



دانشکده: فنی و مهندسی

رساله دکتری رشته: مهندسی صنایع گرایش: مهندسی صنایع

## عنوان رساله:

حل مسئله تعمیر کار سیار (رهرو) با یک / چند تعمیر کار

نام دانشجو:

امیر صالحی پور

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی سپهری

آذر ۱۳۹۰

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای امیر صالحی پور رساله ۲۰ واحدی خود را با عنوان حل مسئله تعمیر کار سیار ( رهرو) با يك / چند تعمیر کار در ابعاد بزرگ در تاریخ ۱۳۹۰/۹/۶ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی صنایع - مهندسی صنایع پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد مهدی سپهری	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر عیسی نخعی کمال آبادی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمد رضا امین ناصری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید حسام الدین دگردي	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید کمال چهارسوقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد مدرس یزدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر فریبرز جولای	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سید حسام الدین دگردي	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی تایید شده و رساله مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما:



آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته *تربیت مدرس* است که در سال ۹۰

در دانشکده *تربیت مدرس* دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر *محمد علی سجیدی*، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر *محمد علی حسن نیک ناز* و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر *محمد زین العابدین* از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجوی تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب *محمد علی حسن نیک ناز* دانشجوی رشته *تربیت مدرس* مقلع *دست*

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:  
تاریخ و امضا:

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوان پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

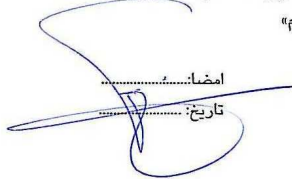
تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸/۴/۸۷ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۲۳/۴/۸۷ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۱۵/۷/۸۷ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

اینجانب، اسم دانشجو رشته رشته اسم مقطع اسم دانشکده اسم متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:   
تاریخ: .....



دانشکده: فنی و مهندسی

رساله دکتری رشته: مهندسی صنایع گرایش: مهندسی صنایع

## عنوان رساله:

حل مسئله تعمیر کار سیار (رهرو) با یک / چند تعمیر کار

نام دانشجو:

امیر صالحی پور

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی سپهری

استاد مشاور(اول):

دکتر عیسی نخعی

استاد مشاور(دوم):

دکتر محمدرضا امین ناصری

آذر ۱۳۹۰

## تقدیم به

پدر و مادر و دیگر اعضای خانواده ام که زحمات بسیاری برای من تحمل شدند و آنچه امروز به آن رسیده ام بی شک نتیجه صبر و تحمل و زحمات آنان بوده است.

به همسر مهربانم که در نیمه راه به من پیوست و صبرو پشیمانی وی همواره تحمل دشواری های این راه را بر من سهل گردانید.

## تقدیر و تشکر

از پدر و مادرم بابت تمام زحمات و خونج‌هایی که در طول مدت تحصیل اینجانب از دبستان تا دانشگاه متحمل شدند.

از همسرم بابت حمایت‌های ایشان در طول مدت تحصیل دکترم.

از استاد راهنمایم، جناب آقای دکتر سپهری بابت حمایت‌ها و زحمات ایشان در طول مدت تحصیلم.



