

صلى الله عليه وسلم

تأییدیه هیأت داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیأت داوران، نسخه نهائی رساله آقای: علی عبدی

را با عنوان: مدل یکپارچه برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندهای پروازی جهت ارتقاء ظرفیت بخش هوائی فرودگاه

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه دکتری تأیید می‌کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	استاد	دکتر محمود صفارزاده	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر فریبرز جولای	۲- استاد مشاور
	استادیار	دکتر عباس بابازاده	۳- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر علی خدائی	۴- استاد ممتحن
	استاد	دکتر هدایت ذکائی آشتیانی	۵- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر امیررضا ممدوحی	۶- استاد ممتحن
	دانشیار	دکتر عیسی نخعی کمال‌آبادی	۷- استاد ممتحن
	دانشیار	دکتر امیر کاوسی	۸- نماینده گروه و استاد ممتحن

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

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی 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 عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

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 استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه 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 حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

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، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

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 رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی عمران است که در سال ۱۳۷۸ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر محمود صفارزاده، مشاوره جناب آقای دکتر فریبرز جولای از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند 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 رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

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

ماده ۶: اینجانب علی عبدی دانشجوی رشته مهندسی عمران مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

رساله دکتری

رشته مهندسی عمران - گرایش راه و ترابری

عنوان رساله:

مدل یکپارچه برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندهای پروازی
جهت ارتقاء ظرفیت بخش هوایی فرودگاه

نگارش:

علی عبدی

استاد راهنما:

دکتر محمود صفارزاده

اساتید مشاور:

دکتر فریبرز جولای و دکتر عباس بابازاده

شهریور ۱۳۸۸

الهی، ای دور از نظر و ای نیکو حضور و ای نیکو کار نیک منظر، ای دلیل هر برگشته و ای راهبهای
هر سرگشته، ای چاره ساز هر بیچاره و ای آرنده هر آواره، ای جامع هر پرکنده و ای رافع هر افتاده،
دست ماگیرای بخشنده بخشاینده. الهی کار آن دارد که با تو کاری دارد، یار آن دارد که چون تو یاری
دارد، او که در هر دو جهان تو را دارد، هرگز کی تو را بگذارد. الهی، ای خالق بی مدد و ای واحد بی
عدد، ای اول بی هدایت و ای آخر بی نهایت، ای ظاهر بی صورت و ای باطن بی سیرت،
ای حی بی ذلت، ای معطی بی فکر و ای بخشنده بی منت، ای داننده رازها، ای شنونده
آوازه‌ها، ای بیننده نازها، ای پذیرنده نیازها، ای شناسنده نام‌ها، ای رساننده گام‌ها. ای مبرا از
عوائق، ای مطلع بر حقایق، ای مهربان بر خلایق، عذرهای ما بپذیر که تو غنی و ما فقیر و بر
عیب‌های ما کسیر که تو قوی و ما حقیر، از بنده خطا آید و از تو عطا آید و رحمت.

مناجات خواجه عبدالله انصاری

تقدیم به همسر عزیزم

که با صبوری و محبت خویش، همواره دلگرم‌کننده و همراه سختی‌های راهم بوده‌است.

تقدیم به پدر بزرگوارم

استاد زندگی و مقابله با سختی‌ها و مشقات و

تقدیم به مادر مهربانم

استاد عشق و ایمان؛

دو مشعل همیشه فروزان در شبهای زندگیم که با چشمانی پر از محبت امید را نارم نمودند،
دو گوهر پر فروغ که سپیدموی گشتند تا سفیدروی باشم.

و تقدیم به خواهر و برادر عزیزم

که همواره امیددهنده من در کل دوران زندگی بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

پیر دردی کش ما گرچه ندارد زر و زور خوش عطابخش و خطاپوش خدائی دارد

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.

پروردگار بزرگ را شاکرم که با اتکاء به ذات بی‌همتایش و امید به درگاه احدیتش، عنایت بی‌دریغش را شامل حال این بنده نمود.

