

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشکده مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - گرایش صنایع

**مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع تحت تابع هدف  
کمینه سازی مجموع هزینه های جریمه تاخیر استفاده از منابع  
با استفاده از الگوریتم های فراابتکاری**

نگارش

رامین گلستانه

استاد راهنما

دکتر عزیز اله جعفری

اساتید مشاور

دکتر محمد خلیل زاده

مهندس حسین کریمی

شهریور ۱۳۹۲

## تقدیم

خداوند رحمان و رحیم را سپاسگزارم که به من پدر و مادری فداکار عطا نمود تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش، تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند

با احترام تقدیم به

پدرم، اول استادم، که همواره چتر محبتش بر سرم است

بزرگواری که الفبای زندگی را از او آموختم

مادرم، بلند تکیه گاهم، که دامن پرمهرش یگانه پناهم است

مهربانی که عشق ورزیدن را از او آموختم

## تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش به درگاه پروردگار که لذت حیات بخشید و از سرچشمه جوشان لطف و مرحمت بی منتها و بی منت خود سیرابم کرد، خداوندا نعمت بی کرانت را توان سپاس گزاریم نیست، مرا کمک کن که دانش اندکم گامی باشد برای متعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

اکنون که به یاری حق تعالی، نگارش پایان نامه ام را به اتمام رسانیده ام، لازم میدانم که از زحمات اساتید محترم تشکر و قدردانی نمایم.

با خضوع و خشوع بسیار از الطاف و راهنمایی‌های مدبرانه و دلسوزانه جناب آقای دکتر عزیز اله جعفری استاد محترم راهنما نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

تشکرات قلبی خود را استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد خلیل زاده استاد محترم مشاور که در طی تمام مراحل انجام پژوهش در کمال صبر و شکیبایی، با راهنمایی‌های ارزنده خود اینجانب را در انجام پژوهش یاری نمودند ابراز می‌دارم.

سپاس و قدردانی فراوان از راهنمایی‌های استاد ارجمند جناب آقای مهندس حسین کریمی، استاد محترم مشاور که در طی این پژوهش از هیچ لطفی دریغ نکرده و همیشه مشتاقانه پذیرای بنده بودند و انجام این پژوهش تحت راهنمایی‌های ایشان برایم تجربه‌ای بود بسیار ارزنده.

## چکیده

مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع یکی از موضوع‌های مهم حوزه زمان‌بندی پروژه می‌باشد. بنابراین، هدف این پایان‌نامه مطالعه یک مسئله خاص و جدید زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع است که تابع هدف آن، کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های جریمه تأخیر استفاده از منابع است. در این مسئله که در پروژه‌ها کاربرد زیادی هم دارد، فرض می‌شود که منابع تجدیدپذیر نظیر جرثقیل و ماشین‌های حفاری، محدود و پرهزینه هستند و در پروژه‌های دیگر استفاده می‌شوند، بنابراین آنها را باید اجاره کرد و نمی‌توان تمام وقت آنها را در اختیار یک پروژه قرار داد. به عبارت دیگر، زمان مشخص و از پیش تعیین شده برای در اختیار گرفتن این منابع و همچنین موعد مقرر برای برگرداندن آنها وجود دارد؛ طوری که هیچ منبعی پیش از زمان تعیین شده در دسترس نیست، اما پس از انقضای مهلت از پیش تعیین شده، می‌توان این منابع را با توجه به نوعشان با پرداخت جریمه همچنان در اختیار داشت. همچنین، فرض می‌شود که از هر منبع بیش از یک واحد در دسترس می‌تواند قرار گیرد. این مسئله را در قالب مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مدل خواهیم کرد. از آنجا که مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع NP-Hard است و مسئله ما نیز شرایطی خاص و تعمیم یافته از آن است و نیز روش‌های دقیق<sup>۱</sup> فقط برای شبکه‌های کوچک مناسب می‌باشند، بنابراین الگوریتم‌های فراابتکاری<sup>۲</sup> برای این مسئله رویکردهای عملی و بهتری هستند. از این رو، ما در این پایان‌نامه از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کرده‌ایم. مسئله تعریف شده در این پایان‌نامه خود به دو زیر مسئله تقسیم می‌شود.

