

آشنایی با الگوریتم های حل مسائل موازنه زمان - هزینه

دکتر سید کاظم
سازمان برنامه ریزی
و مدیریت



انتشارات آریان قلم

چکیده

در پروژه‌های ساخت تعداد زیاد فعالیت‌ها و گزینه‌های انتخابی برای اجرا هر فعالیت، انتخاب بهترین گزینه برای انجام هر کدام لاز فعالیت‌های تشکیل دهنده پروژه را امری بسیار مهم می‌نمایاند به نحوی که هزینه و زمان پایانی پروژه دارای کم‌ترین مقدار، ممکن باشد.

بنابراین تکمیل پروژه با حداقل زمان و همچنین حداقل هزینه یک عامل مهم برای برنامه زمان‌بندی پروژه می‌باشد. از آنجا که سرعت تکمیل با هزینه همبستگی دارد رابطه میان زمان و هزینه موازنه است. با توجه به لزوم حل مسأله موازنه زمان-هزینه (TCTP) در طول دوره عمر پروژه آشنایی با روش‌های موجود (ریاضی، کاوشی و فراکاوشی) برای حل مسأله، گام اول جهت ایجاد یک رویه سیستماتیک برای تخصیص منابع در پروژه‌های ساخت است.

در این کتاب ضمن بررسی روش‌های موجود جهت حل مسأله موازنه زمان-هزینه، به بررسی تطبیقی روش‌های مختلف و نیز رویکرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراکاوشی (الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم مورچه‌ها (ACO) و الگوریتم جستجوی هارمونی (HS)) در حل مسأله موازنه زمان-هزینه پرداخته شده است. بدین منظور مسأله موازنه زمان و هزینه ارائه شده توسط فنگ و دیگران (۱۹۹۱)، حجازی (۱۹۹۹) و زنگ و دیگران (۲۰۰۵)، در برنامه زمان‌بندی پروژه توسط الگوریتم‌های NS-GA, AS-MAWA, GA-MAWA, NS-GA, NSGA-II و NA-ACO، ضمن بررسی ۱۸ ساله‌های ۱۸ فعالیت به مدل جستجوی هارمونی، با الگوریتم HS مقایسه شده است.

نتایج حاصل بیانگر این مطلب است که جواب‌های حاصل از الگوریتم‌های NA-ACO و NSGA-II، بهتر (با اختلاف کم) و در برخی موارد مشابه مجموعه جواب‌های پارتو ارائه شده توسط الگوریتم HS می‌باشد و جواب‌های حاصل از الگوریتم AS-MAWA تنها در موارد محدودی بهتر از مجموعه جواب‌های پارتو ارائه شده توسط الگوریتم HS می‌باشد. بنابراین الگوریتم‌های NA-ACO و NSGA-II، در مقایسه با دیگر روش‌های فراکاوشی و قطعی می‌تواند بهترین راه حل را بیابد و الگوریتم‌های جستجوی قدرتمند برای مسائل بهینه‌سازی مهندسی مختلف می‌باشند.