## چکیده

مسئله تعمیرکار سیار از مسائل معروف حوزه زمان‌بندی و حمل و نقل است. در این مسئله، تعمیرکاری باید مجموعه‌ای از چند ماشین معیوب و از کار افتاده که در نقاط جغرافیایی پراکنده هستند را تعمیر کند. وی باید ترتیب بازدید از نقاط یا ماشین‌ها را طوری انتخاب کند که ضمن بازدید تمامی ماشین‌ها مجموع زمان انتظار آن‌ها تا تعمیر و راه‌اندازی مجدد حداقل شود. نحوه محاسبه تابع هدف مسئله تعمیرکار سیار (حداقل‌سازی مجموع تجمعی هزینه‌های سفر) سبب شده‌است حل مسئله تعمیرکار سیار بسیار دشوارتر از مسئله فروشنده دوره‌گرد<sup>۱</sup> باشد. به‌علاوه مفهوم تجمعی هزینه‌های سفر و تقارن آن با مفهوم زمان انتظار سبب شده‌است مسئله تعمیرکار سیار دارای کاربردهای بسیاری در حوزه خدمات‌رسانی همانند خدمات بهداشت و درمان در خانه، توزیع فرآورده‌های خونی، سرویس رفت و آمد دانش‌آموزان، تعمیرات و نگهداری تسهیلات خدمات‌رسانی و برخی زمینه‌های مشابه باشد. ضرورت کاربردهای مسئله توسعه الگوریتم‌های دقیق و ابتکاری برای مسئله را ایجاب می‌کند. در این پژوهش، ضمن بهبود مدل‌های ریاضی موجود، چند مدل ریاضی جدید در حالت‌های یک تعمیرکار، چند تعمیرکار و نیز لحاظ کردن محدودیت‌های جانبی توسعه داده شده‌اند. تفاوت ساختاری مدل‌ها در نوع متغیرهای تصمیم آن‌ها است. با کمک این مدل‌ها می‌توان مسائل عمومی تا اندازه ۲۵ گره و مسائل خاص تا اندازه ۱۰۰ گره را به‌طور بهینه حل نمود. برای حل مسائل بزرگ‌تر و تا ۳۰ گره از الگوریتم شاخه و کران استفاده شده‌است. در حالت چند تعمیرکار، علاوه بر توسعه مدلی یکپارچه، از رویکرد تجزیه نیز برای حل مسئله استفاده شده‌است، این رویکرد می‌تواند مسائل بزرگ را به‌طور بهینه حل نماید. برای حل مسائل بزرگ‌تر (تا ۵۰۰ گره) از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری استفاده شده‌است. بدین منظور از سه الگوریتم فراابتکاری جستجوی همسایگی متغیر<sup>۲</sup>، شبیه‌سازی تبرید<sup>۳</sup> و پذیرش آستانه<sup>۴</sup> استفاده شده‌است. نتایج محاسباتی روی مسائل مختلف نشان از توانایی بالای الگوریتم‌ها و کیفیت بالای جواب‌های حاصل شده دارند به‌طوری‌که می‌توانند برای مسائل کوچک (تا ۳۰ گره) جواب‌های بهینه و برای مسائل بزرگ جواب‌های بسیار نزدیک بهینه در زمان کوتاهی ارائه دهند.

**کلید واژه‌ها:** مسئله تعمیرکار سیار، مدل‌سازی ریاضی، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر، الگوریتم

شبیه‌سازی تبرید، الگوریتم پذیرش آستانه، الگوریتم شاخه و کران، خدمات بهداشت و درمان در خانه

<sup>1</sup> Traveling Salesman Problem (TSP)

<sup>2</sup> Variable Neighborhood Search (VNS)

<sup>3</sup> Simulated Annealing (SA)

<sup>4</sup> Threshold Accepting (TA)

## فهرست مطالب

۱	فصل اول. کلیات.....
۲	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ بیان مسئله پژوهش.....
۳	۳-۱ تاریخچه مسئله پژوهش.....
۳	۴-۱ اهمیت مسئله پژوهش.....
۴	۵-۱ نوآوری پژوهش.....
۴	۶-۱ مفروضات پژوهش.....
۵	۷-۱ محدودیت‌های پژوهش.....
۵	۸-۱ اهداف مطالعه.....
۶	۹-۱ ساختار پژوهش.....
۶	۱۰-۱ خلاصه فصل.....
۷	فصل دوم، پیشینه پژوهش.....
۸	۱-۲ مقدمه.....
۸	۲-۲ اصطلاحات و نمادگذاری.....
۹	۳-۲ مسئله تعمیرکار سیار با یک تعمیرکار.....
۱۴	۱-۳-۲ مدل فیسکتی و همکاران.....
۱۵	۲-۳-۲ مدل بیانکو و همکاران.....
۱۶	۳-۳-۲ مدل اجیل.....
۱۷	۴-۳-۲ مدل منداز و همکاران.....
۱۸	۴-۲ مسئله تعمیرکار سیار با بیش از یک تعمیرکار.....
۱۹	۵-۲ مسئله تعمیرکار سیار در حالت وجود محدودیت‌های پنجره زمانی.....
۲۰	۱-۵-۲ مدل هلیپورن و همکاران.....
۲۱	۶-۲ الگوریتم‌ها و رویکردهای حل.....
۲۲	۱-۶-۲ الگوریتم‌های حل دقیق.....

