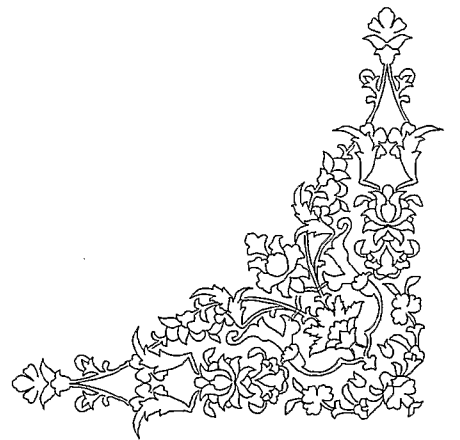
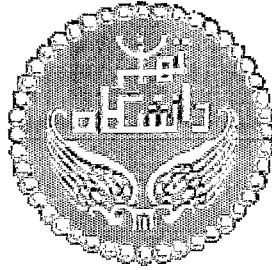


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



٩٤٠٢١



دانشگاه تهران  
دانشکده فنی

## تدوین مدل بهینه سازی زمان - هزینه - منابع با استفاده از روش های تکاملی و مطالعه موردی یک پروژه عمرانی

نگارش:

مهدی توکلان

اساتید راهنما:

سرکار خانم دکتر بنفشه زهرایی

جناب آقای دکتر امیر محمد امیر ابراهیمی

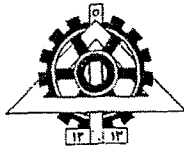
جناب آقای دکتر کامبیز بهنیا

۱۳۸۷ / ۲ / ۱۷

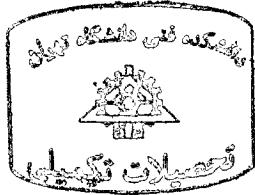
پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی عمران، گرایش مهندسی و مدیریت ساخت

تیر ۱۳۸۷

۹۴۵۲۱



بسمه تعالی



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده مهندسی عمران

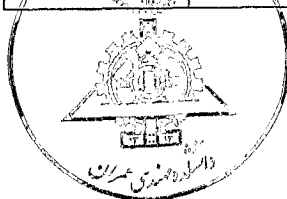
### گواهی دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

هیأت داوران پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای مهدی توکلان به شماره دانشجویی ۸۱۰۲۸۵۱۴۲ در رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت را در تاریخ ۱۳۸۵/۰۴/۱۵ با عنوان تدوین مدل بهینه سازی زمان-هزینه-منابع با استفاده از روش های تکاملی و مطالعه موردی یک پروژه عمرانی

به عدد  به حروف  با نمره نهایی  و درجه  ارزیابی کرد.

ردیف	مشخصات هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضاء
۱	استاد راهنما استاد راهنمای دوم (حسب مورد)	دکتر بنفشه زهرایی دکتر امیرمحمد امیرابراهیمی	استاد یار دکتری	دانشگاه تهران شرکت تابلیه	
۲	استاد راهنمای سوم	دکتر کامبیز بهنیا	دانشیار	دانشگاه تهران	
۳	استاد داور داخلی	دکتر غلامرضا هروی	استاد یار	دانشگاه تهران	
۴	استاد مدعو	دکتر عباس افشار	استاد	دانشگاه علم و	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی عمران	دکتر عبدا... حسینی	استاد یار	دانشگاه تهران	

این برگه پس از تکمیل توسط هیأت داوران در نخستین صفحه پایان‌نامه درج می‌شود.



## تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب مهدی توکلان تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مهدی توکلان

امضای دانشجو:



تقدیم با پدر و مادر عزیز

عنوان: تدوین مدل بهینه سازی زمان - هزینه - منابع با استفاده از روش های تکاملی

و مطالعه موردی یک پروژه عمرانی

اساتید راهنما: سرکار خانم دکتر زهرایی - جناب آقای دکتر امیر ابراهیمی

استاد مشاور: جناب آقای دکتر بهنیا

دانشجو: مهدی توکلان

دانشگاه تهران - دانشکده مهندسی عمران - مدیریت و مهندسی ساخت

چکیده:

