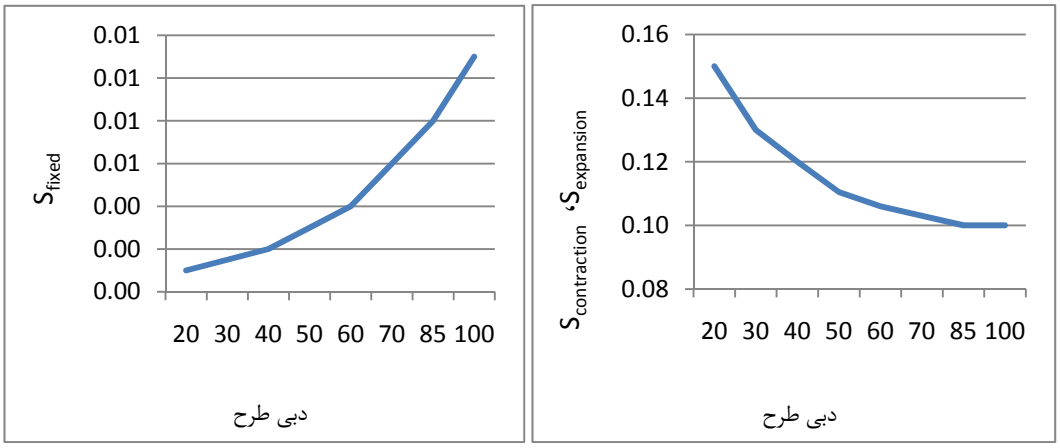
۱. بهینه سازی شیب قسمت جمع شونده؛
۲. بهینه سازی شیب قسمت باز شونده ؛
۳. بهینه سازی شیب قسمت ثابت ؛
۴. بهینه سازی هندسه مقطع کانال؛
۵. بهینه سازی طول کانال در ناحیه جمع شونده ؛
۶. بهینه سازی طول کانال در ناحیه باز شونده ؛
۷. بهینه سازی طول کانال در ناحیه ثابت.

۵-۲- نسبت های پیشنهادی طراحی کانال خروجی نیروگاه

مسئله بهینه سازی کانال و تحقیق انجام شده روی آن در صورتی کاربردی خواهد بود که برای طراحان قبل از انجام طراحی با به عبارتی در ابتدای کار پیشنهاد هایی پیرامون نحوه انتخاب پارامتر های مختلف کانال ارائه کند. تا اینجا متغیر های[۷۶] مختلفی از جمله $S_{contraction}$، S_{fixed}، $S_{expansion}$،شیب کناره ها، طول هر سه ناحیه و شدت جمع شدگی و بازشدگی مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفتند. از آنجا که طول کانال در طبیعت ثابت فرض میگردد و قابل طراحی نیست متغیر های بالا را در دبی های مختلف بررسی کرده و پس از بهینه یابی آنها پارامتر های پیشنهادی به ازای هر دبی ارائه داده میشود. شکل ۵-۱-الف

[76] variant

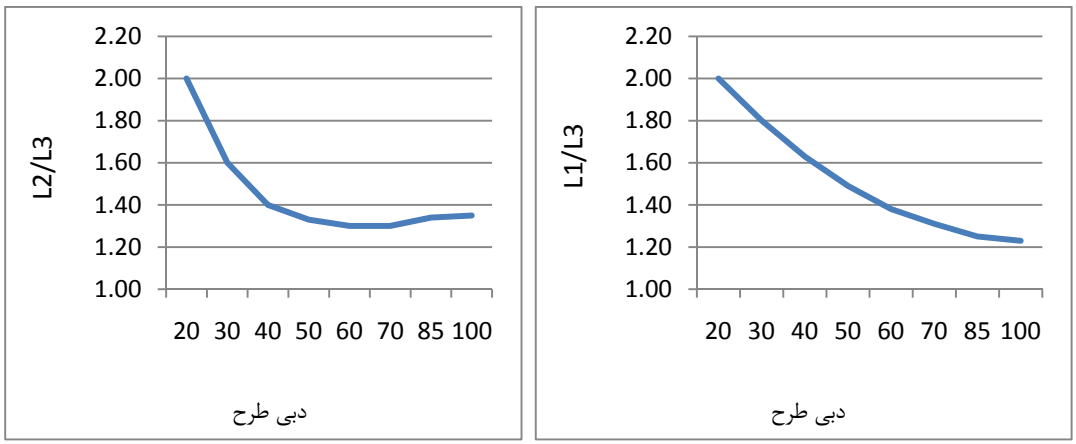
شیب پیشنهادی را برای طراحی در دبی های مختلف نشان میدهد. همچنین نمودار شکل ۵-۱-ب شیب پیشنهادی را در قسمت میانی کانال که عرض ثابت دارد تقریبا نزدیک به صفر نمایش میدهد. لازم به یاداوریست که شیب های فوق همگی منفی است.