اینک که این پژوهش به اتمام رسید بر خود واجب می‌دانم از راهنمائیهای استاد گرانقدر و دلسوز خویش، جناب آقای دکتر محمود صفارزاده که بنده را از ابتدا تا اتمام این تحقیق، با مساعدتهای بی‌دریغشان بهره‌مند فرمودند، سپاسگذاری و تشکر نمایم؛
و به ساحت کریمانه استاد مشاور جناب آقای دکتر فریبرز جولای، به خاطر ارائه دلگرمی‌هایشان در این مدت، ادای ادب و تکریم نمایم؛

و از اساتید گرانمایه و محترم ممتحن خارجی، جناب آقای دکتر علی خدائی و دکتر هدایت ذکائی آشتیانی و اساتید محترم ممتحن داخلی، جناب آقایان دکتر امیر رضا ممدوحی و دکتر عیسی نخعی کمال‌آبادی که در کسوت قضاوت و داوری، بذل عنایت و قبول زحمت فرموده‌اند، تقدیر و سپاس بیکران خویش را ابراز دارم و

همچنین از کلیه دوستان و عزیزانی که در به ثمر نشستن این تحقیق مؤثر بوده‌اند، جناب آقایان دکتر **ابراهیم اسدی**، دکتر **طه یاسر کشاورز**، دکتر **مهدی شریف یزدی**، **مهندس محمد عباسیان** و دکتر **محمد علی بهشتی‌نیا**، کمال تقدیر و دستبوسی خود را تقدیم می‌نمایم.

در نهایت زندگی، که به من آموخت:

فرقی نمی‌کند گودال آب کوچکی باشی یا دریای بیکران، زلال که باشی، آسمان در توست.

چکیده

رشد روزافزون تقاضای فرودگاه‌ها در سالهای اخیر، بروز مسائلی از جمله افزایش تأخیرها، نارضای مسافران و افزایش هزینه‌های سوخت و بهره‌برداری نامناسب از منابع فرودگاهی را در پی داشته است. در حقیقت این مسأله منجر به عدم پاسخگویی ظرفیت به تقاضای برخی از فرودگاهها شده است. در این خصوص ارائه راهکارهایی جهت کاهش تأخیر و ترفیع نقاط گلوگاهی از جمله باندهای پروازی، می‌تواند در استفاده بهینه از منابع فرودگاهی مؤثر باشد. بدین منظور مدیریت عملیاتی باندها ابزار مناسبی جهت بهبود عملکرد باندهای پروازی می‌باشد. از مهمترین وظایف مدیریت عملیاتی باندها، می‌توان به مدیریت تخصیص و برنامه‌ریزی عملیاتی باندها اشاره نمود.

در این تحقیق، مدل یکپارچه برنامه‌ریزی عملیاتی و مدیریت تخصیص باندها ارائه شده است. الگوی مذکور بر اساس ترکیب معینی از باندها می‌باشد که معمولاً برای هر زمانی از طول سال، مشخص است. رویکرد مدل‌سازی، استفاده از روش زمان‌بندی و تئوری توالی عملیات است. برای این منظور از مدل ماشین‌های موازی، ماشین‌های سری انعطاف‌پذیر و در نهایت مدل کار کارگاهی انعطاف‌پذیر استفاده گردید. مدل ارائه شده برای درک بیشتر و تحلیل با روش‌های دقیق، به صورت ریاضی نیز فرموله شد. مدل کار کارگاهی نسبت به مدل‌های دیگر، کامل‌تر و قابلیت بیشتری دارد. با الگوی مذکور، مشخص می‌شود که در چه زمانی، از کدام باند و برای چه عملیاتی استفاده شود تا حداکثر ظرفیت سیستم باندها به کار گرفته شود. به دلیل NP-hard بودن مسأله، برای حل مدل از روش فرا-ابتکاری بازپخت شبیه‌سازی شده استفاده گردید. این روش در مسائل بزرگ-مقیاس (زمان زیادی برای حل نیاز دارند) نسبت به روش‌های دقیق از نتایج بهتری برخوردار است. مدل‌های مذکور برای مسائل عملی آزمایش شده و در نهایت نتایج بهتری نسبت به عملکرد کنترل‌کنندگان ترافیک هوایی ارائه نمودند. این نتایج حاکی از بهبود مجموع دیرکردهای وزن‌دار تا ۱۳۷٪، دامنه عملیات تا ۱۷/۵٪ و مقدار زمان‌های تکمیل وزن‌دار تا ۲۵٪ برای این مسائل می‌باشد. مدل کار کارگاهی ارائه شده می‌تواند به عنوان یک پشتیبان تصمیم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: باندهای پروازی، برنامه‌ریزی عملیاتی، مدل یکپارچه، ظرفیت، زمان‌بندی و توالی عملیات، ماشین‌های موازی، ماشین‌های سری انعطاف‌پذیر، مدل کار کارگاهی، روش بازپخت شبیه‌سازی شده.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	ح
فهرست شکل‌ها.....	ی
فصل ۱- طرح تحقیق.....	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- تعریف مسأله و سؤالهای اصلی تحقیق.....	۲
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۴
۴-۱- فرضیه تحقیق.....	۵
۵-۱- اهداف تحقیق.....	۶
۶-۱- قلمرو تحقیق.....	۶
۷-۱- وجوه اصلی تحقیق.....	۷
۸-۱- فرضیات تحقیق.....	۷
۹-۱- کاربردهای متصور از تحقیق.....	۸
۱۰-۱- استفاده‌کنندگان از نتایج تحقیق.....	۸
۱۱-۱- نوآوری‌های تحقیق.....	۸
۱۲-۱- روش تحقیق.....	۹
۱۳-۱- ساختار کلی تحقیق.....	۹
فصل ۲- پیشینه تحقیق.....	۱۰
۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۲- ظرفیت بخش هوایی فرودگاه.....	۱۱
۳-۲- مفهوم ظرفیت باند فرودگاه.....	۱۲
۴-۲- معیارهای سنجش ظرفیت باند.....	۱۳
۱-۴-۲- حداکثر ظرفیت خدماتی.....	۱۴
۲-۴-۲- ظرفیت ساعتی عملی (PHCAP).....	۱۵
۳-۴-۲- ظرفیت پایدار.....	۱۵