فهرست مطالب

چکیده..... ۵

فصل اول کلیات..... ۱۹

۱-۱- مقدمه..... ۲۱

۲-۱- تعریف مسئله اساسی..... ۲۱

۳-۱- اهمیت و ضرورت..... ۲۲

۴-۱- اهداف..... ۲۳

۵-۱- سؤالات..... ۲۴

۶-۱- تعریف واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی..... ۲۴

۷-۱- روش کار..... ۲۵

۸-۱- ساختار کتاب..... ۲۶

فصل دوم: مسائل بهینه‌سازی چندهدفه و روش‌های حل مسأله موازنه زمان - هزینه..... ۲۷

۱-۲- مقدمه..... ۲۹

۲-۲- بهینه‌سازی توابع چندهدفه..... ۲۹

۳-۲- روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه..... ۳۰

۱-۳-۲- روش‌های سنتی بهینه‌سازی چندهدفه..... ۳۱

۱-۱-۳-۲- روش‌های بدون اولویت اطلاعات اولیه (جستجوی صرف)..... ۳۱

۲-۱-۳-۲- روش‌های با اولویت اطلاعات اولیه (انتخاب قبل از جستجو)..... ۳۲

۳-۱-۳-۲- روش‌های با اولویت اطلاعات ثانویه (هم‌زمانی جستجو و انتخاب)..... ۳۲

۴-۱-۳-۲- روش‌های تعاملی..... ۳۳

۵-۱-۳-۲- اشکالات روش‌های سنتی..... ۳۴

۲-۲-۳-۲- روش‌های تکاملی بهینه‌سازی چندهدفه..... ۳۴

MOGA - ۱-۲-۳-۲..... ۳۸

NPGA - ۲-۲-۳-۲..... ۳۹

NSGA - ۳-۲-۳-۲..... ۳۹

SPEA - ۴-۲-۳-۲..... ۴۰

PASE - ۵-۲-۳-۲..... ۴۱

- ۴۱ MicroGA -۶-۲-۳-۲
- ۴۲ E-MOEA -۷-۲-۳-۲ الگوریتم
- ۴۲ ۴-۲- اهداف بهینه‌سازی چندهدفه
- ۴۳ ۵-۲- انواع روش‌های به‌کار گرفته شده در موازنه زمان-هزینه پروژه
- ۴۴ ۱-۵-۲- مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی
- ۴۴ ۱-۱-۵-۲- مدل کردن مسأله موازنه زمان-هزینه با برنامه‌ریزی خطی (LP)
- ۴۵ ۱-۱-۱-۵-۲- مدل خطی
- ۴۶ ۲-۱-۱-۵-۲- بهینه‌سازی
- ۴۷ ۲-۱-۱-۵-۲- مدل کردن مسأله موازنه زمان-هزینه با برنامه‌ریزی با عدد صحیح (IP)
- ۴۷ ۱-۲-۱-۵-۲- مدل عدد صحیح
- ۴۸ ۲-۱-۱-۵-۲- بهینه‌سازی
- ۴۹ ۱-۵-۲- فرضیه اصلی روش‌های متداول ریاضی حل مسأله موازنه زمان-هزینه
- ۵۱ ۲-۵-۲- روش‌های هیوریستیک (کاوشی)
- ۵۱ ۱-۲-۵-۲- روش‌های هیوریستیک (SAM)
- ۵۲ ۲-۲-۵-۲- روش‌های هیوریستیک مصلحی
- ۵۳ ۳-۵-۲- روش‌های متاهوریستیک (درویشی)
- ۵۵ ۱-۳-۵-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)
- ۵۶ ۲-۳-۵-۲- آنیل شبیه‌سازی شده (SA)
- ۵۶ ۳-۳-۵-۲- جستجوی ممنوع (TS)
- ۵۷ ۴-۳-۵-۲- بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)
- ۵۸ ۵-۳-۵-۲- بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبور عسل (BO)
- ۵۸ ۶-۳-۵-۲- الگوریتم‌های ژنتیک (GA)
- ۵۹ ۱-۶-۳-۵-۲- الگوریتم ژنتیک
- ۶۲ ۷-۳-۵-۲- الگوریتم جامعه مورچه‌ها (ACO)
- ۶۳ ۱-۷-۳-۵-۲- بهینه‌سازی مسائل به‌روشن جامعه مورچه (CO)
- ۶۴ ۲-۷-۳-۵-۲- مورچه‌ها چگونه می‌توانند کوتاه‌ترین مسیر را پیدا کنند
- ۶۵ ۸-۳-۵-۲- الگوریتم جستجوی هارمونی (HS)
- ۶۶ ۶-۲- جمع‌بندی
- ۶۹ فصل سوم: الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی هارمونی (HS)
- ۷۱ ۱-۲- مقدمه
- ۷۱ ۲-۲- انگیزه برای اعمال بهینه‌سازی