الف ب

شکل ۵-۱-الف شیب پیشنهادی برای طراحی کانال در قسمت های جمع شونده و بازشونده و ب- شیب پیشنهادی در قسمت میانی

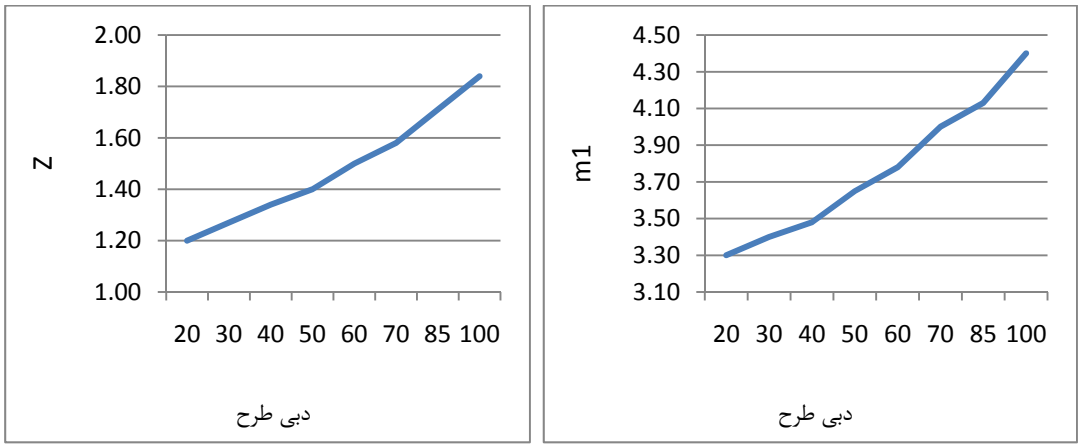
در نمودار شکل ۵-۲-الف، نسبت طول پیشنهادی ناحیه Contraction به ناحیه Expansion و همچنین در ب، نسبت طول پیشنهادی ناحیه Fixed به ناحیه Expansion جهت طراحی کانال ارائه شده است.



الف ب

شکل۵-۲-الف و ب- نسبت طول های پیشنهادی برای طراحی کانال در قسمت های جمع شونده و بازشونده و ثابت

اخرین نمودار ها در ۵-۳-الف و ب نیز مقادیر شیب پیشنهادی برای کناره ها و مقادیر ضریب بازشدگی پیشنهادی برای طراحی در دبی های مختلف نشان میدهد.



ب الف

شکل ۵-۳-الف مقادیر ضریب بازشدگی پیشنهادی برای طراحی و ب- مقادیر شیب پیشنهادی برای کناره ها در طراحی کانال در دبی های مختلف

۵-۳- ارائه پیشنهادات کلی

پیشنهاداتی که در زمینهٔ ادامه و تکمیل این تحقیق می تواند مطرح باشد، عبارتند از:

۱) اعمال بهینه سازی چند هدفه در طراحی کانال ها؛

۲) بهینه سازی سازه های هیدرولیکی تحت فشار؛

۳) بررسی و مقایسه روش های دیگر بهینه سازی کانال خروجی نیروگاه؛

۴) انجام تحقیق حاضر توسط نرم افزار HEC-Rac؛

۵) بهینه سازی کانال های جمع آوری فاضلاب شهری بوسیله الگورتم ACO؛

۶) طراحی و بررسی بهینه سازی شبکه های جمع آوری آب های سطحی؛

۷) استفاده از الگوریتم های جمعیت گرای مشابه دیگر مانند الگوریتم اجتماع ذرات PSO و بررسی و مقایسهٔ کیفیت نتایج حاصله با نتایج این تحقیق؛

۹) و در نهایت می توان از شبکه های عصبی مصنوعی برای آموزش الگوریتم و سرعت بخشیدن به روند بهینه سازی استفاده نمود.

مراجع

۱. محمد رضا قاسمی، بابک دیزنگیان" سبک سازی عرشه دو عنصری در پلها شامل سیستم مرکب دال بتنی و تیر جعبه ای فلزی بروش اجتماع مورچگان " کنفرانس بین المللی سبک‌سازی و زلزله ۱ تا ۲ اردیبهشت ۱۳۸۹، جهاد دانشگاهی استان کرمان

۲. پژوهشنامه حمل و نقل شماره چهار زمستان ۱۳۸۴ ، قصیری, مرشدسلوک

۳. هیدرولیک کانال های باز، دکتر سید محمود حسینی، دکتر جلیل ابریشمی،انتشارات دانشگاه امام رضا ۱۳۸۳

4. *Mays, Larry W* ، *Water Resources Engineering,(2005) –Published by Wiley*

5. Rao, S.S., Engineering Optimization Theory and Practice, *3rd Edition, John Wiley, New York,* 1996.

6. Camp, C.V., and Bichon, B.J., Design of space trusses using ant colony optimization, *J. Struct. Eng*, 130(5), 741–751, 2004.

7. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, New York: Oxford University Press, 1999

8. Witten, I. H., Frank, E., *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, 2nd edition, 2005

9. Dorigo, M. and G. Di Caro. *The ant colony optimization meta- heuristic. In D. Corne*,۲۰۰۳

10. Dorigo, M., and Stützle, T., Ant Colony Optimization, *A Bradford Book, Massachusetts Institute of Technology, U.S.A.,* 2004.

11. A.S. Ramamurthy, S.F. Saghravani, and R. Balachandar. *A direct integration method for computation of gradually varied flow profiles,* 2000 NRC Canada

Abstract

This thesis consist of some theoretic studies in order to use ant colony optimization algorithm to design tailraces. The algorithm has been written and run by visual basic program. Aco is one of the modern technics that has been attentioned by researchers recently. Aco plan process with discrete variables consist of open form to assign constrains and various analyses. Also utilization of saxo turbines has increased recently. That is because of their ability to generate electricity without larg reservoir in approach flow that may causes to environmental pollution.

Use ant colony in order to optimizing tailraces is the last purpose in this thesis. So objective function has been considered with design variables such as ground slope at the different parts, contraction and expansion intensity.

Finally it assume that by simulating the acts based on swarm intelligent with computers to optimizing the solution.

Keywords : optimization , ground slope , contraction intensity coefficient , expansion intensity coefficient , ant colony algorithm , tailrace , local and global search.