یکی از مهمترین اصول برنامه ریزی و مدیریت پروژه های عمرانی در هر کشور بحث کنترل پروژه می باشد. برآورد دقیق زمان اتمام و هزینه اجرایی و میزان منابع مصرفی در یک پروژه بسیار حائز اهمیت می باشند. به علت عدم قطعیت در ماهیت کنترل پروژه و برنامه ریزی پروژه های ساخت که در محیطی بسیار متغیر اجرا می شوند، به منظور حصول نتایج قابل اطمینان باید روش هایی را به کار برد که در آن ها عدم قطعیت منظور شده باشد. معمولاً تأخیر در اتمام به موقع یک پروژه سبب افزایش هزینه های اجرایی می شود. همچنین عدم برنامه ریزی دقیق در تخصیص منابع مورد نیاز در پروژه ها و تسطیح لازم، منجر به افزایش هزینه ها می شود.

در مواقعی، پیمانکاران به دلیل محدودیت های موجود از جمله انجام چند پروژه به صورت همزمان، شرایط خاص اجرای پروژه و عدم توانایی در تامین منابع پروژه از جمله ماشین آلات ساختمانی، نحوه تخصیص منابع، اهمیت دوچندانی برایشان پیدا می کند. به همین دلیل حتی آمادگی آن را دارند که یک پروژه حاضر را با هزینه بالاتری انجام دهند. در این تحقیق کوشش شده است تا با استفاده از مفاهیم آنالیز موازنه زمان - هزینه و تخصیص و تسطیح منابع، مدل جامعی در بهینه سازی زمان - هزینه - منابع تدوین شود. در نظر گرفتن پارامترهای زمان و هزینه به صورت فازی، قدرت تصمیم گیرندگان را در اتمام پروژه با کمترین هزینه اجرایی در کمترین زمان ممکن با تسطیح و تخصیص منابع افزایش می دهد. همچنین با در نظر گرفتن هزینه واحد و زمان استفاده از هر یک از منابع مختلف در هر پروژه، می توان پارامترهای زمان و هزینه را به منابع مصرفی در هر پروژه وابسته کرد. با توجه به تحقیقات قبلی و منابع در دسترس، الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفته است. در ضمن در نظر گرفتن هزینه و سایر منابع در موازنه زمان - هزینه و تسطیح و تخصیص منابع به طور همزمان در یک مدل در این تحقیق برای اولین بار صورت گرفته است. نتایج این تحقیق در مورد دو مطالعه موردی انجام شده است که نشانگر کارایی مدل توسعه داده شده بوده است.

## تقدیر و تشکر:

سپاس بیکران خدای را که در سایه الطاف خویش مرا یاری نمود تا تلاش های خود را به ثمر برسانم.

در اینجا بر خود لازم می دانم از زحمات و راهنمایی های استاد گرانقدر سرکار خانم دکتر بنفشه زهرایی که در این مدت با راهنمایی های خود، اینجانب را در انجام این تحقیق یاری نمودند، کمال تشکر و قدر دانی نمایم و موفقیت روز افزون ایشان را همواره از ایزد یکتا خواهانم.

همچنین از زحمات و راهنمایی های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر امیر محمد امیر ابراهیمی که علیرغم تمام مشغله کاری، با راهنمایی های ارزشمند خود، موجبات اعتلاء پایان نامه را ایجاد نمودند، کمال تشکر و قدر دانی نمایم و موفقیت روز افزون ایشان را همواره از ایزد یکتا خواهانم.

همچنین از زحمات و راهنمایی های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر کامبیز بهنیا که در طی مراحل انجام این تحقیق بنده را به دفعات از تجربیات گرانقدر خویش بهره مند ساختند و همچنین امکانات لازم را در اختیار بنده قرار دادند، کمال تشکر و قدر دانی نمایم و موفقیت روز افزون ایشان را همواره از ایزد یکتا خواهانم.

و نیز از اساتید عالیقدر هیئت داوری، جناب آقای دکتر عباس افشار، جناب آقای دکتر غلامرضا هروی و جناب آقای دکتر عبد الله حسینی که قبول زحمت نموده و افتخار حضور در جلسه دفاعیه را نصیب اینجانب نمودند، نهایت تشکر و قدر دانی را به عمل می آورم.