۷۳	۳-۳- الگوریتم جستجوی هارمونی
۷۴	۳-۴- مروری بر ادبیات موضوع، کاربردها و پیشرفت‌های الگوریتم جستجوی هارمونی
۷۴	۲-۴-۱- ادبیات موضوع
۷۴	۳-۴-۱-۱- رشد در ادبیات
۷۴	۳-۴-۱-۲ نکات برجسته تاریخی
۷۹	۳-۴-۱-۳- نواحی فعالیت
۸۰	۲-۴-۲- کاربردهای HS با توجه به دامنه موضوعی در حل مسائل مختلف بهینه‌سازی
۸۰	۳-۴-۱-۱- کاربردهای مربوط به آب
۸۱	۳-۴-۱-۲ طراحی سازدای
۸۳	۳-۴-۲ تحلیل مقاومت خاک
۸۳	۳-۴-۲-۱- چینش
۸۳	۳-۴-۲-۱-۱- نمونه کردن مسأله برای جداول سودو کو
۸۵	۳-۴-۲-۲-۱- مثال: یک جدول
۸۴	۳-۴-۲-۵- ساخت قطعه موسیقی
۸۴	۳-۴-۲-۱-۵- فرموله کردن مسأله ساخت موسیقی قرون وسطی
۸۷	۳-۴-۲-۵-۲- مثالی از تصنیف
۸۸	۳-۴-۲-۶- مسأله جهت‌یابی عمومی
۸۹	۳-۴-۲-۱-۶- فرموله کردن مسأله
۸۹	۳-۴-۲-۶-۲- مثالی از توری به چین شرقی
۹۰	۳-۴-۲-۷- مسأله مسیریابی وسیله نقلیه
۹۳	۳-۴-۲-۸- مسیریابی چندگانه بر پایه QOS
۹۳	۳-۴-۲-۱-۸- فرموله کردن مسأله مسیریابی چندگانه بر پایه QOS
۹۷	۳-۴-۲-۸-۲- کاربرد در شبکه‌های ارزیابی مقایسه‌ای واقعی
۹۹	۳-۴-۲-۹- خوشه‌بندی مستندات
۱۰۰	۳-۴-۲-۱۰- کاربردهای فناوری اطلاعات
۱۰۰	۳-۴-۲-۱۱- کاربردهای گرما و انرژی
۱۰۰	۳-۴-۲-۱۲- مطالعات پزشکی
۱۰۰	۳-۴-۲-۱۳- کاربردهای دیگر
۱۰۰	۲-۴-۲- توسعه‌هایی در روش HS
۱۰۵	۲-۴-۳-۱- طبقه‌بندی تعدیل‌هایی بر روی HS اصلی
۱۰۶	۲-۴-۳-۲- بررسی الگوریتم‌های بهبود یافته
۱۱۲	۲-۴-۳-۳- تحلیل‌های تئوریک (نظری) الگوریتم HS اصلی

- ۱۱۲ ۳-۴-۴- پارامترهای موثر در الگوریتم جستجوی هارمونی
- ۱۱۳ ۳-۴-۵- ویژگی‌های الگوریتم جستجوی هارمونی و مقایسه
- ۱۱۵ ۳-۴-۶- الگوریتم جستجوی هارمونی پیشرفته (IHS) برای حل مسائل بهینه‌سازی
- ۱۱۸ ۳-۴-۶-۱- مثال‌ها
- ۱۱۸ ۳-۴-۶-۱- تابع محدود شده I: به حداقل رساندن وزن فنر
- ۱۲۰ ۳-۴-۶-۲- تابع محدود شده II: طراحی مخزن فشار
- ۱۲۲ ۳-۴-۶-۳- تابع محدود شده III: طراحی تیر جوش شده
- ۱۲۴ ۳-۴-۶-۴- تابع محدود شده IV: ناحیه امکان‌پذیر (شدنی) گسسته
- ۱۲۵ ۳-۴-۶-۵- تابع محدود شده V
- ۱۲۷ ۳-۴-۶-۶- تابع محدود نشده I
- ۱۲۸ ۳-۴-۷- تابع محدود نشده II
- ۱۲۹ ۳-۵- جمع‌بندی
- فصل چهارم: کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه فراکاوشی در حل مسأله موازنه
- ۱۳۱ زمان - هزینه
- ۱۳۳ ۴-۱- مقدمه
- ۱۳۳ ۴-۲- نمونه‌ای از کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مسأله موازنه زمان - هزینه
- ۱۳۳ ۴-۲-۱- کلیات
- ۱۳۴ ۴-۲-۲- شرح روش
- ۱۳۹ ۴-۳- نمونه‌ای از کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مسأله موازنه زمان - هزینه
- ۱۳۹ ۴-۳-۱- کلیات
- ۱۴۰ ۴-۳-۲- شرح روش
- ۱۴۱ ۴-۳-۳- مسأله نمونه
- ۱۴۵ ۴-۳-۴- مقایسه با روش کنکاشی
- ۱۴۵ ۴-۴- روش وزن‌دهی تطبیقی اصلاح شده (MAWA) در بهینه‌سازی مسأله موازنه زمان - هزینه
- ۱۴۵ ۴-۴-۱- کلیات
- ۱۴۶ ۴-۴-۲- شرح روش
- ۱۴۹ ۴-۴-۳- مسأله نمونه
- ۱۵۰ ۴-۵- حل مدل MAWA - TCTP با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه‌ها (MAWA-TCTP) AS
- ۱۵۰ ۴-۵-۱- کلیات
- ۱۵۱ ۴-۵-۲- شرح روش
- ۱۵۵ ۴-۶- روش NS-GA در بهینه‌سازی موازنه زمان - هزینه