۱۶	۴-۴-۲	ظرفیت اعلام شده
۱۶	۵-۲	پارامترهای مؤثر در ظرفیت یک سیستم باند
۱۷	۱-۵-۲	تعداد و ساختار هندسی باندها
۱۷	۲-۵-۲	الزامات جدایی ATM
۱۸	۱-۲-۵-۲	قوانین جدایی برای عملیات نشست و برخاست در فرودگاههای یک باند
۲۲	۲-۲-۵-۲	قوانین جدایی عملیات در فرودگاههای با باندهای موازی
۲۴	۳-۲-۵-۲	قوانین جدایی عملیات در فرودگاههای با باندهای متقاطع، همگرا و واگرا
۲۶	۳-۵-۲	برد دید، ارتفاع ابر (دید قائم) و بارش (شرایط جوی)
۲۸	۴-۵-۲	شدت و جهت باد
۲۹	۵-۵-۲	ترکیب ناوگان هواپیمایی
۲۹	۶-۵-۲	ترکیب و توالی عملیاتی
۳۱	۷-۵-۲	نوع و محل خروجیهای باند
۳۲	۸-۵-۲	حالت و عملکرد سیستم ATM
۳۲	۹-۵-۲	نقش آلودگی صوتی
۳۳	۶-۲	عوامل مؤثر در ظرفیت سیستمهای چند باند
۳۳	۷-۲	ظرفیت سایر بخشهای محوطه پروازی
۳۴	۱-۷-۲	ظرفیت سیستم باند خزش
۳۶	۲-۷-۲	ظرفیت ایپرونها
۳۷	۸-۲	تأثیر مدیریت ترافیک هوایی در ظرفیت باندهای پروازی
۳۷	۱-۸-۲	مؤلفه‌های سیستم ATM
۳۹	۲-۸-۲	تخصیص بازه زمانی
۳۹	۹-۲	مدیریت ظرفیت در صنعت هوایی
۴۰	۱-۹-۲	اثر مدیریت ظرفیت در شرکتهای هوایی
۴۰	۲-۹-۲	مدیریت ظرفیت در فرودگاهها
۴۱	۳-۹-۲	مدیریت ظرفیت در بخش ترافیک هوایی
۴۱	۱۰-۲	مدیریت ظرفیت در مدیریت ترافیک هوایی
۴۲	۱۱-۲	برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص باندهای پروازی
۴۴	۱۲-۲	ساختار ATM
۴۵	۱۳-۲	برنامه‌ریزی عملیاتی باندهای پروازی
۴۷	۱-۱۳-۲	ملزومات عملیاتی اساسی
۴۷	۲-۱۳-۲	اهداف