بر خود لازم می دانم از زحمات دوست و برادر عزیزم، آقای مهندس رضا اسداللهی که در طول پایان نامه به بنده کمک شایانی کردند، کمال تشکر و قدر دانی نمایم و موفقیت روز افزون ایشان را همواره از ایزد یکتا خواهانم.

## فهرست مطالب :

I.....	چکیده
III.....	فهرست مطالب
VII.....	فهرست اشکال
VIII.....	فهرست جداول

### فصل اول - کلیات

۱.....	مقدمه
--------	-------

### فصل دوم - تعاریف پایه و سابقه مطالعات

۴.....	۱-۲- مقدمه
۴.....	۲-۲- تعاریف
۴.....	۱-۲-۲- مؤلفه های الگوریتم ژنتیک
۴.....	۱-۱-۲-۲- جمعیت اولیه
۵.....	۲-۱-۲-۲- انتخاب
۶.....	۳-۱-۲-۲- تزویج
۷.....	۴-۱-۲-۲- جهش
۸.....	۲-۲-۲- مدل های تصمیم گیری چند هدفه
۸.....	۱-۲-۲-۲- مقدمه
۹.....	۳-۲- سابقه مطالعات صورت گرفته در زمینه الگوریتم های تکاملی چند هدفه
	۱-۳-۲- الگوریتم های تکاملی چند هدفه (Multi Objective Evolutionary Algorithms)
۱۰.....	
۱۴.....	۲-۳-۲- الگوریتم های بهینه سازی نخبه گرا براساس رتبه بندی پارتو
۱۷.....	۴-۲- شناخت و تعیین مشخصات فعالیت های پروژه
۱۷.....	۱-۴-۲- مراحل برنامه ریزی و کنترل پروژه
۱۸.....	۲-۴-۲- روش های ریز کردن پروژه ( Break down )



- ۱۹-۳-۴-۲- انواع روابط میان دو فعالیت .....
- ۲۱-۴-۴-۲- اصول برآورد مدت فعالیت .....
- ۲۳-۵-۴-۲- برآورد مدت اجرای عادی .....
- ۲۴-۶-۴-۲- برآورد مدت اجرای فشرده .....
- ۲۶-۷-۴-۲- شیب هزینه فعالیت .....
- ۲۷-۸-۴-۲- هزینه های مستقیم و غیر مستقیم پروژه .....
- ۲۷-۱-۸-۴-۲- هزینه های مستقیم پروژه .....
- ۲۷-۲-۸-۴-۲- هزینه های غیر مستقیم .....
- ۲۸-۳-۸-۴-۲- هزینه کل پروژه .....
- ۲۸-۴-۸-۴-۲- تغییرات مجموع هزینه ها و نقطه زمان بهینه .....
- ۳۰-۵-۲- روش های کلاسیک تخصیص و تسطیح منابع .....
- ۳۰-۱-۵-۲- مدل های رایج در برنامه ریزی و کنترل پروژه .....
- ۳۰-۱-۱-۵-۲- مدل های با محدودیت زمانی .....
- ۳۰-۲-۱-۵-۲- مدل های با محدودیت مالی .....
- ۳۰-۳-۱-۵-۲- مدل های بدون محدودیت در زمان و هزینه .....
- ۳۱-۲-۵-۲- رویکرد های مختلف به استفاده از منابع .....
- ۳۱-۱-۲-۵-۲- تسطیح منابع .....
- ۳۲-۲-۲-۵-۲- تخصیص منابع .....
- ۳۲-۳-۵-۲- الگوریتم تسطیح منابع محدود .....
- ۳۴-۴-۵-۲- روش برگس برای تسطیح منابع .....
- ۳۵-۶-۲- سابقه مطالعات صورت گرفته در زمینه کاربرد الگوریتم ژنتیک موازنه زمان - هزینه و تسطیح و تخصیص منابع .....
- ۳۵-۱-۶-۲- موازنه زمان - هزینه .....
- ۳۷-۲-۶-۲- تسطیح و تخصیص منابع .....
- ۳۸-۷-۲- جمع بندی .....