۱۵۵	۱-۶-۴ کلیات
۱۵۵	۲-۶-۴ شرح روش
۱۵۸	۷-۴ روش NSGA-II در بهینه‌سازی موازنه زمان - هزینه
۱۵۸	۱۷۴ کلیات
۱۵۹	۲۷۴ شرح روش
۱۶۱	۸-۴ الگوریتم پیشنهادی NA-ACO در بهینه‌سازی مسأله موازنه زمان - هزینه
۱۶۱	۱-۸-۴ کلیات
۱۶۲	۲-۸-۴ شرح روش
۱۶۳	۸-۴ مسأله نمونه ۱
۱۶۷	۴-۸-۴ مسأله نمونه ۲
۱۷۴	۵-۸-۴ مسأله نمونه ۳
۱۸۰	۹-۴ الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) در بهینه‌سازی مسأله موازنه زمان - هزینه
۱۸۰	۱-۹-۴ فرموله کردن مسأله
۱۸۱	۲-۹-۴ مدل جستجوی هارمونی
۱۸۵	۳-۹-۴ مسأله نمونه: شبکه ۱۸ فعلیه
۱۸۷	۱-۲-۹-۴ مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از تحقیق آقای گیم
۱۸۹	۲-۲-۹-۴ مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از تحقیق آقای حجازی (۱۹۹۹)
۱۸۹	۱-۲-۳-۹-۴ مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از تحقیق آقای حجازی (حالت اول)
۱۹۰	۲-۲-۳-۹-۴ مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از تحقیق آقای حجازی (حالت دوم)
۱۹۱	۳-۲-۳-۹-۴ مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از تحقیق آقای حجازی (حالت سوم)
۱۹۲	۳-۲-۹-۴ مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم HS با نتایج حاصل از الگوریتم‌های NA-ACO, NSGA-II, AS-MAWA
۱۹۲	۱-۲-۳-۹-۴ مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم‌های NSGA-II, AS-MAWA و NA-ACO (میزان هزینه غیرمستقیم = ۲۰۰ دلار در روز)
۱۹۵	۲-۳-۳-۹-۴ مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم‌های NSGA-II, AS-MAWA و NA-ACO (میزان هزینه غیرمستقیم = ۱۵۰۰ دلار در روز)
۲۰۲	۱۰-۴ جمع‌بندی

۲۰۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۲۰۵	۱-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری
۲۰۷	۲-۵- پیشنهادات
۲۰۹	فهرست منابع

