بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين أنعمت عليهم غير المغضوب عليهم ولا الضالين

١٢١٨٩٠

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی هسته ای

عنوان پایان نامه

بهینه سازی مدیریت سوخت راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای
گرایش مهندسی راکتور

نام دانشجو:
فرخ خوش احوال

تسویه شد

اساتید راهنما:
دکتر مصطفی صدیقی
دکتر احمد ذوالفقاری

۱۳۸۸/۱۲/۲

شهریور ۱۳۸۸

۱۳۱۵۶۰

دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ .....
شماره .....
پیوست.....

بسمه تعالی

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین
تلفن: ۲۴۹۰۱

" صورتجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد "

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۲۰۰/۲۱۹۲/د مورخ ۱۳۸۸/۶/۵ جلسه هیات داوران ارزیابی پایان نامه آقای فرخ خوش احوال به شماره شناسنامه : ۲۶۲۳۶ صادره از : تهران متولد: ۱۳۶۱ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد پیوسته/ناپیوسته رشته مهندسی هسته‌ای (راکتور)
با عنوان:

بهینه سازی مدیریت سوخت راکتور WWER1000 بوشهر

به راهنمایی:

آقای دکتر مصطفی صدیقی
آقای دکتر احمدرضا ذوالفقاری

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۱۷ تشکیل گردید و بر اساس رای هیات داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آیین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۹ و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: آقای دکتر مصطفی صدیقی
۲- استاد راهنما: آقای دکتر احمدرضا ذوالفقاری
۳- داوراخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر عبدالحمید مینوچهر
۴- داور خارجی: آقای دکترنعیم الدین متاجی کجوری

قدردانی

از اساتید راهنمای گرانقدرم ، جناب آقای دکتر احمد ذوالفقاری و جناب آقای دکتر مصطفی صدیقی که با راهنمایی‌های ارزنده خود، راه درست در مسیر کسب علم و دانش را به من آموختند و در پیشبرد این پروژه کمک‌های شایان توجهی مبذول داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

این پایان نامه را تقدیم می کنم به روح پاک پدرم،

به مادر عزیزم

و برادر بزرگوارم

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی
می باشد.

به نام خدا

نام ونام خانوادگی: فرخ خوش احوال

عنوان پایان نامه: بهینه سازی مدیریت سوخت راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر

اساتید راهنما: دکتر مصطفی صدیقی، دکتر احمد ذوالفقاری

اینجانب **فرخ خوش احوال** تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد حاضر، خود را ملزم به حفظ امانت داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون Copyright می دانم. بدین وسیله اعلام می نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال؛ جداول، و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانتداری را به صورت کامل رعایت نموده ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می باشد.

فرخ خوش احوال

امضاء وتاریخ:

فهرست مطالب

۱) مدیریت سوخت راکتورهای هسته ای ۲
۱-۱) مقدمه ۲
۱-۲)روشهای متداول و ابتکاری بهینه سازی ۳
۱-۲-۱) الگوریتم ژنتیک ۵
۱-۲-۲) روش سرد کردن تدریجی ۹
۱-۲-۳)بهینه سازی بر اساس مهاجرت مورچه ها ۱۰
۱-۲-۴)شبکه عصبی ۱۵
۲) بررسی مشخصات راکتور WWER-۱۰۰۰ ..... ۲۰
۲-۱) مقدمه ۲۰
۲-۲) تفاوت راکتور WWER با راکتور PWR ۲۱
۲-۳)مدل های مختلف راکتورهای WWER ۲۲
۲-۴)مشخصات میله های سوخت راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر ۲۶
۲-۵)قلب راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر ۲۸
۲-۶)مجتمع سوخت راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر ۲۹
۲-۷)مشخصات میله های کنترل و جاذب سوختنی در راکتور WWER ۳۰
۳) محاسبات مدیریت سوخت داخل قلب ۳۵
۳-۱)مقدمه ۳۵
۳-۲) اهداف مدیریت سوخت ۳۵
۳-۳)روشهای کلی مدیریت سوخت ۳۶
۳-۴)روشهای مرسوم تعویض سوخت داخل قلب راکتور ۳۷
۳-۴-۱)سوخت گذاری بسته ای (Batch Loading) ۳۷
۳-۴-۲)سوخت گذاری نیمه بسته ای (Partial Batch Loading) ۳۸
۳-۴-۳)سوخت گذاری حلقه ای (Zone Loading) ۴۱
۳-۴-۴)سوخت گذاری پراکنده یا شطرنجی (Scatter Loading) ۴۱
۳-۵)مدل خطی راکتیویته(Linear Reactivity Model) ۴۲
۳-۶)محاسبات سلولی ۴۶
۳-۷)محاسبات قلب ۵۰
۳-۷-۱) قابلیت های کد Citation ۵۱
۳-۸) مدیریت سوخت راکتورهای هسته ای ۵۳
۳-۹)بهینه سازی در مدیریت سوخت ۵۴
۳-۱۰) الگوریتم های بهینه سازی ۵۵
۳-۱۱)آرایش اولین سوخت گذاری ۵۶
۳-۱۲)محاسبه توان در هر مجتمع سوخت ۵۸