- ۲-۶-۲ الگوریتم‌های حل ابتکاری..... ۲۶
- ۲-۷ الگوریتم‌های حدی..... ۲۸
- ۲-۸ جمع‌بندی پیشینه تحقیق مسئله تعمیرکار سیار..... ۳۰
- ۲-۹ خواص مسئله تعمیرکار سیار..... ۳۲
- ۲-۱۰ کاربردهای مسئله تعمیرکار سیار..... ۳۳
- ۲-۱۰-۱ سرویس حمل و نقل دانش آموزان..... ۳۵
- ۲-۱۰-۲ جمع‌آوری زباله..... ۳۵
- ۲-۱۰-۳ تحویل رایگان غذا..... ۳۶
- ۲-۱۰-۴ امداد رسانی به خودروهای معیوب..... ۳۶
- ۲-۱۰-۵ توالی حرکت تاکسی در پایانه..... ۳۷
- ۲-۱۰-۶ توالی حرکت آسانسور..... ۳۷
- ۲-۱۰-۷ تقاضا برای خدمات اضطراری..... ۳۷
- ۲-۱۰-۸ توالی تعمیرات و نگهداری اتوبان‌ها و جاده‌ها..... ۳۸
- ۲-۱۰-۹ توالی تعمیرات و نگهداری تسهیلات استخراج نفت و چاه‌های نفت..... ۳۸
- ۲-۱۰-۱۰ توالی تعمیرات و نگهداری سایت..... ۳۹
- ۲-۱۰-۱۱ آبیاری مزارع و فضاهاى سبز در شرایط کم آبی..... ۳۹
- ۲-۱۰-۱۲ برداشت محصولات کشاورزی..... ۳۹
- ۲-۱۰-۱۳ توالی هد هارد دیسک در کامپیوتر..... ۴۰
- ۲-۱۰-۱۴ جستجوی یک نهاد روی یک شبکه..... ۴۰
- ۲-۱۰-۱۵ تولید رنگ..... ۴۰
- ۲-۱۰-۱۶ مسیریابی حرکت ماشین‌های خودکار..... ۴۱
- ۲-۱۰-۱۷ مدیریت کنترل موجودی..... ۴۱
- ۲-۱۰-۱۸ توزیع فرآورده‌های خونی بین مراکز درمانی و بیمارستان‌ها..... ۴۲
- ۲-۱۰-۱۹ ارائه خدمات بهداشت و درمان در خانه..... ۴۲
- ۲-۱۱ خلاصه فصل..... ۴۲
- فصل سوم. مدل‌سازی ریاضی مسئله تعمیرکار سیار..... ۴۴

۴۵	۱-۳ مقدمه
۴۵	۲-۳ مطالعه انواع رویکردهای ممکن در مدل سازی مسئله
۴۷	۱-۲-۳ مدل DJ
۴۷	۲-۲-۳ مدل SP
۴۷	۳-۲-۳ مدل LO
۴۸	۴-۲-۳ مدل HY
۴۸	۵-۲-۳ مدل TR
۴۹	۶-۲-۳ مدل TI
۵۱	۳-۳ توسعه مدل ریاضی در حالت وجود یک تعمیرکار
۵۲	۱-۳-۳ مدل Flow-SP: متغیر تصمیم موقعیت گره‌ها در تور
۵۵	۲-۳-۳ مدل DJ-TRP: متغیر تصمیم اصلی زمان رسیدن به هر گره
۵۶	۴-۳ توسعه مدل ریاضی در حالت وجود چند تعمیرکار
۵۶	۱-۴-۳ مدل سازی دو مرحله‌ای
۵۸	۲-۴-۳ مدل DJ-kTRP: مدل سازی یکپارچه
۶۰	۵-۳ مدل DJ-kTRPTW: توسعه مدل ریاضی در حالت وجود محدودیت‌های پنجره زمانی
۶۰	۶-۳ خلاصه فصل
۶۲	فصل چهارم. حل دقیق مسئله تعمیرکار سیار
۶۳	۱-۴ مقدمه
۶۳	۲-۴ مسائل نمونه
۶۶	۳-۴ حدود پایین
۶۶	۱-۳-۴ رها سازی خطی متغیرهای عدد صحیح
۶۷	۲-۳-۴ رها سازی لاگرانژ
۶۸	۳-۳-۴ مسئله حداقل درخت گسترده (MST)
۷۰	۴-۳-۴ مسئله پیلهور (TSP)
۷۲	۵-۳-۴ مقایسه حدود پایین
۷۴	۴-۴ حدود بالا