www.ketab.ir

فهرست جداول

جدول ۱۰۲	معادل‌های سازه‌ای شبکه پروژه [۳۱]	۵۳
جدول ۱۰۳	جرا بهینه‌سازی صورت می‌گیرد؟ [۲۳]	۷۱
جدول ۱۰۳	نتایج شبیه‌سازی برای HS و GA بر مکان‌های واقعی [۲۸]	۹۸
جدول ۱۰۴	روش‌های HS ترکیبی [۲۳]	۱۰۸
جدول ۱۰۵	بررسی ابتکار الگوریتم برای الگوریتم‌های HS غیر ترکیبی بهبود یافته	۱۰۹
جدول ۱۰۶	پارامترهای انتخابی هارمونی پیشرفته برای مسائل آزمایش شده [۲۹]	۱۱۸
جدول ۱۰۷	نتایج بهینه برای بهینه‌سازی وزن فنر [۲۹]	۱۲۰
جدول ۱۰۸	نتایج بهینه برای مخزن فشار (با ۴ محدودیت نابرابر) [۲۹]	۱۲۱
جدول ۱۰۹	نتایج بهینه برای مخزن فشار (با ۶ محدودیت نابرابر) [۲۹]	۱۲۲
جدول ۱۱۰	نتایج بهینه برای طراحی تیر جوش شده (N/A موجود نیست) [۲۹]	۱۲۴
جدول ۱۱۱	مقایسه نتایج برای ناحیه امکان پذیر گسترده (N/A موجود نیست) [۲۹]	۱۲۵
جدول ۱۱۲	نتایج بهینه برای تابع محدود شده [۲۹]	۱۲۷
جدول ۱۱۳	گزینه‌ها برای مثال ۱۸ فعالیته [۱۲]	۱۳۶
جدول ۱۱۴	نتایج تحقیقات بر روی الگوریتم ژنتیک [۲۲]	۱۴۲
جدول ۱۱۵	نتایج حاصل از مدل MAWA با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA-MAWA) [۹]	۱۴۹
جدول ۱۱۶	نتایج حاصل از مدل MAWA با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مورچه‌ها AS-MAWA [۵]	۱۵۴
جدول ۱۱۷	نتایج حاصل از مدل NS-GA در تعداد تکرارهای ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ [۴]	۱۵۶
جدول ۱۱۸	نتایج حاصل از مدل NSGA-II در تعداد تکرارهای ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ [۴]	۱۶۰
جدول ۱۱۹	نتایج حاصل توسط الگوریتم پیشنهادی NA-ACO [۴]	۱۶۴
جدول ۱۲۰	نتایج حاصل از الگوریتم AS-MAWA [۴]	۱۶۸
جدول ۱۲۱	نتایج حاصل توسط الگوریتم NSGA-II [۴]	۱۶۹
جدول ۱۲۲	نتایج حاصل توسط الگوریتم NA-ACO [۴]	۱۷۱
جدول ۱۲۳	نتایج حاصل از الگوریتم AS-MAWA [۴]	۱۷۵
جدول ۱۲۴	رویه پارتو حاصل از الگوریتم NSGA-II [۴]	۱۷۶
جدول ۱۲۵	رویه پارتو حاصل از الگوریتم NA-ACO [۴]	۱۷۷
جدول ۱۲۶	مجموعه پارتو برای مثال ۱۸ فعالیته توسط HS [۱۹]	۱۸۶
جدول ۱۲۷	مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو برای مثال ۱۸ فعالیته توسط HS در تحقیق آفای گیم [۱۹]	۱۸۸
نتایج حاصل در این تحقیق		

- جدول ۴-۱۶- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, N SGA-II, NA-ACO و HS (میزان هزینه غیرمستقیم = ۲۰۰ دلار در روز) ۱۹۴
- جدول ۴-۱۷- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتوی حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, N SGA-II, NA-ACO و HS (میزان هزینه غیرمستقیم = ۱۵۰۰ دلار در روز) ۱۹۶
- جدول ۴-۱۸- شرح روش‌ها و کاربردهای انتخاب شده در موازنه زمان-هزینه پروژه ۱۹۷