۴) الگوریتم PSO ۶۲
۴-۱)تاریخچه ۶۲
۴-۲) نحوه پیدا کردن جواب بهینه در روش PSO ۶۳
۴-۳)مقایسه روش PSO با روشهای دیگر بهینه سازی ۶۷
۴-۳-۱)روش ACS ۶۷
۴-۳-۲)روش GA و مقایسه با روش PSO: ۶۸
۴-۴)توپولوژی های بکار رفته در PSO Neighborhood : ۷۱
۴-۵) تنوع الگوریتم PSO : ۷۲
۴-۶) چگونگی منطبق کردن روش PSO برای مدیریت سوخت راکتورهای هسته ای ۷۴
۴-۷)مرتب کردن بردار مکان ذرات ۷۶
۴-۸) تابع هدف (تابع برازندگی) ۷۷
۵) نتایج محاسبات مدیریت سوخت برای راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر ۸۱
۵-۱)محاسبه در صد وزنی عناصر سیال ۸۱
۵-۲)دانسیته اتمی عناصر سوخت WWER۱۰۰۰ type ۴۴۶: ۸۲
۵-۳) نتایج شبیه سازی به روش PSO ۸۴
پ)راکتورهای هسته ای ۹۲
پ-۱) مقدمه ۹۲
پ-۲) انواع راکتورهای هسته ای ۹۲
پ-۲-۱)راکتورهای حرارتی ۹۳
پ-۲-۲) راکتورهای سریع زاینده ۹۸
پ-۳) توزیع انواع راکتورهای ساخته شده و در حال ساخت ۱۰۰
مراجع: ۱۰۱

چکیده

نام و نام خانوادگی: فرخ خوش احوال

عنوان پایان نامه: بهینه سازی مدیریت سوخت راکتور wwer۱۰۰۰ بوشهر

اساتید راهنما: دکتر مصطفی صدیقی، دکتر احمد ذوالفقاری

استاد مشاور:

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ فراغت از تحصیل: ۱۳۸۸/۶/۱۷

رشته تحصیلی: مهندسی هسته ای

گرایش: مهندسی راکتور

دانشگاه: شهید بهشتی

دانشکده: مهندسی هسته ای

کلمات کلیدی : مدیریت سوخت، راکتور هسته ای، WWER، PSO

چکیده: مدیریت سوخت در راکتور های هسته ای یکی از زمینه های بسیار اساسی است که در آن، ضمن لحاظ نمودن مسائل ایمنی و در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، طرحی بهینه برای جابجایی سوخت درون راکتور در ابتدای هر دوره سوخت گذاری پیش بینی می شود به نحوی که فرایند تولید انرژی از طریق راکتور به بهترین شکل ممکن میسر شود. به مسایلی نظیر بهینه سازی غنای سوخت، چینش بهینه سوخت درون راکتور، چینش میله های کنترل، توزیع جاذب های سوختنی و غیره به عنوان مسایلی مطرح در حوزه مدیریت سوخت داخل قلب نگریسته می شود. هدف از مدیریت سوخت داخل قلب، بررسی و انجام محاسبات مصرف سوخت و بدست آوردن چینش بهینه مجتمع های سوخت در اولین سوخت گذاری و سوخت گذاریهای بعدی در راکتور است. به طوریکه انرژی مورد نظر با لحاظ نمودن محدودیت های ایمنی و اقتصادی توسط راکتور تامین گردد .در روشهای مختلف محاسباتی مدیریت سوخت، تغییرات مشخصات و پارامترهای مهم راکتور در طول دوره کارکرد از ابتدای دوره (BOC) تا انتهای آن (EOC) محاسبه گشته و بر اساس آن ترکیب سوخت گذاریهای بعدی بدست می آید. در این پایان نامه برنامه ای به زبان Fortran-۹۰ نوشته شد تا به کمک روش بهینه سازی گروه ذرات (PSO)که یک روش نوین جهت بهینه سازی است، آرایش بهینه چیدمان سوخت با در نظر گرفتن تابع هدف که در این پایان نامه هموار کردن توزیع توان انتخاب شد، بدست آید. نتایج حاصل در قیاس با نتایج طراح با توجه به تابع هدف انتخابی تطابق خوبی دارد و از نظر تخت نمودن توزیع توان نتایج بدست آمده از برنامه دارای مزیت می باشد. در فصل اول سعی شد کلیاتی در مورد مدیریت سوخت و کارهای انجام شده در این زمینه و چند روش بهینه سازی متداول و امروزی معرفی گردد. در فصل دوم مشخصات راکتور WWER۱۰۰۰(که مورد مطالعه در اینجا بوده است) مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم در مورد انواع روشهای مدیریت سوخت و محاسبات مربوطه آمده است، در فصل چهارم و پنجم روش بکار رفته برای بهینه سازی و نتایج آن برای راکتور بوشهر آمده است. در بخش نهایی و پیوست این پایان نامه در مورد انواع راکتورهای هسته ای و برخی مزایا و معایب آنها شرح داده شده است.

فصل اول

مدیریت سوخت

راکتورهای هسته ای

۱

۱) مدیریت سوخت راکتورهای هسته ای

۱-۱) مقدمه

یکی از مهمترین مسائل در مورد مدیریت سوخت داخل قلب راکتورهای هسته ای پیدا کردن بهترین آرایش جهت سوخت گذاری در ابتدای هر سیکل است. البته باید به این نکته اشاره کرد که این زمینه تحقیق بیشتر در راکتورهای قدرت مورد توجه قرار می گیرد، علت آن هم بخاطر اهمیت مسائل اقتصادی در مورد راکتورهای قدرت است. هدف از هر برنامه مدیریت سوخت داخل قلب در راکتورهای قدرت ارائه یک روش سوخت گذاری است که در نتیجه آن ضمن رعایت مسائل ایمنی هزینه ها کاهش یافته و توزیع دانسیته قدرت مناسب بدست آید. بدست آوردن الگوی آرایش گذاری مناسب برای قلب راکتور یک مساله بهینه سازی ترکیبی[۱] و گسسته [۲] است، چراکه تعداد محدودیتها و اهداف بسیار زیاد است.اهدافی همچون ضریب پیک شعاعی[۳] ، طول سیکل، ضرایب راکتیویته، مساله Burn Up و ... . هر کدام از این پارامترها در کارکرد راکتور و در نهایت هزینه ها اثر دارد و بدلیل اینکه بطور طبیعی هر ۱۲ ماه این سوخت گذاری تکرار می شود ((به دو دلیل سوخت راکتور خیلی قبل از اینکه، کل مواد شکافت پذیر و قابل تبدیل به شکافت پذیر مصرف شوند باید از راکتور خارج شود. اول اینکه تولید بعضی از محصولات شکافت و ایزوتوپ های سنگین که مانند سموم نوترونی عمل می کنند و تهی شدن ایزوتوپ های شکافت پذیر (به عنوان مثال $U^{۲۳۵}$) می تواند راکتیویته را آنچنان کاهش دهد که نیازهای عملی راکتور را به مدت طولانی برآورده نکند. دوم هم اینکه، سوخت راکتور ممکن است با پرتو دهی مداوم خراب شود و می بایست با سوخت جدید جایگزین شود))، اهمیت و تقاضا برای بررسی این مساله را بیشتر مشخص می کند .