در مسئله اول که فقط منابع تجدیدپذیر را در نظر می‌گیریم، برای حل مسئله در شبکه‌های نزدیک به دنیای واقعی از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید<sup>۳</sup> (SA) استفاده می‌کنیم. در نهایت، برای اعتبارسنجی مدل

---

<sup>1</sup> Exact Methods

<sup>2</sup> Metaheuristic Algorithms

<sup>3</sup> Simulated Annealing

و روش حل<sup>۱</sup> از رویکردهایی همچون مقایسه چند الگوریتم فراابتکاری با هم و نیز آزادسازی محدودیت منابع<sup>۲</sup> بهره می‌بریم. بدین ترتیب که ابتدا الگوریتم SA پیشنهادی را با الگوریتم‌های ژنتیک<sup>۳</sup> (GA) و جست‌وجوی ممنوعه<sup>۴</sup> (TS) مقایسه می‌کنیم و سپس برای اعتبارسنجی هرچه بیشتر، محدودیت منابع را حذف می‌کنیم و مسئله را به مسئله زمان‌بندی پروژه<sup>۵</sup> (PSP) تبدیل می‌کنیم و مجدداً الگوریتم SA پیشنهادی را هم با روش دقیق هم با الگوریتم‌های GA و TS مقایسه می‌نماییم. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که هم مدل و هم روش حل، اعتبار بالایی دارند.

در مسئله دوم که کاملاً شبیه مسئله اول است، علاوه بر منابع تجدیدپذیر، منابع تجدیدناپذیر را نیز در نظر می‌گیریم و به دنبال کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های منابع خواهیم بود. در این مسئله برای حل از الگوریتم فراابتکاری ایمنی مصنوعی<sup>۶</sup> (AIA) استفاده می‌کنیم و برای ارزیابی عملکرد این الگوریتم نیز مقادیر تابع هدف حاصله از آن را با پاسخ‌های حاصله از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید مقایسه می‌نماییم. نتایج حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی کارایی مناسبی دارد.

**کلمات و واژگان کلیدی:** زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع، هزینه‌های جریمه تأخیر منابع،

الگوریتم‌های فراابتکاری

---

<sup>1</sup> Solution Procedure

<sup>2</sup> Resource Constraint Relaxation

<sup>3</sup> Genetic Algorithm

<sup>4</sup> Tabu Search

<sup>5</sup> Project Scheduling Problem

<sup>6</sup> Artificial Immune Algorithm

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ح	اختصارات.....
۱	فصل اول- مقدمه و کلیات .....
۱-۱	۱- مقدمه .....
۵	۲-۱- جمع بندی و خلاصه .....
۶	فصل دوم- تعریف RCPSP، استراتژیها و انواع طبقه بندی آن .....
۷	۱-۲- مقدمه .....
۷	۲-۲- تعریف RCPSP .....
۸	۳-۲- استراتژیهای RCPSP .....
۸	۲-۳-۱- انواع تبادل .....
۱۰	۲-۳-۲- استفاده از شناوری فعالیت ها .....
۱۱	۲-۳-۳- طولانی کردن مدت فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان .....
۱۲	۲-۳-۴- شکستن فعالیت .....
۱۴	۲-۳-۵- استفاده از اضافه کاری .....
۱۴	۲-۳-۶- افزایش مدت زمان پروژه .....
۱۴	۲-۴-۱- انواع طبقه بندی مسئله RCPSP .....
۱۴	۲-۴-۱-۱- فعالیت .....
۱۶	۲-۴-۲- منابع .....
۱۶	۲-۴-۲-۱- منابع تجدید پذیر .....
۱۶	۲-۴-۲-۲- منابع تجدید ناپذیر .....
۱۷	۲-۴-۲-۳- منابع تجدیدپذیر جزئی .....
۱۷	۲-۴-۲-۴- منابع با محدودیت دوگانه .....
۱۸	۲-۴-۳- روابط پیشنیازی .....
۲۰	۲-۴-۴- تابع هدف .....
۲۰	۲-۴-۴-۱- تعداد تابع هدف .....
۲۱	۲-۴-۴-۲- نوع تابع هدف .....