۴۹	..... محدودیت‌ها ۳-۱۳-۲
۵۱	..... فرمول‌بندی مسأله برنامه‌ریزی با روش زمان‌بندی ۱۴-۲
۵۱	..... فرمول‌بندی بر اساس توالی عملیات خروجی ۱-۱۴-۲
۵۲	..... فرمول‌بندی بر اساس زمان عملیات خروجی ۲-۱۴-۲
۵۴	..... توابع هدف ۳-۱۴-۲
۵۴	..... توابع هدف و اهداف سیستم ۱-۳-۱۴-۲
۵۵	..... توابع هدف و محدودیت‌های ضعیف ۲-۳-۱۴-۲
۵۶	..... توابع هدف و معیارهای برنامه‌ریزی ۳-۳-۱۴-۲
۵۷	..... تخصیص باندهای پروازی ۱۵-۲
۵۷	..... تخصیص باند برای هواپیماهای ورودی ۱-۱۵-۲
۵۸	..... دلایل مکان‌یابی باندها ۱-۱-۱۵-۲
۶۰	..... منافع مکان‌یابی باندها ۲-۱-۱۵-۲
۶۰	..... ملزومات سیستم عملیاتی ۳-۱-۱۵-۲
۶۱	..... الگوریتم دانش - مبنا مسیریابی باند ۲-۱۵-۲
۶۱	..... ورودی‌های الگوریتم KBRA ۱-۲-۱۵-۲
۶۴	..... خروجی الگوریتم ۲-۲-۱۵-۲
۶۴	..... تخصیص باند برای هواپیماهای خروجی ۳-۱۵-۲
۶۶	..... برنامه‌ریزی عملیاتی و تخصیص یکپارچه باندهای پروازی ۱۶-۲
۶۶	..... دیدگاه هزینه‌های شرکت هوایی ۱-۱۶-۲
۶۸	..... مدل‌سازی ۲-۱۶-۲
۶۸	..... هزینه و حفظ عدالت شرکت‌های هوایی ۳-۱۶-۲
۶۹	..... فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی ۱-۳-۱۶-۲
۷۰	..... حل مسأله با روش جستجوی محلی ۴-۱۶-۲
۷۱	..... جواب امکان‌پذیر اولیه ۱-۴-۱۶-۲
۷۲	..... همسایگی‌ها ۲-۴-۱۶-۲
۷۲	..... انتخاب یک همسایه ۳-۴-۱۶-۲
۷۲	..... تخصیص باند ۴-۴-۱۶-۲
۷۳	..... نتیجه نهایی برای الگوریتم جستجوی محلی ۵-۴-۱۶-۲
۷۳	..... مدل‌های فضای هوایی پایانه ۱۷-۲
۷۶	..... نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی پرواز ۱۸-۲
۷۷	..... نتیجه‌گیری از مراجع فرودگاهی ۱۹-۲
۷۸	..... فصل ۳- مدل‌های زمان‌بندی و روش حل آنها

۷۸	تئوری زمان‌بندی و توالی عملیات.....	۱-۳
۷۸	دسته‌بندی مسائل زمان‌بندی.....	۱-۱-۳
۷۹	مدل‌های توالی عملیات.....	۲-۱-۳
۸۰	مدل ماشین‌های موازی.....	۱-۲-۱-۳
۸۰	مدل ماشین‌های سری انعطاف‌پذیر.....	۲-۲-۱-۳
۸۵	مدل کار کارگاهی.....	۳-۲-۱-۳
۸۶	نظریه سلسله مراتب پیچیدگی.....	۲-۳
۸۸	رویکردهای عمومی برای حل مسائل زمان‌بندی معین.....	۳-۳
۸۸	روش‌های سازنده.....	۱-۳-۳
۸۸	روش‌های جستجوی محلی.....	۲-۳-۳
۸۹	الگوریتم‌های ابتکاری جهت به دست آوردن جواب اولیه.....	۳-۳-۳
۹۰	روش‌های سازنده.....	۱-۳-۳-۳
۹۱	روش‌های بهبود دهنده.....	۲-۳-۳-۳
۹۲	برخی از روش‌های یافتن جواب‌های حل مسائل زمان‌بندی.....	۴-۳
۹۳	روش حل ابتکاری.....	۵-۳
۹۳	الگوریتم EDD.....	۱-۵-۳
۹۴	روش حل فرا-ابتکاری با SA.....	۶-۳
۹۵	مبانی الگوریتم SA.....	۱-۶-۳
۹۶	شکل عمومی الگوریتم SA.....	۲-۶-۳
۹۷	بهبود عملکرد الگوریتم SA.....	۳-۶-۳
۹۷	ذخیره کردن بهترین جواب به دست آمده.....	۱-۳-۶-۳
۹۸	ترکیب SA با سایر روش‌ها.....	۲-۳-۶-۳
۹۸	جستجوی همه جواب‌های همسایه.....	۳-۳-۶-۳
۹۸	تئوری SA و زنجیره مارکوف.....	۴-۶-۳
۱۰۰	روش انجام تحقیق.....	۴
۱۰۰	مقدمه.....	۱-۴
۱۰۱	روش انجام تحقیق.....	۲-۴
۱۰۳	مدل زمان‌بندی مسأله.....	۳-۴
۱۰۵	اثبات NP-hard (چند جمله‌ای غیر معین سخت) بودن مسأله.....	۴-۴
۱۰۶	حل مسأله تحقیق.....	۵-۴
۱۰۷	روش حل دقیق.....	۱-۵-۴