---

[۱] Combinatorial

[۲] Discrete

[۳] Power Peaking Factor

بطور کلی هدف از مطالعه مدیریت سوخت داخل قلب عبارتست از تعیین یک استراتژی کلی برای سوخت گذاری و برداشت آن و بهره برداری از سوخت داخل قلب به نحوی که قلب مورد نظر بتواند انرژی مورد نیاز با در نظر گرفتن مسائل ایمنی تامین نماید. در این پروژه سعی شد تا با یک روش جدید جهت بهینه سازی، بهترین آرایش جهت هموار کردن سطح توان در ابتدای سیکل اول(BOC) راکتور بوشهر بدست بیاید. نتایج حاصل درمقایسه با نتایج طراح با توجه به تابع هدف انتخابی تطابق خوبی دارد و از نظر تخت نمودن توزیع توان نتایج بدست آمده از برنامه دارای مزیت می باشد .

۱-۲)روشهای متداول و ابتکاری[۱] بهینه سازی

از منظر طراحی راکتورهای هسته ای یکی از مسائل مهم، بحث مدیریت سوخت است. مدیریت سوخت اصطلاحی است که به بهره برداری بهینه از سوخت از منظر اقتصادی و فنی مربوط می شود و منظور از آن بدست آوردن چینش بهینه مجتمع سوخت در قلب راکتور است [۲]. از آنجا که بدست آوردن آرایش بهینه مذکور یک مسئله پیچیده و ترکیبی[۲] است (بخاطر تعداد زیاد حالات ممکن و نیز پارامترهایی که باید در حل مسئله در نظر گرفته شود) روشهای مختلفی ارائه شده است، جدول (۱-۱) روشهای مختلف مورد استفاده و پارامتری که در آن روش بهینه شده است و به عنوان تابع هدف استفاده شده است را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود تنوع روش ها نسبتاً زیاد است ولی در واقع هدف همه آنها صرف نظر از روش بکار رفته کاهش ابعاد مسئله و افزایش سرعت حل مسئله است.

---

[۱] Heuristic

[۲] Combinatorial

جدول (۱-۱): برخی از روشهای بهینه سازی بکار رفته برای مدیریت سوخت قلب راکتورهای هسته ای

نویسنده	تابع هدف	روش
Rieck Chitkara, Weisman	حداقل کردن هزینه سوخت مورد نیاز	Direct search algorithm
Ho, Sesonske	حداکثر کردن راکتیویته قلب	Direct search algorithm
Naft , Sesonske	حداقل کردن ضریب قله توان	Direct search algorithm
Kim, Downar, Sesonske	حداکثر کردن میزان مصرف سوخت	Linear programming + Direct search algorithm
Mingle	حداقل کردن هزینه سوخت	Linear Programming + Perturbation Theory
Motada, Herezeg, Sesonske	حداقل کردن هزینه سوخت	Linear Programming+ Direct search algorithm
Sauar, Suzuki and Kiyose	حداقل کردن هزینه سوخت	Linear Programming
Stillman, Chao, Downar	حداکثر کردن راکتیویته قلب	Linear Programming
Motada and Yokomizo	حداقل کردن هزینه سوخت مورد نیاز	Linear Programming+ Direct search algorithm
Fagan and Sesonske	حداقل کردن هزینه سوخت مورد نیاز	Dynamic Programming
Izenson	حداقل کردن ضریب قله توان	Dynamic Programming
Stout and Robin	حداقل کردن ضریب قله توان	Dynamic Programming
Wall and Fenech	حداقل کردن ضریب قله توان	Dynamic Programming
Goertzel , Golschmidt	حداقل کردن هزینه سوخت مورد نیاز	Optimal Control Theory (OCT)
Ho, Rohach	حداقل کردن ضریب قله توان	Perturbation Theory
Turinsky, Hobson	حداقل کردن هزینه سوخت و حداکثرکردن راکتیویته قلب	Perturbation Theory+ Monte Carlo Integer Programming
White	حداکثر کردن راکتیویته قلب	Perturbation Theory
Ahn and Levine	حداکثر کردن میزان مصرف سوخت	Optimal Control Theory (OCT)
Colleti, Levine, Lewz, Melice	حداکثر کردن راکتیویته قلب	Optimal Control Theory (OCT)
Chang and Levine, Terney and William son	حداقل کردن ضریب قله توان	Optimal Control Theory (OCT)
Huang, Levine, Crechanowiecz Suzuki, Kriyose	حداکثر کردن میزان مصرف سوخت	Optimal Control Theory (OCT)
Hoshino	حداکثر کردن میزان مصرف سوخت	Heuristic Search
Story, Grown	حداکثر کردن میزان مصرف سوخت	Heuristic Search
Kropaczek, Turinsky	حداکثر کردن راکتیویته قلب و حداقل کردن قله توان	Simulated Annealing + Perturbation Theory
Loon, Parks	حداقل کردن ضریب قله توان	Genetic Algorithm
Suh and Levine	حداکثر کردن راکتیویته قلب	Linear Programming + Haling Method