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۱-۳	فلوجارت الگوریتم HS اصلی [۲۲]	۷۵
شکل ۲-۳	رشد قابل توجه در ادبیات HS تا نوامبر ۲۰۰۸ [۲۳]	۷۶
شکل ۳-۳	پس طرح توسعه‌ها و کاربردهای انتخاب شده الگوریتم HS تا نوامبر ۲۰۰۸ [۲۳]	۷۷
شکل ۴-۳	الکتیک تقریبی کاربرد های HS توسط نواحی موضوعی مربوط به نوامبر ۲۰۰۸ [۲۳]	۷۹
شکل ۵-۳	رشد قابل توجه در ادبیات HS توسط HS [۲۸]	۸۵
شکل ۶-۳	نتیجه ساختار شبکه الگوریتم HS [۱۸]	۸۸
شکل ۷-۳	نقشه ۲۷ بهر در صنعت ترقی چین [۳۶]	۹۰
شکل ۸-۳	طرح شماتیک شبکه اتوبوس مدرسه [۲۰]	۹۱
شکل ۹-۳	طرح شبکه ۱۵ [۲۰]	۹۶
شکل ۱۰-۳	راه حل ارائه شده توسط HS برای شبکه ۱۵ گره [۲۰]	۹۶
شکل ۱۱-۳	زمان اجرا الگوریتم‌های متفاوت شبکه‌های به‌طور تصادفی تولید شده [۲۸]	۹۹
شکل ۱۲-۳	کیفیت خوشه بندی تولید شده توسط الگوریتم‌های مختلف [۲۸]	۱۰۲
شکل ۱۳-۳	تغییرات PAR و α نسبت به تعداد تکرار [۲۹]	۱۱۶
شکل ۱۴-۳	فرایند بهینه‌سازی الگوریتم جستجوی هارمونی پیشرفته [۲۹]	۱۱۷
شکل ۱۵-۳	فتر فشاری/ کششی [۲۹]	۱۱۹
شکل ۱۶-۳	طرحی از مخزن فشار [۲۹]	۱۲۰
شکل ۱۷-۳	ساختار تیر جوش شده [۲۹]	۱۲۳
شکل ۱۸-۳	تابع محدود شده α [۲۹]	۱۲۶
شکل ۱۹-۳	تابع محدود نشده α [۲۹]	۱۲۷
شکل ۲۰-۳	تابع محدود نشده β [۲۹]	۱۲۸
شکل ۱-۴	شبکه فعالیت‌های مسئله نمونه [۱۲]	۱۳۸
شکل ۲-۴	جمعیت اولیه [۱۲]	۱۳۸
شکل ۳-۴	جمعیت نهایی [۱۲]	۱۳۸
شکل ۴-۴	منحنی موازنه بهینه [۱۳]	۱۳۹
شکل ۵-۴	نتایج خروجی‌های GA در تحقیق شماره ۱ [۲۲]	۱۴۳
شکل ۶-۴	نتایج خروجی‌های GA در تحقیق شماره ۲ [۲۲]	۱۴۴
شکل ۷-۴	مفهوم کلی روش وزن دهی تطبیقی [۲۱]	۱۴۶

شکل ۴-۲۵- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, NSGA-II و NA-ACO	در تعداد تکرار ۱۵۰	۱۷۳
شکل ۴-۲۶- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, NSGA-II و NA-ACO	در تعداد تکرار ۲۵۰ [۴]	۱۷۴
شکل ۴-۲۷- رویه پارتو حاصل از اجرا الگوریتم AS-MAWA		۱۷۸
شکل ۴-۲۸- رویه پارتو حاصل از اجرا الگوریتم NSGA-II		۱۷۸
شکل ۴-۲۹- رویه پارتو حاصل از اجرا الگوریتم NA-ACO [۴]		۱۷۹
شکل ۴-۳۰- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, NSGA-II و NA-ACO		۱۷۹
شکل ۴-۳۱- تجارت مدل HS- TCTIP [۱۹]		۱۸۴
شکل ۴-۳۲- مساحت حاصل بر روی شبکه ۱۸ فعالیته [۱۹]		۱۸۷
شکل ۴-۳۳- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو برای مثال ۱۸ فعالیته توسط HS در تحقیق آقای گیم [۱۹] با نتایج حاصل در این تحقیق		۱۸۷
شکل ۴-۳۴- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم HS با مشخصات موجود در تحقیق آقای حجازی (حالت اول)		۱۹۰
شکل ۴-۳۵- نتایج حاصل از الگوریتم HS با مشخصات موجود در تحقیق آقای حجازی (حالت دوم)		۱۹۱
شکل ۴-۳۶- نتایج حاصل از الگوریتم HS با مشخصات موجود در تحقیق آقای حجازی (حالت سوم)		۱۹۲
شکل ۴-۳۷- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, NSGA-II و NA-ACO	(میزان هزینه غیرمستقیم = ۵۰۰ دلار در روز)	۱۹۳
شکل ۴-۳۸- مقایسه مجموعه جواب‌های پارتو حاصل از الگوریتم‌های AS-MAWA, NSGA-II و NA-ACO	(میزان هزینه غیرمستقیم = ۵۰۰ دلار در روز)	۱۹۶