۷۵	۱-۴-۴ الگوریتم نزدیک‌ترین جستجوی همسایگی
۷۵	۲-۴-۴ مسئله پیلهور
۷۵	۳-۴-۴ مقایسه حدود بالا
۷۷	۵-۴ الگوریتم شاخه و کران برای مسئله تعمیرکار سیار با یک تعمیرکار
۸۱	۶-۴ نتایج محاسباتی
۸۷	۷-۴ خلاصه فصل
۸۹	فصل پنجم. حل ابتکاری مسئله تعمیرکار سیار
۹۰	۱-۵ مقدمه
۹۱	۲-۵ الگوریتم‌های سازنده
۹۱	۱-۲-۵ الگوریتم نزدیکترین جستجوی همسایگی
۹۲	۲-۲-۵ الگوریتم جستجوی سازگار تصادفی کوتاه‌بین
۹۴	۳-۲-۵ الگوریتم احتمالی
۹۴	۴-۲-۵ الگوریتم تصادفی
۹۴	۳-۵ الگوریتم‌های بهبوددهنده
۹۵	۱-۳-۵ الگوریتم تعویض زوجی
۹۵	۲-۳-۵ الگوریتم تعویض زوجی متوالی
۹۵	۳-۳-۵ الگوریتم حذف و قراردادن
۹۵	۴-۳-۵ الگوریتم 2-Opt
۹۶	۵-۳-۵ الگوریتم 3-Opt
۹۷	۶-۳-۵ الگوریتم حذف و قراردادن براساس فاصله
۱۰۲	۴-۵ الگوریتم‌های فراابتکاری
۱۰۲	۱-۴-۵ الگوریتم‌های جستجوی همسایگی متغیر
۱۰۴	۲-۴-۵ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید
۱۰۵	۳-۴-۵ الگوریتم پذیرش آستانه
۱۰۶	۵-۵ تسریع سرعت الگوریتم (قوانین غالب)
۱۰۸	۶-۵ نتایج محاسباتی

۱۱۱	۷-۵ خلاصه فصل
۱۱۲	فصل ششم. کاربردی واقعی در حوزه سلامت و درمان
۱۱۳	۱-۶ مقدمه
۱۱۳	۲-۶ تعریف مسئله
۱۱۵	۳-۶ توزیع فرآورده‌های خونی
۱۱۹	۴-۶ مطالعه موردی
۱۲۹	۵-۶ وضعیت فعلی
۱۳۱	۶-۶ خلاصه فصل
۱۳۲	فصل هفتم. خلاصه و جمع‌بندی
۱۳۳	۱-۷ مقدمه
۱۳۳	۲-۷ مروری بر فصل‌های گذشته
۱۳۴	۳-۷ دستاوردهای پژوهش
۱۳۶	۴-۷ نوآوری پژوهش
۱۳۶	۵-۷ تاملی بر یادگیری‌ها و دشواری‌های پژوهش
۱۳۷	۶-۷ پیشنهاد پژوهش‌های آتی
۱۴۰	۷-۷ خلاصه فصل
۱۴۱	منابع
۱۴۹	پیوست‌ها

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲. دو توالی امکان‌پذیر برای مسئله تعمیرکار سیار با یک تعمیرکار و ۶ گره ..... ۱۰
- شکل ۲-۲. مسئله تعمیرکار سیار با ۲ تعمیرکار و ۶ گره ..... ۱۸
- شکل ۲-۳. امکان‌پذیری برخورد دو سوپه در جواب بهینه مسئله تعمیرکار سیار ..... ۳۳
- شکل ۴-۱. حل بهینه مسئله MST برای یافتن حدود پایین ..... ۷۰
- شکل ۴-۲. حل بهینه مسئله TSP برای یافتن حدود پایین ..... ۷۲
- شکل ۴-۳. بخشی از درخت شاخه و کران برای یک مسئله دارای ۵ گره ..... ۸۱
- شکل ۵-۱. الگوریتم Swap؛ دو گره i و j با یکدیگر تعویض شده‌اند ..... ۹۵
- شکل ۵-۲. الگوریتم 2-Opt ..... ۹۶
- شکل ۵-۳. الگوریتم 3-Opt ..... ۹۷
- شکل ۶-۱. مثالی از تخصیص ۵۰ بیمارستان به دو وسیله توزیع فرآورده‌های خونی ..... ۱۱۷
- شکل ۶-۲. دو توالی امکان‌پذیر از بازدید بیمارستان‌های شکل ب. ۶-۱ ..... ۱۱۹
- شکل ۶-۳. جواب بهینه مسئله در حالت یک وسیله توزیع (یک تعمیرکار سیار) ..... ۱۲۴
- شکل ۶-۴. جواب بهینه مسئله در حالت دو وسیله توزیع (۲ تعمیرکار سیار) ..... ۱۲۵
- شکل ۶-۵. جواب بهینه مسئله در حالت سه وسیله توزیع (۳ تعمیرکار سیار) ..... ۱۲۷