۲۴	..... شکل نمایش شبکه فعالیت‌ها
۲۶	..... تعداد پروژه
۲۶	..... جمع‌بندی و خلاصه
۲۷	..... فصل سوم- مدل پایه مسئله RCSPSP و روش‌های حل آن
۲۸	..... ۱-۳- مقدمه
۲۸	..... ۲-۳- مدل پایه مسئله RCSPSP
۲۹	..... ۳-۳- روش‌های حل مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع
۲۹	..... ۱-۳-۳- روش‌های دقیق
۳۰	..... ۲-۳-۳- روش‌های ابتکاری
۳۱	..... ۱-۲-۳-۳- طرح‌های تولید زمانبندی
۳۲	..... ۱-۱-۲-۳-۳- روش برنامه ریزی متوالی
۳۸	..... ۲-۲-۳-۳- قواعد اولویت
۴۱	..... ۳-۳-۳- روش‌های فراابتکاری
۴۲	..... ۱-۳-۳-۳- الگوریتم ژنتیک
۴۲	..... ۱-۱-۳-۳-۳- ساختار کلی الگوریتم ژنتیک
۴۳	..... ۲-۳-۳-۳- الگوریتم جستجوی ممنوعه
۴۵	..... ۱-۲-۳-۳-۳- حافظه کوتاه‌مدت
۴۶	..... ۴-۳- جمع‌بندی و خلاصه
۴۷	..... فصل چهارم- جمع‌بندی مطالعه ادبیات و مطالعه آماری
۴۸	..... ۱-۴- مقدمه
۴۸	..... ۲-۴- جامعه آماری
۴۹	..... ۳-۴- مطالعه ادبیات بر مبنای ساختار مسئله
۵۵	..... ۴-۴- مطالعه ادبیات بر مبنای روش حل
۶۰	..... ۵-۴- جمع‌بندی و خلاصه
۶۱	..... فصل پنجم- تعریف مسئله و ارائه مدل ریاضی پیشنهادی
۶۲	..... ۱-۵- مقدمه
۶۲	..... ۲-۵- تعریف مسئله
۶۳	..... ۳-۵- مطالعه ادبیات مسئله موردنظر
۶۵	..... ۴-۵- تعریف مسئله اول



۶۵	۵-۵- مدل ریاضی مسئله اول
۶۷	۵-۶- تعریف مسئله دوم
۶۹	۵-۷- مدل ریاضی مسئله دوم
۷۰	۵-۸- جمع‌بندی و خلاصه
۷۱	فصل ششم- روش های حل و اعتبار سنجی
۷۲	۶-۱- مقدمه
۷۳	۶-۲- روش حل مسئله اول
۷۴	۶-۲-۱- الگوریتم شبیه سازی تبرید پیشنهادی (Simulated Annealing)
۷۶	۶-۲-۱-۱- فرآیند حل الگوریتم SA پیشنهادی
۷۶	۶-۲-۱-۲- تولید همسایگی
۷۷	۶-۲-۱-۳- تعمیر کردن جواب
۷۸	۶-۲-۲- مطالعات محاسباتی (Computational Study)
۷۹	۶-۲-۳- ارزیابی عملکرد الگوریتم SA پیشنهادی
۸۴	۶-۳- مسئله دوم
۸۵	۶-۳-۱- الگوریتم ایمنی مصنوعی پیشنهادی
۸۷	۶-۳-۱-۱- جمعیت اولیه
۸۷	۶-۳-۱-۲- فرآیندانتخاب کلونال
۸۸	۶-۳-۱-۳- بلوغ میل ترکیبی
۸۸	۶-۳-۱-۴- فوق جهش (جهش بیش از حد)
۸۹	۶-۳-۱-۵- ویرایش گیرنده
۸۹	۶-۳-۲- مطالعات محاسباتی
۹۰	۶-۳-۳- ارزیابی عملکرد الگوریتم AIA پیشنهادی
۹۲	۶-۴- جمع‌بندی و خلاصه
۹۴	فصل هفتم- تحلیل نتایج حاصله
۹۵	۷-۱- مقدمه
۹۵	۷-۲- تحلیل نتایج حاصله از مسئله اول
۹۷	۷-۳- تحلیل نتایج حاصله از مسئله دوم
۹۸	۷-۴- جمع‌بندی و خلاصه
۹۹	جمع‌بندی و پیشنهادات آتی