## فصل سوم - روش شناسی

- ۳-۱-۱- مقدمه ..... ۳۹
- ۳-۲- دلایل استفاده از الگوریتم ژنتیک ..... ۳۹
- ۳-۳- طرح مسئله ..... ۴۰
- ۳-۳-۱- نحوه مدل کردن با استفاده از الگوریتم ژنتیک ..... ۴۱
- ۳-۳-۱-۱- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله ..... ۴۱
- ۳-۳-۱-۲- تعریف هر کروموزوم ..... ۴۱
- ۳-۳-۱-۳- ترتیب قرار گیری ژن ها در داخل هر کروموزوم ..... ۴۳
- ۳-۳-۱-۴- تعیین مدت انجام ، هزینه میزان و نحوه تخصیص منابع برای هر کروموزوم ..... ۴۴
- ۳-۳-۱-۴-۱- تسطیح منابع به عنوان شرط لازم در مدل ..... ۴۵
- ۳-۳-۱-۵- انتخاب ..... ۴۶
- ۳-۳-۱-۵-۱- تعیین میزان شایستگی کروموزوم ها ..... ۴۷
- ۳-۳-۱-۵-۲- توابع هدف ..... ۴۸
- ۳-۳-۱-۶- توزیع ..... ۴۹
- ۳-۳-۱-۷- جهش ..... ۴۹
- ۳-۴- شرط همگرایی ..... ۴۹
- ۳-۵- قابلیت مدل با در نظر گرفتن محدودیت منابع ..... ۴۹
- ۳-۶- جمع بندی .. ..... ۵۰

## فصل چهارم - مطالعه موردی

- ۴-۱- مقدمه ..... ۵۲
- ۴-۲- بررسی مدل به کار رفته در پایان نامه در دو حالت منابع محدود و منابع نامحدود بر روی یک پروژه ساده عمرانی ..... ۵۳
- ۴-۲-۱- معرفی پروژه ..... ۵۳
- ۴-۲-۲- مقایسه نتایج بهینه سازی زمان- هزینه (TCO) با نتایج بهینه سازی زمان-هزینه-منابع (TCRO) ..... ۶۰
- ۴-۳- مطالعه موردی دوم ..... ۶۳
- ۴-۳-۱- بهینه سازی رابطه هزینه - زمان پروژه مورد مطالعه در حالت عادی ..... ۶۳

۴-۳-۲- بهینه سازی رابطه هزینه - زمان پروژه مورد مطالعه در حالت تأخیر ..... ۶۳  
اطلاعات پروژه..... ۶۴

### فصل پنجم - جمع بندی و پیشنهادات

۵-۱- جمع بندی ..... ۷۶  
۵-۲- پیشنهادات ..... ۷۸

### فصل ششم - مراجع ..... ۷۹

پیوست ۱- برنامه نوشته شده توسط دلفی ۷ ..... ۸۲

پیوست ۲- نتایج مدل بر روی مطالعه موردی اول در حالت منابع محدود

پیوست ۳- فایل ورودی مدل بر روی مطالعه موردی دوم در حالت منابع نامحدود

## فهرست اشکال :

### فصل دوم- تعاریف پایه

- شکل (۱-۲) نمودار جریانی الگوریتم ژنتیک ..... ۵
- شکل (۲-۲) چگونگی انجام توزیع یک نقطه ای ..... ۶
- شکل (۳-۲) رهیافت های مختلف رتبه بندی پارتو..... ۱۰
- شکل (۴-۲) فرم های مختلف محاسبه فضا و موقعیت در الگوریتم های MOEA جهت ایجاد پراکندگی ..... ۱۳
- شکل (۵-۲) مراحل مختلف الگوریتم NSGA-II ..... ۱۷
- شکل (۶-۲) منحنی هزینه - زمان یک فعالیت ..... ۲۵
- شکل (۷-۲) منحنی های هزینه پروژه ..... ۲۸
- شکل (۸-۲) دیاگرام هزینه کل ..... ۲۹
- شکل (۹-۲) توزیع منبع قبل و بعد از تسطیح ..... ۳۲
- شکل (۱۰-۲) فلوچارت الگوریتم تسطیح منابع محدود ..... ۳۳
- شکل (۱۱-۲) فلوچارت روش برگس ..... ۳۴