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۲-۱. ماتریس هزینه سفر برای مثال..... ۱۱
- جدول ۲-۲. خلاصه پژوهش‌های صورت گرفته مرتبط با حل مسئله تعمیرکار سیار..... ۳۱
- جدول ۳-۱. ابعاد (تعداد متغیرها و محدودیت‌ها) هر یک از شش مدل ارائه شده در مدل‌سازی مسئله زمان‌بندی ماشین..... ۵۰
- جدول ۳-۲. بررسی کارایی هر یک از شش مدل ارائه شده در مدل‌سازی مسئله زمان‌بندی ماشین..... ۵۱
- جدول ۴-۱. مسائل نمونه دسته اول؛ مختصات گره‌ها به صورت تصادفی تولید شده‌اند..... ۶۴
- جدول ۴-۲. مسائل نمونه دسته دوم؛ هزینه سفر بین گره‌ها به صورت تصادفی تولید شده‌اند..... ۶۵
- جدول ۴-۳. مسائل نمونه دسته سوم؛ هزینه سفر بین گره‌ها به صورت تصادفی تولید شده‌اند..... ۶۵
- جدول ۴-۴. مسائل نمونه دسته چهارم؛ محدودیت پنجره زمانی..... ۶۶
- جدول ۴-۵. هزینه‌های سفر برای ۷ گره و حدود پایین یافته شده توسط حل بهینه مسئله MST..... ۶۹
- جدول ۴-۶. حدود پایین به دست آمده برای مسائل متوسط دسته اول توسط ۴ رویه توسعه داده شده..... ۷۳
- جدول ۴-۷. حدود بالا به دست آمده برای مسائل متوسط دسته اول توسط ۲ رویه توسعه داده شده..... ۷۶
- جدول ۴-۸. مقایسه نتایج محاسباتی مدل‌های موجود در پیشینه پژوهش و مدل توسعه داده شده در این پژوهش به همراه الگوریتم شاخه و کران روی مسائل متوسط دسته اول..... ۸۳
- جدول ۴-۹. مقایسه نتایج محاسباتی مدل‌های موجود در پیشینه پژوهش و مدل توسعه داده شده در این پژوهش به همراه الگوریتم شاخه و کران روی مسائل متوسط دسته دوم..... ۸۴
- جدول ۴-۱۰. نتایج محاسباتی مدل توسعه داده شده در این پژوهش روی مسائل دسته سوم..... ۸۵
- جدول ۴-۱۱. نتایج محاسباتی مدل توسعه داده شده در این پژوهش روی مسائل دسته چهارم..... ۸۶
- جدول ۴-۱۲. نتایج محاسباتی مسئله تعمیرکار سیار با چند تعمیرکار روی مسائل دسته اول (زیرمسئله‌های ۱ و ۲)..... ۸۷
- جدول ۵-۱. تنظیم پارامترهای الگوریتم سازنده جستجوی سازگار تصادفی کوتاه‌بین..... ۹۴
- جدول ۵-۲. عملکرد هر یک از الگوریتم‌های ابتکاری روی مسائل دسته اول..... ۹۹
- جدول ۵-۳. تنظیم مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید و پذیرش آستانه..... ۱۰۸
- جدول ۵-۴. نتایج محاسباتی سه الگوریتم فراابتکاری روی مسائل متوسط دسته اول..... ۱۰۹
- جدول ۵-۵. نتایج محاسباتی سه الگوریتم فراابتکاری روی مسائل بزرگ دسته اول..... ۱۱۱
- جدول ۶-۱. هزینه سفر بین بیمارستان‌های شکل ب. ۱-۶..... ۱۱۸
- جدول ۶-۲. هزینه سفر بین بیمارستان‌ها و سازمان انتقال خون؛ شماره بیمارستان‌ها و نام هر یک در جدول ۶-۳ آورده شده است..... ۱۲۱



- جدول ۳-۶. میانگین تقاضای روزانه بیمارستان‌ها ..... ۱۲۲
- جدول ۴-۶. محدودیت‌های اعمال شده روی حداکثر مسافت قابل پیمایش هر وسیله نقلیه ..... ۱۲۳
- جدول ۵-۶. نتایج محاسباتی حل مسئله توزیع فرآورده‌های خونی برای ۲۴ بیمارستان شهر تهران ..... ۱۲۳
- جدول ۶-۶. هزینه هر بیمارستان برای تامین نیاز فرآورده‌های خونی خود (سناریوی ۲) ..... ۱۳۰