۱۰۰	۸-۱- نتیجه گیری مسئله اول
۱۰۱	۸-۲- نتیجه گیری مسئله دوم
۱۰۲	۸-۳- پیشنهادهایی برای پژوهش های آتی
۱۰۳	فهرست مراجع
۱۱۰	پیوست الف- فهرست اصطلاحات انگلیسی و فارسی
۱۱۴	چکیده انگلیسی

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۴- نتایج آماری حاصل از ادبیات (انقطاع فعالیت ها	۵۴
جدول ۳-۴- نتایج آماری حاصل از ادبیات (مد اجرایی فعالیت ها)	۵۴
جدول شماره ۴-۴- نتایج آماری حاصل از ادبیات (تعداد تابع هدف)	۵۴
جدول ۵-۴- نتایج آماری حاصل از ادبیات (رابطه پیش نیازی فعالیت‌ها)	۵۴
جدول ۲-۴- مطالعه ادبیات بر مبنای روش حل	۵۶
جدول ۱-۶- اطلاعات منابع شبکه پروژه مثال دو	۷۳
جدول ۲-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های دقیق و فراابتکاری برای شبکه مثال دو	۷۴
جدول ۳-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و GA و TS برای J30	۸۰
جدول ۴-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و GA و TS برای J60	۸۱
جدول ۵-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و GA و TS و روش دقیق برای J30 در حالت آزاد سازی محدودیت منابع ...	۸۳
جدول ۶-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و GA و TS و روش دقیق برای J60 در حالت آزاد سازی محدودیت منابع .....	۸۴
جدول ۷-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های AIA و SA برای J30	۹۲
جدول ۸-۶- مقایسه عملکرد الگوریتم های AIA و SA برای J60	۹۲