۱۰۷	..... روش حل ابتکاری	۲-۵-۴
۱۰۸	..... حل مسأله با استفاده از روش SA	۳-۵-۴
۱۰۹	..... جواب اولیه برای الگوریتم SA	۴-۵-۴
۱۰۹	..... روش تولید جواب‌های تصادفی	۱-۴-۵-۴
۱۱۰	..... روش WEDD	۲-۴-۵-۴
۱۱۰	..... اعتبارسنجی مدل ریاضی و صحت‌سنجی روش‌های حل فرا-ابتکاری	۶-۴
۱۱۱	..... بررسی آنالیز عملکردی	۷-۴
۱۱۲	..... نتیجه‌گیری	۸-۴
۱۱۳	..... فصل ۵- مدل‌سازی مسأله	
۱۱۳	..... مقدمه	۱-۵
۱۱۳	..... فرمول‌بندی ریاضی مسأله	۲-۵
۱۱۴	..... مدل ماشین‌های موازی	۱-۲-۵
۱۱۴	..... تعریف متغیرها، مجموعه‌ها و پارامترها	۱-۱-۲-۵
۱۱۵	..... توضیح متغیرها، مجموعه‌ها و پارامترها	۲-۱-۲-۵
۱۱۵	..... مفروضات مدل	۳-۱-۲-۵
۱۱۵	..... توصیف مدل در حالت استاتیک	۴-۱-۲-۵
۱۱۶	..... توصیف مدل در حالت دینامیک	۵-۱-۲-۵
۱۱۷	..... مدل ماشین‌های سری انعطاف‌پذیر	۲-۲-۵
۱۱۷	..... تعریف متغیرها، مجموعه‌ها و پارامترها	۱-۲-۲-۵
۱۱۹	..... توضیح متغیرها، مجموعه‌ها و پارامترها	۲-۲-۲-۵
۱۱۹	..... مفروضات مدل	۳-۲-۲-۵
۱۱۹	..... توصیف مدل FFS در حالت Wait	۴-۲-۲-۵
۱۲۱	..... توصیف مدل FFS در حالت No-Wait	۵-۲-۲-۵
۱۲۲	..... شرح مدل در حالت اعمال فاصله جدایی	۶-۲-۲-۵
۱۲۴	..... مدل کار کارگاهی	۳-۲-۵
۱۲۴	..... تعریف متغیرها، مجموعه‌ها و پارامترها	۱-۳-۲-۵
۱۲۵	..... توصیف مدل نهائی در حالت No-Wait	۲-۳-۲-۵
۱۲۸	..... جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۳-۵
۱۲۹	..... فصل ۶- حل یک مسأله عملی	
۱۲۹	..... مقدمه	۱-۶
۱۲۹	..... حل مدل‌ها	۲-۶