در سالهای اخیر روشهایی نظیر الگوریتم ژنتیک ([۲۲] و [۲۱])، شبکه عصبی (که کار انجام شده در[۱] به این روش و برای طرح قدیم راکتور بوشهر است) و هوش مصنوعی برای حل این مسئله

بکار گرفته شده است. در این پایان نامه از روش بهینه سازی گروه ذرات و یا همان PSO[1] استفاده شده است که در فصل پنجم این روش توضیح داده شده است.این یک روش جدیدتر نسبت به دو روش قبلی است و مزیت اصلی آن دقت کافی و نیز قابلیت فرار از مینیمم های محلی (توسط تنظیم پارامترهای درون آن) و سرعت بیشتر آن نسبت به دو روش دیگر (الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی) است در این پایان نامه پیدا کردن چینش بهینه اولین سوخت گذاری برای راکتور WWER۱۰۰۰ بوشهر مورد بررسی قرار گرفته است، ولی روش مذکور قابلیت پیاده سازی برای انواع راکتورهای آب سبک طرح غربی (PWR) را نیز دارا می باشد. برخی از روشهای متداول، غیر کلاسیک، نسبتاً جدید و مهم بکار رفته، در زیر بطور مختصر توضیح داده می شود، این روشها به تفصیل بیشتر در مراجع ذکر شده آمده است و اینجا قصد معرفی کامل این روشها (به غیر از روش مورد استفاده در این پروژه) را نداریم، بیشتر هدف معرفی اجمالی و بیان مزایا و معایب اصلی این روشها است .

۱-۲-۱) الگوریتم ژنتیک

الگوریتم های ژنتیک با توجه به نظریه داروین در مورد تکامل، شکل گرفتند. سپس نظریه محاسبات تکاملی، توسط ریچنبرگ در سال ۱۹۶۰ معرفی شد و این نظریه توسط محققان دیگر توسعه یافت تا در سال ۱۹۷۵ منجر به اختراع الگوریتم های ژنتیک توسط هالاند Holland و دانشجویانش شد. ابداع الگوریتم ژنتیک به عنوان الگوریتم بهینه سازی، بر مبنای یک تئوری ریاضی پایه گذاری نشده است بلکه بر اساس شبیه سازی تکامل طبیعی بوده است. الگوریتمهای تکاملی عبارتند از علم روشهای محاسباتی که مشابه با اصول تکامل در طبیعت هستند و در واقع محاسباتی که الهام گرفته از محیط زیست هستند. چهار شاخصه اصلی دریک پروسه تکامل عبارتند از:

[1] Particle Swarm Optimization

- تولید مثل[1]
- وراثت[2]
- تغییر[3]
- انتخاب[4]

در الگوریتم های تکاملی، یک یا چند جمعیت از افراد در معرض یک پروسه تکاملی شبیه سازی شده قرار می گیرند. وقتی برای حل یک مساله از الگوریتم های تکاملی استفاده می شود، هرکدام از این افراد به عنوان یک پاسخ بالقوه برای مساله هستند.