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- نمونه ای از تبادل زمان هزینه .....	۹
شکل ۲-۲- نمونه‌ای از استراتژی استفاده از شناوری فعالیت‌ها (قبل از پیاده‌سازی) .....	۱۰
شکل ۳-۲- نمونه ای از استراتژی استفاده از شناوری فعالیت‌ها (بعد از پیاده‌سازی) .....	۱۱
شکل ۴-۲- نمونه‌ای از استراتژی طولانی کردن مدت زمان فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان (قبل از پیاده‌سازی) ..	۱۱
شکل ۵-۲- نمونه ای از استراتژی طولانی کردن مدت زمان فعالیت و کاهش نیاز به منابع در واحد زمان (بعد از پیاده‌سازی) ..	۱۲
شکل ۶-۲- نمونه‌ای از استراتژی شکستن فعالیت (قبل از پیاده‌سازی) .....	۱۳
شکل ۷-۲- نمونه‌ای از استراتژی شکستن فعالیت (بعد از پیاده‌سازی) .....	۱۳
شکل ۸-۲- نمای کلی از انواع تقسیم‌بندی فعالیت .....	۱۶
شکل ۹-۲- نمای کلی از تقسیم‌بندی انواع منابع .....	۱۸
شکل ۱۰-۲- نمای کلی از تقسیم‌بندی روابط پیشنهادی .....	۲۰
شکل ۱۱-۲- تقسیم‌بندی تابع هدف از نظر تعداد .....	۲۱
شکل ۱۲-۲- نمای کلی از تقسیم‌بندی تابع هدف از نظر نوع .....	۲۳
شکل ۱۳-۲- نمای کلی از تقسیم‌بندی تابع هدف از نظر ماهیت .....	۲۴
شکل ۱۴-۲- نمایش شبکه AOA .....	۲۵
شکل ۱۵-۲- نمایش شبکه AON .....	۲۵
شکل ۱۶-۲- تقسیم‌بندی پروژه از نظر تعداد .....	۲۶
شکل ۱-۳- اطلاعات مثال یک، برنامه‌ریزی متوالی .....	۳۳
شکل ۲-۳- مرحله اول، مثال یک، برنامه‌ریزی متوالی .....	۳۴
شکل ۳-۳- مرحله دوم، مثال یک، برنامه‌ریزی .....	۳۴
شکل ۴-۳- مرحله سوم، مثال یک، برنامه‌ریزی متوالی .....	۳۵
شکل ۵-۳- اطلاعات مثال ۲-۳- ۲-۱-۲- . برنامه ریزی موازی .....	۳۶
شکل ۶-۳- مرحله اول، مثال یک، برنامه‌ریزی موازی .....	۳۷
شکل ۷-۳- مرحله دوم، مثال شماره یک، برنامه‌ریزی موازی .....	۳۷
شکل ۸-۳- مرحله سوم، مثال یک، برنامه‌ریزی موازی .....	۳۸
شکل ۹-۳- نمای کلی از تقسیم‌بندی قواعد اولویت .....	۳۹

شکل ۳-۱۰- نمای کلی از روش‌های حل RCPSP.....	۴۱
شکل ۴-۱- تقسیمبندی مقالات.....	۴۹
جدول ۴-۱- مطالعه ادبیات بر مبنای ساختار مسئله.....	۵۰
شکل ۴-۲- نتایج آماری حاصل از مطالعه ادبیات بر مبنای روش‌های حل دقیق ابتکاری و فراابتکاری.....	۵۹
شکل ۴-۳- نتایج آماری حاصل از مطالعه ادبیات بر مبنای روش‌های حل فراابتکاری.....	۵۹
شکل ۴-۴- نتایج آماری حاصل از مطالعه ادبیات- درصد فراوانی مقالات در ژورنال‌ها.....	۶۰
شکل ۵-۱- مسئله تعریف شده در این پایاننامه را به صورت دسته بندی شده.....	۷۰
شکل ۶-۱- شبکه پروژه مثال دو.....	۷۴
شکل ۶-۲- مثالی برای تعمیر کردن جواب.....	۷۷
شکل ۷-۱- نتایج حاصله از مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و TS و GA برای J30.....	۹۶
شکل ۷-۲- نتایج حاصله از مقایسه عملکرد الگوریتم های SA و TS و GA برای J60.....	۹۶
شکل ۷-۳- نتایج حاصله از مقایسه عملکرد الگوریتم های AIA و SA برای J30 و J60.....	۹۸