- ۱۳۰..... ۳-۶- حل مسأله PM
- ۱۳۰..... ۱-۳-۶ روش حل ابتکاری بر مبنای الگوریتم EDD و مورد استفاده برای PM
- ۱۳۰..... ۲-۳-۶ نتایج حل ابتکاری مدل‌های PM
- ۱۳۵..... ۴-۶ نتایج حل مدل FFS
- ۱۳۵..... ۱-۴-۶ روش حل ابتکاری برای حالت FFS (حالت Wait)
- ۱۳۶..... ۱-۱-۴-۶ رویه انجام زمان‌بندی پسرو
- ۱۳۶..... ۲-۱-۴-۶ الگوریتم WEDD
- ۱۳۷..... ۲-۴-۶ روش حل ابتکاری برای حالت FFS (No-Wait)
- ۱۳۸..... ۳-۴-۶ نتایج حل ابتکاری مسأله
- ۱۳۸..... ۴-۴-۶ مقایسه نتایج روش‌های ابتکاری و دقیق
- ۱۳۹..... ۵-۴-۶ روش SA
- ۱۳۹..... ۱-۵-۴-۶ الگوریتم همسایگی برای حالت Wait
- ۱۴۰..... ۲-۵-۴-۶ الگوریتم همسایگی برای حالت No-Wait
- ۱۴۱..... ۶-۴-۶ نتایج روش SA
- ۱۴۳..... ۷-۴-۶ جزئیات حل مدل مسأله با استفاده از روش SA
- ۱۴۳..... ۱-۷-۴-۶ انتخاب پارامترها برای الگوریتم SA
- ۱۴۴..... ۲-۷-۴-۶ انتخاب دمای اولیه
- ۱۴۴..... ۳-۷-۴-۶ شرط توقف تکرارها در یک دمای ثابت
- ۱۴۴..... ۴-۷-۴-۶ تابع کاهش دما (انتخاب ضریب کاهش دما)
- ۱۴۷..... ۵-۷-۴-۶ حل مسائل نمونه با استفاده از الگوریتم SA
- ۱۴۹..... ۸-۴-۶ به‌دست آوردن جواب اولیه
- ۱۵۱..... ۱-۸-۴-۶ روش تصادفی
- ۱۵۲..... ۲-۸-۴-۶ الگوریتم WEDD
- ۱۵۲..... ۳-۸-۴-۶ الگوریتم ابتکاری
- ۱۵۳..... ۹-۴-۶ نتایج حل مدل‌های FFS برای مدل دو معیاره
- ۱۵۴..... ۵-۶ نتایج حل مدل FJS
- ۱۵۵..... ۱-۵-۶ نتایج روش دقیق
- ۱۵۵..... ۲-۵-۶ نتایج حل روش فرا-ابتکاری
- ۱۵۷..... ۱-۲-۵-۶ تحلیل عملکردی عملیات ظرفیت بخش هوایی
- ۱۵۸..... ۲-۲-۵-۶ قیاس مثال ساده مدل یکپارچه با حالت غیر یکپارچه در عمل
- ۱۵۸..... ۶-۶ جمع‌بندی نهائی
- ۱۵۹..... فصل ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۵۹.....	خلاصه و جمع بندی	۱-۷
۱۶۴.....	نتیجه گیری	۲-۷
۱۶۵.....	پیشنهادات تحقیق و مطالعات آتی	۳-۷
۱۶۸.....	فهرست منابع	۸-۷

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: قوانین جدایی طولی در شرایط IFR در یک باند در ایالات متحده (سال ۲۰۰۰) (FAA,) (2001).....	۱۹
جدول ۲-۲: فواصل جدایی در حالت برخاست (nmi) (FAA, 2001).....	۲۱
جدول ۳-۲: جدایی در فرودگاههای میلان و رم در حالت A-A (nmi) (Neufville and Odoni, 2003).....	۲۲
جدول ۴-۲: فواصل جدایی بین باندهای موازی در شرایط IFR (Neufville and Odoni, 2003).....	۲۲
جدول ۵-۲: ظرفیت انواع باندها در شرایط VFR و IFR (Horonjeff and McKelvey, 1994).....	۲۵
جدول ۱-۳: عملیات حرارتی و معادل آن در مسائل بهینه‌سازی.....	۹۷
جدول ۱-۴: طرح مدل و حل مسأله.....	۱۰۵
جدول ۲-۴: برخی از قابلیت‌های نرم‌افزار Lingo.....	۱۰۷
جدول ۳-۴: تخصیص زمان‌ها برای مسائل آزمایشی کوچک - مقیاس.....	۱۱۱
جدول ۴-۴: پارامترهای عملیات حرارتی و معادل آنها در مسائل بهینه‌سازی.....	۱۱۱
جدول ۱-۶: نتیجه تحلیل برنامه به صورت جدول زمانی.....	۱۳۴
جدول ۲-۶: نتیجه تحلیل برای مسائل مختلف.....	۱۳۸
جدول ۳-۶: نتایج مربوط به مسأله آزمایشی ۱.....	۱۴۱
جدول ۴-۶: نتایج مربوط به مسأله آزمایشی ۲.....	۱۴۱
جدول ۵-۶: نتایج مربوط به مسأله آزمایشی ۵.....	۱۴۲
جدول ۶-۶: نتایج مربوط به مسأله آزمایشی ۳.....	۱۴۲
جدول ۷-۶: نتایج مربوط به مسأله آزمایشی ۴.....	۱۴۲
جدول ۸-۶: تعریف مسائل نمونه.....	۱۴۵
جدول ۹-۶: انتخاب پارامترهای SA برای مسأله نمونه ۳ (J=15).....	۱۴۶
جدول ۱۰-۶: انتخاب پارامترهای SA برای مسأله نمونه ۴ (J=15).....	۱۴۶
جدول ۱۱-۶: انتخاب پارامترهای SA برای مسأله نمونه ۵ (J=20).....	۱۴۶
جدول ۱۲-۶: جدول گانت برای مسأله ۱ در حالت wait.....	۱۴۷
جدول ۱۳-۶: جدول گانت برای مسأله ۲ در حالت wait.....	۱۴۸