### فصل سوم - روش شناسی

- شکل (۱-۳) نمودار تخصیص تابع عضویت به پارامتر زمان ..... ۴۲
- شکل (۲-۳) نمودار تخصیص تابع عضویت به پارامتر هزینه مستقیم ..... ۴۲
- شکل (۳-۳) تابع عضویت های گسسته برای مدت زمان انجام هر فعالیت ..... ۴۳
- شکل (۴-۳) ..... ۴۳
- شکل (۵-۳) مراحل الگوریتم NSGA-II ..... ۴۷
- شکل (۶-۳) شمای کلی برنامه ..... ۵۱

### فصل چهارم - مطالعه موردی

- شکل (۱-۴) شبکه اجرایی فعالیت های پروژه ..... ۵۳
- شکل (۲-۴) جبهه پارتوی زمان - هزینه - منابع به ازای هر یک از منابع چهارگانه (مطالعه موردی اول)..... ۵۹
- شکل (۳-۴) مقایسه نتایج بهینه سازی دو هدفه و سه هدفه ..... ۶۱
- شکل (۴-۴) روابط پیابندی مربوط به فعالیت های پروژه ..... ۶۶
- شکل (۵-۴) جبهه پارتوی زمان - هزینه - منابع به ازای هر یک از منابع چهارگانه (مطالعه موردی دوم)..... ۶۷

## فهرست جداول :

- جدول (۱-۲) ویژگی های تعدادی از الگوریتم های تکاملی چند هدفه ..... ۱۲
- جدول (۲-۲) خلاصه ای از کارهای انجام گرفته در مقالات معتبر بین المللی در زمینه بهینه سازی زمان  
- هزینه ..... ۳۶
- جدول (۱-۳) ارزش هر فعالیت ..... ۴۵
- جدول (۱-۴) هزینه استفاده از منابع به ازای هزینه واحد ..... ۵۳
- جدول (۲-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت تجهیز  
کارگاه پروژه ..... ۵۴
- جدول (۳-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت قالب بندی و  
بارگذاری پروژه ..... ۵۴
- جدول (۴-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت خاکبرداری  
پروژه ..... ۵۵
- جدول (۵-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت اجرای تیر  
بتنی پیش ساخته پروژه ..... ۵۵
- جدول (۶-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت تهیه  
فونداسیون و قرار دادن شمع های پروژه ..... ۵۶
- جدول (۷-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت قرار گیری  
شاه تیرهای پروژه ..... ۵۶
- جدول (۸-۴) گزینه های مختلف زمان - هزینه و تعداد و نوع منابع مورد استفاده در فعالیت تنظیم شاه  
تیرهای پروژه ..... ۵۷
- جدول (۹-۴) مقادیر حد مجاز روزانه مصرف منابع (DRL) برای منبع مختلف ..... ۵۷
- جدول (۱۰-۴) نتایج به دست آمده مدل در منابع محدود ..... ۵۸
- جدول (۱۱-۴) نتایج به دست آمده مدل در بهینه سازی دو مرحله ای ..... ۶۰
- جدول (۱۲-۴) مقایسه نتایج مدل پیشنهادی در دو حالت بهینه سازی دوهدفه و سه هدفه با کار  
Zheng و همکاران ..... ۶۲
- جدول (۱۳-۴) مشخصات فعالیت های موجود در پروژه ..... ۶۴
- جدول (۱۴-۴) نتایج به دست آمده مدل در منابع نامحدود با مقدار  $\alpha$ -cut برابر با صفر ..... ۶۹

# فصل اول

## کلیات

## فصل اول

### کلیات

#### مقدمه

امروزه لزوم برنامه‌ریزی مناسب به منظور برآورد صحیح از زمان و هزینه انجام پروژه و میزان منابع مورد نیاز در یک پروژه که تأثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره‌برداری مناسب از پروژه‌هایی همانند احداث سد، ساختن بزرگراه، مجتمع آپارتمانی و غیره دارند، بر کسی پوشیده نیست. این مسأله بخصوص در کشورهای پیشرفته، اهمیت بسیار زیادی دارد. به طور کلی مدیریت و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها و منابع مورد نیاز در یک پروژه، نیازمند تحلیل‌های متنوعی است که یکی از آن‌ها، مدلسازی و تخمین صحیح هزینه و زمان انجام پروژه و میزان و زمان لازم برای استفاده از منابع است. این مسأله کمک شایانی به مدیریت بهینه پروژه و تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی خواهد نمود.