## اختصارات

AOA	Activity on Arrow	شبکه برداری
AON	Activity on Node	شبکه گرهی
ACO	Ant Colony	الگوریتم کلونی مورچگان
AIA	Artificial Immune Algorithm	الگوریتم ایمنی مصنوعی
CPM	Critical Path Method	روش مسر بحرانی
EFT	Earliest Finish Time	زودترین زمان پایان
EST	Earliest Start Time	زودترین زمان شروع
FF	Finish to Finish	رابطه پایان به پایان
FS	Finish to Start	رابطه پایان به آغاز
GPR	Generalized Precedence Constraints	محدودیت های پیش نیازی عمومی
GA	Genetic Algorithm	الگوریتم ژنتیک
GERT	Graphical Evaluation & Review Technique	روش گرافیکی ارزیابی و بازنگری پروژه ها
GRPW	Greatest Rank Positional Weight	بیشترین جمع طول فعالیت‌های پس نیاز و طول خود فعالیت
GRD	Greatest Resource Demand	بیشترین میزان منبع مورد نیاز
ILP	Integer Linear Programming	برنامه ریزی خطی عد صحیح
LFT	Latest Finish Time	دیرترین زمان پایان
LST	Latest Start Time	دیرترین زمان شروع
LNRJ	Least Non-Related Jobs	کمترین تعداد فعالیت غیر مرتبط
LTM	Long Term Memory	حافظه بلند مدت
LPT	Longest Processing Time	بلند ترین طول فعالیت
MSLK	Minimum Slack	کمترین شناوری
MIS	Most Immediate Successors	بیشترین تعداد پس نیاز مستقیم
MTS	Most Total Successors	بیشترین تعداد پس نیاز کل
NPV	Net Present Value	ارزش فعلی خالص

OBJV	Objective Function Value	مقدار تابع هدف
PSGS	Parallel Scheduling Scheme	طرح تولید زمانبندی موازی
PSO	Particle Swarm Optimization	الگوریتم بهینه سازی توده ذرات
PERT	Project evaluation & Review Technique	روش ارزیابی و بازنگری پروژه ها
PR	Priority Rules	قواعد اولویت
PMI	Project Management Institute	انجمن مدیریت پروژه
PSP	Project Scheduling Problem	مسئله زمانبندی پروژه
RCPSP	Resource Constrained Project Scheduling Problem	زمانبندی پروژه با محدودیت منابع
SS	Scatter Search	الگوریتم جستجوی پراکنده
SGS	Schedule Generation Scheme	طرح تولید زمانبندی
SSGS	Serial Scheduling Scheme	طرح تولید زمانبندی متوالی
STM	Short Term Memory	حافظه کوتاه مدت
SPT	Shortest Processing Time	کوتاهترین طول فعالیت
SA	Simulated Annealing	شبیه سازی تبرید
SF	Start to Finish	رابطه آغاز به پایان
SS	Start to Start	رابطه آغاز به آغاز
TS	Tabu Search	الگوریتم جستجوی ممنوعه

فصل اول

مقدمه و کلیات

**Introduction**



## ۱-۱- مقدمه

در ارتباط با پروژه تعاریف مختلفی وجود دارد که اهم آنها عبارتند از :

- مجموعه‌ای از فعالیت‌ها که برای دستیابی به منظور یا هدف خاصی انجام می‌شوند.
  - پروژه شامل فعالیت‌هایی است که باید در تاریخ، هزینه و کیفیت معین اجرا شود.
  - تلاش‌ها با شروع و پایان مشخصی، موقتی است که برای خلق یک محصول منحصر به فرد، یک خدمت یا یک نتیجه مشخص و یکتا تعهد می‌گردد.
- مدیریت پروژه فعالیت‌های برنامه ریزی، سازماندهی، نظارت بر اجرا و هدایت اجرا را در برمی‌گیرد و سعی دارد تا با استفاده درست از منابع، نتایج مشخص و مورد انتظار را با هزینه توافق شده قبلی در موعد درست خود تحویل دهد. به بیان دیگر مدیریت پروژه به کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزار و تکنیک‌های لازم در اداره جریان اجرای فعالیت‌ها به منظور رفع نیازها و انتظارات متولیان از اجرای پروژه است. مدیریت پروژه<sup>۱</sup> شامل سه مرحله است. (۱) تعریف پروژه و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز که برنامه ریزی پروژه نامیده می‌شود. (۲) زمانبندی پروژه<sup>۲</sup> که توالی زمانی انجام فعالیت‌ها را مشخص

---

<sup>۱</sup> Project Management

<sup>۲</sup> Project Scheduling

می‌کند. ۳) اجرا و کنترل پروژه که رویکرد اصلی آن، تفاوت‌های ایجاد شده بین برنامه زمانبندی تعیین شده و عملکرد واقعی پروژه است (Dorndorf, 2002). همان‌طور که مشخص است یکی از مهم‌ترین وظایف مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی و تهیه زمانبندی اجرای فعالیت‌های پروژه است به طوری که با استفاده بهینه از منابع و تجهیزات، اهداف مورد نظر از جمله تحویل به موقع پروژه محقق شوند. از این‌رو، تمرکز ما در این پایان‌نامه فقط بر روی زمانبندی پروژه می‌باشد.