- جدول ۶-۱۴: جدول گانت برای مسأله ۳ در حالت *wait* ۱۴۹
- جدول ۶-۱۵: جدول گانت برای مسأله ۱ در حالت *No-Wait* ۱۴۹
- جدول ۶-۱۶: جدول گانت برای مسأله ۲ در حالت *No-Wait* ۱۵۰
- جدول ۶-۱۷: جدول گانت برای مسأله ۳ در حالت *No-Wait* ۱۵۱
- جدول ۶-۱۸: ترتیب هواپیماها بر روی مسیرهای هوایی در روش تصادفی ۱۵۱
- جدول ۶-۱۹: ترتیب هواپیماها بر روی باندها در روش تصادفی ۱۵۲
- جدول ۶-۲۰: ترتیب هواپیماها بر روی مسیرهای هوایی در روش *WEDD* ۱۵۲
- جدول ۶-۲۱: ترتیب هواپیماها بر روی باندها در روش *WEDD* ۱۵۲
- جدول ۶-۲۲: ترتیب هواپیماها بر روی مسیرهای هوایی در روش ابتکاری ۱۵۲
- جدول ۶-۲۳: ترتیب هواپیماها بر روی مسیرهای باندها در روش ابتکاری ۱۵۳
- جدول ۶-۲۴: مقدار میانگین و انحراف معیار تابع هدف مسأله‌ی ۱ ۱۵۳
- جدول ۶-۲۵: مقدار میانگین و انحراف معیار تابع هدف مسأله‌ی ۲ ۱۵۴
- جدول ۶-۲۶: مقدار میانگین و انحراف معیار تابع هدف مسأله‌ی ۳ ۱۵۴
- جدول ۶-۲۷: نتیجه تحلیل برنامه به صورت جدول زمانی ۱۵۵
- جدول ۶-۲۸: مقادیر تابع هدف مدل نهائی برای مسائل کوچک-مقیاس با روش فرا-ابتکاری ۱۵۵
- جدول ۶-۲۹: مقادیر تابع هدف مدل نهائی برای مسائل بزرگ-مقیاس ۱۵۶
- جدول ۶-۳۰: مقادیر تابع هدف مدل نهائی برای مسائل بسیار بزرگ-مقیاس ۱۵۶