مسأله برنامه‌ریزی و پس از آن کنترل زمانبندی پروژه‌ها، هر روز اهمیتی بیش از گذشته می‌یابد. در فضایی که رقابت شرکت‌ها هر روز نزدیک تر می‌شود و تفاوت‌های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به توفیق یا شکست در مناقصه می‌شود، ارائه برنامه‌ای که منطبق با واقعیت باشد و بتواند تمام واقعیت‌های اقتصادی را در مدل یک پروژه منظور کند، حائز اهمیت زیادی است. این اهمیت نه تنها در ارائه قیمت برای یک پروژه پیش از شروع اجراست، بلکه پس از شروع به کار نیز، وجود یک برنامه زمانبندی با قابلیت مناسب می‌تواند به یک شرکت در مواجهه با انواع مشکلات که بسیاری اوقات خارج از حیطه اختیار آن است، یاری برساند. یک برنامه انعطاف‌پذیر این قابلیت را دارد که با استفاده از ارتباط بین هزینه و زمان در یک پروژه، تغییرات لازم را در هزینه و زمان منابع در نظر بگیرد و راه‌حل‌های مناسب گوناگون را در اختیار کاربران قرار دهد تا بتوانند قبل از اجرای پروژه، برآورد مناسبی از زمان و هزینه اجرایی و میزان منابع مورد نیاز در پروژه را داشته باشند.

برای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، در ابتدای امر، مراحل مختلفی از جمله تحلیل پروژه، برآورد مدت، هزینه و منابع اجرایی و در نهایت زمانبندی پروژه صورت می‌گیرد. در تمامی این موارد، بخصوص در زمان ارزیابی‌های اولیه پروژه فرض می‌شود که تمام فعالیت‌ها در زمان واقعی خود محاسبه شده و اجرا می‌شوند. گاهی اوقات بدلائل مختلف، مدیریت پروژه تصمیم می‌گیرد زمان پروژه را کاهش دهد که این امر تأثیرات مستقیم بر هزینه تمام شده پروژه خواهد داشت.

کاهش زمان با استفاده از تدابیر خاصی از جمله افزایش به کارگیری منابع اجرایی محقق می‌شود که باعث افزایش هزینه‌های پروژه می‌شود. در مواقعی با توجه به روابط فعالیت‌ها، شرایط تأخیر برای پروژه پیش بینی می‌شود که همراه با افزایش هزینه

و در تعاملی داخلی با خسارت های دیر کرد قرار می گیرد و در نتیجه می تواند منجر به کاهش یا افزایش هزینه های کلی شود که این نکته باید توسط مدیریت پروژه بررسی شود.

به منظور بهینه سازی زمان- هزینه و منابع اجرایی در پروژه های عمرانی، روش های مختلفی در دو حوزه آنالیز موازنه زمان - هزینه و تسطیح - تخصیص منابع به کار گرفته می شوند. بدین منظور روش های ریاضی و کاوشی متفاوتی به کار برده شده اند. روش های کاوشی عموماً به مساله وابسته بوده و دست یابی به جواب بهینه را تضمین نمی کنند. از طرف دیگر، روش های ریاضی با افزایش ابعاد مساله و پیچیدگی مساله، کارایی خود را از دست می دهند، هر چند که این روش ها دست یافتن به جواب بهینه را تضمین می کنند.

از جمله مدل های کاوشی متداول برای حل مساله آنالیز موازنه زمان- هزینه می توان به روش فوندال<sup>۱</sup>، مدل سازه ای پراگر<sup>۲</sup>، مدل سختی مصلحی<sup>۳</sup> و مدل زیمنس<sup>۴</sup> اشاره کرد. همچنین از روش های ریاضی هم استفاده شده است که برای نمونه می توان به روش های برنامه ریزی خطی، مدل برنامه ریزی عدد صحیح و مدل برنامه ریزی پویا و همچنین مدل ترکیبی برنامه ریزی خطی و عدد صحیح اشاره کرد. [19]

باتوجه به موارد گفته شده و اهمیت همزمان آنالیز موازنه زمان- هزینه و تخصیص و تسطیح منابع، لزوم به کارگیری یک الگوریتم کارآتر کاملاً احساس می شود. الگوریتم ژنتیک با توجه به خاصیت ذاتی آن در جستجوی تصادفی و هدفمند در فضای شدنی و قابلیت مدل سازی مسائل چند معیاره در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است.