## فهرست الگوریتم‌ها

- الگوریتم ۴-۱. الگوریتم استفاده‌شده در یافتن مقادیر بهینه ضرایب لاگرانژ..... ۶۷
- الگوریتم ۴-۲. الگوریتم شاخه و کران توسعه داده‌شده برای مسئله تعمیرکار سیار با یک تعمیرکار..... ۷۹
- الگوریتم ۴-۳. به‌روز رسانی تخمین مقدار تابع هدف در الگوریتم شاخه و کران..... ۸۰
- الگوریتم ۴-۴. به‌روز رسانی حدود بالا در الگوریتم شاخه و کران..... ۸۰
- الگوریتم ۵-۱. الگوریتم جستجوی سازگار تصادفی کوتاه‌بین..... ۹۲
- الگوریتم ۵-۲. الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر..... ۱۰۳
- الگوریتم ۵-۳. الگوریتم نزول همسایگی متغیر..... ۱۰۴
- الگوریتم ۵-۴. الگوریتم شبیه‌سازی تبرید..... ۱۰۵
- الگوریتم ۵-۵. الگوریتم پذیرش آستانه..... ۱۰۶

# فصل اول. کلیات

## ۱-۱ مقدمه

در این فصل از پژوهش پیش‌رو، کلیاتی در خصوص مسئله تعمیرکار سیار<sup>۱</sup> ارائه شده‌است. مسئله تعمیرکار سیار بسیار شبیه به مسئله معروف فروشنده دوره‌گرد (پیلهور)<sup>۲</sup> است که خود نیز از مسائل قدیمی و کلاسیک تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی ترکیبی<sup>۳</sup> می‌باشد. در این فصل پس از بیان مسئله و اهمیت آن به‌خصوص در دنیای واقعی، تاریخچه مختصری از مسئله ارائه می‌شود. این فصل با ارائه ساختار کلی پژوهش خاتمه می‌یابد.

## ۱-۲ بیان مسئله پژوهش

تعریف کامل مسئله به‌همراه نمادگذاری ریاضی در فصل دوم آورده شده‌است. در این بخش تنها اشاره‌ای به مسئله و اهمیت آن می‌شود. به‌منظور درک بهتر مسئله تعمیرکار سیار ابتدا مسئله پیلهور را بررسی می‌کنیم. فروشنده دوره‌گردی را در نظر بگیرید که باید به مجموعه‌ای از چند شهر سفر کند به طوری که باید ضمن بازدید تمامی شهرها، هر شهر را دقیقاً یک‌بار ببیند. وی برای رفتن از هر شهر به شهر دیگر متحمل هزینه سفر خواهد بود. وی مایل است یک توالی امکان‌پذیر از بازدید شهرها انتخاب کند که کل هزینه‌های سفر وی را حداقل کند. منظور از توالی امکان‌پذیر، توالی است که در آن همه شهرها بازدید شوند و هر شهر نیز دقیقاً یک‌بار بازدید شود.

در مسئله پیلهور تابع هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های سفر از یک شهر به شهر دیگر می‌باشد. اگر این تابع هدف به حداقل‌سازی مجموع تجمعی هزینه‌های سفر تبدیل گردد، مسئله تبدیل به مسئله تعمیرکار سیار می‌شود. همان‌طور که در فصل دوم خواهیم دید، این تابع هدف کاربردهای متنوعی به‌خصوص در حوزه خدمات‌رسانی را سبب شده‌است. بنابراین مسئله تعمیرکار سیار در مسائلی که هدف آن‌ها یافتن توالی بهینه از بازدید و ارائه خدمات است دارای جایگاه ویژه‌ای است. می‌توان برخی از این کاربردها را در تسهیلات حمل و نقل دانش‌آموزان (سرویس مدارس)، توزیع فرآورده‌های خونی بین بیمارستان‌ها و مراکز درمانی، توزیع داروهای خاص بین داروخانه‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی و چیدمان ماشین‌ها در سلول‌های تولیدی نام برد. تعریف ساده‌ای از مسئله توسط افراتی و همکاران در سال ۱۹۸۶ ارائه شده‌است (Afrati, et al., 1986). ولی پیش از آن‌ها فاکس در سال ۱۹۷۳ به این مسئله پرداخته است (Fox, 1973).

<sup>1</sup> Traveling Repairman Problem (TRP)

<sup>2</sup> Traveling Salesman Problem (TSP)

<sup>3</sup> Combinatorial Optimization