یک قالب اساسی برای الگوریتم محاسبات تکاملی به صورت زیر می باشد:

- تولید تصادفی یک جمعیت اولیه
- شروع حلقه تکرار تا رسیدن به معیار متوقف کننده خاص
- انتخاب تعدادی از افراد به عنوان والدین(بر اساس شایستگی)
- تولید فرزندانی مشابه با والدین اما متفاوت از آنها
- انتخاب افرادی که باید از دور رقابت حذف گردند(بر اساس شایستگی)
- پایان حلقه
- بازگشت به مساله

الگوریتمهای مختلف تکاملی در موارد زیر با هم اختلاف دارند:

- مکانیزمهای متفاوت تولید نسل
- روشهای گزینش والدین
- روشهای گزینش بقاء

---

[1]. Reproduction
[2]. Inheritance
[3]. Variation
[4]. Selection

- اندازه جمعیت

شایستگی افراد معمولاً با توجه به مساله تعیین می گردد. متداول ترین کاربرد الگوریتمهای تکاملی در مسائل بهینه سازی است. یک تابع با چندین پارامتر داده می شود و هدف پیدا کردن پارامترهایی است که تابع هدف[1] را بهینه می کند. از مهمترین انواع الگوریتم های تکاملی، الگوریتم های ژنتیک هستند. تحقیقات آکادمیک در رابطه با الگوریتم های ژنتیک در طی ۳۰ سال اخیر رشد زیادی داشته اند .

۱-۲-۱-۱)ساختارکلی الگوریتم های ژنتیک

الگوریتمهای ژنتیک روشهای جستجوی غیرتحلیلی، تصادفی و قدرتمندی هستند که از تکامل بیولوژیکی طبیعی تقلید می کنند. آنها روی جمعیتی که حاوی عوامل بالقوه از راه حلهای مساله اند با بکار گیری اصل " بقای شایسته ترها " برای تولید راه حل هر چه دقیقتر برای مساله کوشش می کنند. در هر تولید نسل، یک مجموعه جدید از تقریب های مساله توسط پروسه انتخاب افراد با توجه به سطح شایستگی آنها در مساله و همچنین تولید مثل بوسیله اپراتورهایی که از اصول ژنتیک طبیعت به عاریه گرفته شده است تولید می شود. این پروسه منجر به تکامل اجتماع افرادی که بهترین شایستگی را در محیط اطراف خود نسبت به والدینی که از آنها متولد شده اند می شود.

تمامی الگوریتم های ژنتیک با استفاده از جهش[2] و باز ترکیب به تولید مثل پرداخته که در آن فرزندان (به هر یک از فرزندان در این روش کروموزوم می گویند)خصوصیاتی را که تغییرات جزئی دارد از والدین به ارث می برند. تمامی الگوریتم ها اشکال مختلفی از گزینش را استفاده می کنند تا تعیین گردد که چه فردی شایستگی تولید مثل را دارد و چه کسی این اجازه را ندارد. در ابتدای

[1] Objective function
[2] Mutation

محاسبات تعدادی از افراد از جمعیت بطورتصادفی برای آغاز کار انتخاب می شوند. سپس مقدار تابع هدف برای این افراد ارزیابی می گردد. در اینجا اولین تولید نسل انجام می گردد. افراد برای تولید فرزندان با توجه به شایستگی شان انتخاب می شوند. والدین برای تولید فرزند بازترکیب می شوند. تمامی نوزادان توسط احتمال خاصی جهش پیدا می کنند. سپس شایستگی نوزادان محاسبه می شود. این نوزادان در جمعیت اولیه جایگزین والدین می شوند تا تولید مثل جدیدی شروع کنند. این سیکل تا جایی انجام می شود که به معیارهای بهینه بودن برسیم. از توصیف فوق می توان دید که الگوریتمهای ژنتیک از روش های جستجوی عادی اساساً متفاوت هستند.