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو و بهینه سازی براساس اصول تکامل طبیعی می باشد. این الگوریتم اجازه می دهد که یک جمعیت متشکل از تعداد زیادی افراد که تحت قوانین انتخاب ویژه ای تشکیل شده اند، طی فرآیند تکامل، تابع برآزش راهبینه نمایند. الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش های بهینه سازی دارای مزیت هایی از جمله بهینه سازی متغیرهای پیوسته یا گسسته با توابع هدف بسیار پیچیده، استفاده از قوانین انتقال احتمالی به جای قوانین قطعی و قابلیت کار با تعداد زیادی متغیر می باشد. به دلیل مشکلات خاص در روش های بهینه سازی کلاسیک، الگوریتم های تکاملی چند هدفه پیشنهاد شده اند که توانایی اجرای مسائل پیچیده را در فضاهای ناپیوسته و چند معیاره دارند. Deb (۲۰۰۱) روش مرتب کردن براساس نقاط غیرپست در الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داد که تحت عنوان

---

<sup>1</sup> Fondahl

<sup>2</sup> Parger

<sup>3</sup> Moselhi

<sup>4</sup> Siemens



Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) نامیده می‌شود و تعدادی از ایرادات روش های چند هدفه را در آن برطرف کرد.

برای اولین بار Lui و Feng (۱۹۹۷) در حل مساله موازنه زمان-هزینه، Hegazy (۱۹۹۹) در مساله تخصیص و تسطیح منابع از روش الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. آن ها در مدل خود، بهینه سازی را به صورت تک هدفه دنبال کردند و تنها با روش وزن دهی به پارامترهای زمان و هزینه، ترجیحات تصمیم گیرنده را در انتخاب گزینه برتر در نظر گرفتند. در این پایان نامه، ابتدا پارامترهای زمان و هزینه با در نظر گرفتن تابع عضویت، به صورت فازی در نظر گرفته شده و سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک و مدل چند هدفه NSGA-II، ضمن تسطیح و تخصیص منابع، جبهه پارتوی<sup>۱</sup> سه بعدی زمان-هزینه-منابع همراه با شرط تسطیح منابع جهت تصمیم گیری توسط مدیران پروژه تدوین می‌شود. نوآوری های اصلی در این پایان نامه عبارتند از:

۱- وابستگی دو مبحث موازنه زمان - هزینه و بهینه سازی تخصیص با شرط تسطیح منابع به یکدیگر با وابسته کردن پارامتر هزینه به تعداد منابع در هر فعالیت و با در نظر گرفتن هزینه واحد هر منبع مصرفی.

۲- در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدت زمان و هزینه اجرایی هر یک از فعالیت های پروژه از طریق فازی سازی پارامترهای زمان و هزینه

در فصل دوم به تعاریف پایه و سابقه مطالعات در زمینه الگوریتم ژنتیک، مدل های تصمیم گیری چند هدفه، آنالیز موازنه زمان-هزینه، تسطیح و تخصیص منابع پرداخته شده است. در فصل سوم، مدل با تمامی جزئیات معرفی خواهد شد و نتایج کاربرد این مدل در دو مطالعه موردی در فصل چهارم ارائه شده است.

---

<sup>۱</sup> مجموعه نقاط بهینه شده در نسل پایانی

## فصل دوم

تعاریف پایه و سابقه مطالعات

## فصل دوم

### تعاریف پایه و سابقه مطالعات

#### ۲-۱-۱- مقدمه

در این فصل از پایان نامه کوشش می‌شود تا در ابتدا به برخی تعاریف پایه و تشریح و بیان سابقه مطالعات در زمینه الگوریتم ژنتیک، مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه از جمله NSGA-II پرداخته شده و سپس تعاریف مربوط به مباحث کنترل پروژه از جمله موازنه زمان-هزینه، تخصیص و تسطیح منابع بیان شده و در ادامه به سوابق کارهای انجام گرفته در زمینه استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه در مباحث کنترل پروژه پرداخته می‌شود.