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل ۱-۲: بخش‌های اصلی فرودگاه (Horonjeff and McKelvey, 1994)
۱۳	شکل ۲-۲: رابطه بین ظرفیت و تأخیر (Horonjeff and McKelvey, 1994)
۱۸	شکل ۳-۲: رابطه بین ظرفیت و ایمنی (Xie and Shortle, 2004)
۲۱	شکل ۴-۲: گردهادهای ایجاد شده در پشت هواپیما (Dempsey, 2000)
۲۳	شکل ۵-۲: جدایی قطری بین دو هواپیما (Neufville and Odoni, 2003)
۲۴	شکل ۶-۲: باندهای پله‌ای (Neufville and Odoni, 2003)
۲۵	شکل ۷-۲: انواع ترکیبات باندهای پرواز باندهای (Horonjeff and McKelvey, 1994)
۲۶	شکل ۸-۲: طبقه بندی شرایط جوی در فرودگاههای ایالات متحده (Neufville and Odoni, 2003)
Neufville and Odoni, ()	شکل ۹-۲: دو مورد از ترکیبهای باند در دو شرایط آب و هوایی مختلف (Neufville and Odoni, 2003)
۲۷	شکل ۱۰-۲: دو مورد از ترکیبهای پر ظرفیت باند در فرودگاه لوگان بستن (Neufville and Odoni, 2003)
۲۸	شکل ۱۱-۲: یک خروجی ۴۵ درجه متصل شونده به باند خزش (Idris, 2001)
۳۲	شکل ۱۲-۲: قابلیت ایجاد تراکم در فرودگاه لوگان بستن (Neufville and Odoni, 2003)
۳۵	شکل ۱۳-۲: اجزاء تشکیل دهنده سیستم ATM (Anagnostakis et al., 2001)
۴۴	شکل ۱۴-۲: مثالی از سیستم فرودگاه با دو باند و نقاط تلاقی (Anagnostakis et al., 2004)
۴۷	شکل ۱۵-۲: لایه‌های اهداف ROM (Anagnostakis et al., 2004)
۴۹	شکل ۱۶-۲: فضای جستجوی منفصل، غیرمحدب و دوبعدی (C)، (Anagnostakis et al., 2001)
۵۳	شکل ۱۷-۲: روشهای ورود به فضای TRACON فرودگاه دالاس (Isaacson et al., 2001)
۵۹	شکل ۱۸-۲: تقسیم‌بندی مسیر حرکت هواپیما به بخشها (Isaacson et al., 1997)
۶۲	شکل ۱۹-۲: <i>DOF</i> امتداد بخش پایه (Isaacson et al., 1997)
۶۳	شکل ۲۰-۲: ترتیب بخشهای مسیر (Isaacson et al., 2001)
۶۳	شکل ۲۱-۲: نقاط ثابت و دروازه‌های ورودی و خروجی فضای هوایی فرودگاه دالاس (Jung et al., 2002)
۶۵	شکل ۲۲-۲: بخشهای مسیر خروجی (Jung et al., 2002)

- شکل ۲-۲۳: درجات آزادی امتداد باد پهلو و باز کردن مسیر (Augustine et al., 2002)..... ۶۶
- شکل ۲-۲۴: نمودار ظرفیت فضای هوایی (Bianco et al., 2006)..... ۷۶
- شکل ۲-۲۵: نمودار خروجی برنامه‌ریزی پرواز..... ۷۷
- شکل ۳-۱: دسته‌بندی مسائل زمان‌بندی (عباسیان، ۱۳۷۸)..... ۷۹
- شکل ۳-۲: سلسله مراتب پیچیدگی مسائل قطعی زمان‌بندی (طبق مدل گراهام) (نخعی و احمدی زر، ۱۳۸۲)..... ۸۷
- شکل ۳-۳: دسته‌بندی روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی (عباسیان، ۱۳۷۸)..... ۹۴
- شکل ۴-۱: مراحل انجام تحقیق..... ۱۰۴
- شکل ۵-۱: دو مرحله اساسی در مدل FFS..... ۱۱۷
- شکل ۶-۱: گام اول اجرای برنامه جهت آماده‌سازی و ورود داده‌ها (حالت استاتیک)..... ۱۳۱
- شکل ۶-۲: گام دوم اجرای برنامه جهت تحلیل (حالت استاتیک)..... ۱۳۱
- شکل ۶-۳: نتیجه تحلیل برنامه به صورت نمودار گانت (حالت استاتیک)..... ۱۳۲
- شکل ۶-۴: گام اول اجرای برنامه جهت آماده‌سازی داده‌ها (حالت دینامیک)..... ۱۳۳
- شکل ۶-۵: گام دوم اجرای برنامه جهت تحلیل..... ۱۳۴
- شکل ۶-۶: نتیجه تحلیل برنامه به صورت نمودار گانت (حالت دینامیکی)..... ۱۳۵
- شکل ۶-۷: گام اول اجرای برنامه جهت آماده‌سازی داده‌ها..... ۱۳۸
- شکل ۶-۸: ترتیب هواپیماها بر روی مسیر هوایی در یک توالی..... ۱۳۹
- شکل ۶-۹: ترتیب هواپیماها بر روی مسیر هوایی پس از جابجائی..... ۱۴۰
- شکل ۶-۱۰: نمودار ظرفیت- تأخیر (مجموع دیرکردهای وزن‌دار)..... ۱۵۷
- شکل ۶-۱۱: نمودار ظرفیت- تأخیر (مجموع زمانهای تکمیل وزن‌دار)..... ۱۵۷