به طور خلاصه مراحل قدم به قدم الگوریتم ژنتیک در زیر آمده است :

۱. شروع الگوریتم با یک جمعیت متشکل از n فرد (به طور تصادفی) که هر کدام کروموزومی به طول l دارند.
۲. محاسبه مقدار برازندگی[۱] برای هر فرد
۳. انتخاب دو فرد بر اساس بالاتر بودن مقدار برازندگی (انتخاب والدین)
۴. اعمال crossover و تولد بچه ها از والدین (عملگرهایی که یک یا چند نقطه از دو یا چند جواب را انتخاب و مقادیر آنها را تعویض می‌کنند. این عملگرها، یک جواب را در نظر گرفته و محل‌هایی از جواب را با جواب‌های دیگر معاوضه کرده و جواب‌های جدید را به وجود می‌آورند. به این نوع عملگرها، عملگر برشی گفته می‌شود)
۵. اعمال mutation با احتمال p برای هر بیت (عملگرهایی که یک یا چند ژن از یک کروموزوم را انتخاب و مقادیر آنها را تغییر می‌دهند.)
۶. قرار دادن بچه های متولد شده داخل یک مجموعه به عنوان نسل جدید

[۱] Fitness

۷. تغییر دادن جمعیت اولیه همراه ورود نسل جدید (New Generation)

۸. رفتن به گام دوم

۱-۲-۲) روش سرد کردن تدریجی

یک روش اکتشافی بر اساس احتمالات در مسایل بهینه سازی در فضای جستجوی بسیار بزرگ است که توسط Kirkpatrick، Glatt و Vecchi در سال ۱۹۸۳ مطرح شد. ایده اصلی آن از فرآیند Annealing در مهندسی مواد (متالوژی)حاصل شده است، که به معنی گداختن و سردکردن کنترل شده مواد، برای افزایش اندازه کریستالهای تشکیل دهنده وکاهش شکنندگی آنان است. هدف ما شروع از یک وضعیت کاملاً دلخواه اولیه و رسیدن به حالت حداقل انرژی درونی است.

روش سرد کردن تدریجی[1] یکی از روشهای بهینه سازی مفید در زمینه مدیریت سوخت است چراکه قابلیت فرار از مینیمم های محلی را دارد و کدهای مدیریت سوخت موجود در بازار اروپا از این روش بهره می گیرند. همانطور که گفته شد از این روش در [۱] استفاده شده است و نتایج خوبی نیز بدست آمده است. در واقع یکی از مشکلات شبکه عصبی گیر افتادن در مینیمم های محلی است که برای بیرون آمدن از این مینیمم ها یکی از روشها، روش سرد کردن تدریجی است. [۱] و[۵]

در یک درجه حرارت مشخص T چنانچه وضعیت با بردار $\{r_i\}$ نشان داده شود، برای این وضعیت یک مقدار انرژی نسبت داده می شود $E\{r_i\}$ و با فاکتور احتمالی بولتزمان وزن می گردد .

$$P(E)=\exp(-E\{r_i\}/K_BT)$$

روش metropolis در مکانیک آماری به عنوان روش سرد کردن تدریجی در حل مسائل بهینه سازی بکار برده می شود .در این روش قدمهای افزایش انرژی بصورت کنترل شده ای پذیرفته می شود تا جواب مناسبتری برای مسئله بدست آید .در این روش در هر قدم یک جابجایی تصادفی کوچک به اتم اعمال می شود .بر اثر این جابجایی مقدار انرژی سیستم به اندازه ΔE تغییر پیدا می کند .در این

[1] Simulated Annealing

صورت اگر $\Delta E \leq 0$ آنگاه جابجایی مورد قبول قرار می گیرد و موقعیت (وضعیت) جدید جایگزین وضعیت قبلی می شود .ولی اگر $\Delta E > 0$ باشد تغییر حالت بصورت آماری مورد بررسی قرار می گیرد بدین صورت که احتمال اینکه این تغییر حالت مورد پذیرش قرارگیرد از رابطه زیر بدست می آید .

$$P\Delta(E) = \exp(-\Delta E/K_B T)$$

سپس یک عدد تصادفی بین صفر و یک تولید می شود و اگر احتمال حساب شده از رابطه اخیر بزرگتر از عدد تصادفی بود آنگاه تغییر حالت صورت گرفته و وضعیت جدید جایگزین وضعیت قبلی می شود .در این روش برای کاهش حرارت از رابطه روبرو استفاده می شود .