#### ۲-۲- تعاریف

##### ۲-۲-۱- مولفه‌های الگوریتم ژنتیک

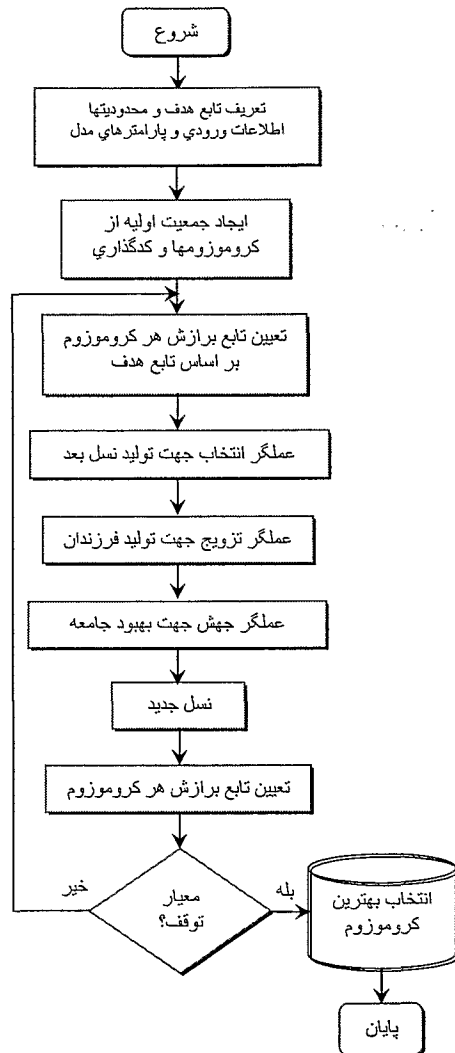
کابرد روش الگوریتم ژنتیک مانند هر روش بهینه‌سازی، با مشخص نمودن متغیرهای بهینه‌سازی، تابع هدف و محدودیت‌ها، اطلاعات ورودی و پارامترهای مدل شروع می‌شود. الگوریتم ژنتیک، با آزمون همگرایی به شیوه‌ای متفاوت از سایر روش‌های بهینه‌سازی، به پایان می‌رسد. ارتباط بین مولفه‌های الگوریتم ژنتیک در نمودار جریان شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

##### ۲-۲-۱-۱- جمعیت اولیه

الگوریتم ژنتیک با گروهی از کروموزوم‌ها که جمعیت نام دارد، آغاز می‌شود. هر کروموزوم از تعدادی ژن تشکیل شده است. در داخل هر ژن مقدار عددی قرار می‌گیرد که به آن آلل<sup>۱</sup> می‌گویند. متناسب با تابع هدف و تابع برازش برای هر کروموزوم و محدودیت اطلاعات ورودی و پارامترهای مدل، مقدار تابع هدف برای هر کروموزوم بدست می‌آید.

---

<sup>۱</sup> Allel



شکل (۱-۲): نمودار جریانی الگوریتم ژنتیک [1]

## ۲-۱-۲-۲- انتخاب

پس از ایجاد جمعیت اولیه از کروموزوم ها، مرحله انتخاب می باشد. بقای بهترین کروموزوم دلالت بر رد کردن کروموزوم ها با مقدار تابع هدف نامناسب دارد. ابتدا تعداد لازم کروموزوم ها ( $N_{pop}$ ) از بهترین مقدار تابع هدف تا بدترین مقدار مرتب می شوند، سپس بهترین کروموزوم ها برای ادامه، انتخاب و بقیه حذف می شوند. نرخ انتخاب  $X_{rate}$  کسری از  $N_{pop}$  می باشد که برابر تعداد کروموزوم هایی است که برای مرحله بعدی (تزیوج) بایستی انتخاب شوند. تعداد کروموزوم هایی که در هر نسل نگاه داشته می شوند ( $N_{keep}$ ) برابر است با:

$$N_{keep} = X_{rate} \times N_{pop}$$