$$T(new) = \alpha T(old)$$

به α ضریب سرد کردن[1] گویند و معمولاً به گونه ای انتخاب می شود تا تحولات سیستم به صورت پیوسته از بالاترین دما به کمترین دما انجام گیرد . [۶] و [۷]

۱-۲-۳)بهینه سازی بر اساس مهاجرت مورچه ها

اولین بار الگوریتم ACO[2] توسط Dorigo در اوایل ۱۹۹۰ میلادی پیشنهاد شد . این روش از نحوه رفتار مورچه های واقعی برای جستجو و یافتن غذا الهام گرفته شده است .اینکه بدانیم مورچه ها که تقریباً کور هستند و دارای قابلیتهای فردی ساده و کمی هستند چطور در یک کلونی فعالیت و ادامه حیات دارند، جالب توجه است. [۳۰] و [۳۱]

آزمایش Goss

در بین لانه و غذا دو پل با طول غیر یکسان قرار دارد و هر مورچه می تواند فقط در یک جهت حرکت کند (از سمت لانه بسوی غذا یا بر عکس) وپس از رسیدن به غذا به لانه برگردد .مشاهده می شود که بعد از یک فاز گذرا که حدود چند دقیقه طول می کشد اکثر مورچه ها کوتاهترین پل را

[1] Annealing Coefficient
[2] Ant Colony Optimization

انتخاب می کنند. از طرف دیگر با افزایش اختلاف دو مسیر احتمال انتخاب مسیر کوتاهتر توسط مورچه ها افزایش می یابد .این رفتار انتخاب کوتاهترین مسیر بر اساس یک فرم ارتباط غیر مستقیم از طریق تاثیر در محیط به نام stigmergy معروف است. در حقیقت وقتی مورچه ها حرکت می کنند یک ماده شیمیایی به نام Pheromone بر زمین می ریزند و هنگامیکه به یک نقطه تصمیم مثل محل تلاقی دو پل می رسند، انتخاب تصادفی مسیر بر اساس مقدار فرومون ای که بو می کشند انجام می دهند. (هر چند مورچه ها کور هستند ولی تا حدی جهت را تشخیص می دهند، اگر یک مورچه هر دو مسیر کوتاه و بلند را طی کرده باشد در دفعات بعد در جهت مسیر کوتاهتر حرکت می کند و موجب هدایت سایرین می شود.) [۳۰]

در واقع نکته حائز اهمیت این است که مورچه موجود هوشمندی نیست و همچنین هر مورچه به تنهایی قادر نیست تا یک راه حل را پیدا کند بلکه راه حل نیاز به تعامل بین مورچه ها از طریق محیط دارد. شکل (۱-۱) پدیده شرح داده شده را نشان می دهد، بدین ترتیب که در شکل سمت چپ مورچه ها در حال حرکت مستقیم از لانه (E) به سمت منبع غذای موجود در (A) هستند. حال اگر یک مانع در این مسیر قرار گیرد (شکل وسط) مسیر بریده می شود، ولی سریعاً مورچه ها قادر هستند مسیر کوتاهتر را پیدا کنند. در واقع پروسه طی شده بدین صورت است که در شکل سمت چپ که مسیر بین لانه و غذا بدون هیچ مانعی است، مورچه هایی که غذا را پیدا کرده اند در ابتدا بطور تصادفی مسیر برگشت به خانه را طی می کنند. با فرض این که همه مورچه ها با یک سرعت متوسط یکسان حرکت می کنند، درکوتاهترین مسیر مورچه های بیشتری بطور متوسط دیده می شوند. بنابراین در کوتاهترین مسیر مقدار فرومون نسبت به سایر مسیرها سریعتر انباشته می شود. بعد از یک دوره گذرای کوتاه تفاوت مقدار فرومون در این مسیر و سایر مسیرها بیشتر می شود و مورچه های جدیدی که وارد سیستم می شوند ترجیحاً مسیر کوتاهتر که یک مسیر مستقیم است را طی می کنند. با قرار دادن مانع در مسیر ساخته شده مسیر فرومون بسته و قطع می شود و مورچه هایی که