با توجه به این که امروزه زمانبندی پروژه یکی از ارکان روند انجام پروژه‌های مهندسی است و تقریباً در تمامی پروژه‌های مهندسی می‌توان اثری از آن دید، اما با اندکی تامل در سیر تحول این روند از گذشته تا کنون می‌توان دریافت که وجود برنامه زمانبندی همواره به عنوان یک اصل در پروژه‌های مهندسی مطرح نبوده است، بلکه با پیشرفت علم و کسب تجربه در زمینه چگونگی انجام فعالیت‌های پروژه، مجریان پروژه کم‌کم با این واقعیت آشنا شدند که برای افزایش کیفیت انجام پروژه‌ها، زمانبندی فعالیت‌ها به صورتی که قبل از شروع پروژه زمان انجام تمامی آن مشخص باشد، امری لازم و ضروری است. با توجه به سیر تحول طی شده برای آن که برنامه زمانبندی به عنوان یک اصل در روند انجام پروژه‌های مهندسی درآمد و با اهتمام به این نکته که امروزه با رشد روزافزون علوم مهندسی، علاوه بر موضوع امکان پذیر بودن پروژه‌ها، بهینه بودن آنها نیز حائز اهمیت است، بدیهی است در آینده‌ای نه چندان دور موضوع بهینه‌سازی برنامه زمانبندی نیز کم‌کم به عنوان یک مرحله حیاتی در روند انجام پروژه‌های مهندسی در آید. سازمان مختلف استانداردسازی مدیریت پروژه نظیر انجمن مدیریت پروژه آمریکا PMI<sup>۱</sup> قوانین و رویکردهای مؤثری به منظور بهبود و یکپارچه‌سازی زمانبندی پروژه ارائه کرده‌اند.

تعریف دقیق زمانبندی پروژه<sup>۲</sup> عبارت است از تعیین یک برنامه زمانبندی یا یک توالی زمانی، برای انجام تعدادی فعالیت‌های وابسته به هم که پروژه را تشکیل می‌دهند. منظور از وابستگی فعالیت‌ها

---

1 Project Management Institute

2 Project Scheduling

بحث تقدم و تاخر انجام آنهاست، یعنی ممکن است انجام یک فعالیت منوط به انجام چند فعالیت دیگر باشد که در اینصورت می‌گوییم پروژه دارای محدودیتهای پیش‌نیازی<sup>۱</sup> است. تعیین این برنامه زمانبندی به منظور هدف یا اهداف خاصی صورت می‌گیرد. تقریباً در تمامی پروژه‌ها محدودیتهای پیش‌نیازی بین فعالیتها وجود دارند اما علاوه بر این محدودیتهای، ممکن است نوع دیگری از محدودیتهای تحت عنوان محدودیتهای منابع<sup>۲</sup> نیز در پروژه وجود داشته باشند. معمولاً انجام فعالیتهای پروژه نیازمند استفاده از منبع یا منابعی مشخص است که محدود می‌باشند. بنابراین در برنامه ریزی پروژه علاوه بر اینکه باید به محدودیتهای پیش‌نیازی توجه داشت، برنامه ریزی باید به گونه‌ای انجام گیرد که محدودیت‌های منابع نیز ارضاء شوند. آن دسته از مسائل برنامه ریزی پروژه که محدودیتهای منابع در آنها وجود ندارد یا در نظر گرفته نمی‌شوند، به مسائل برنامه ریزی پروژه بدون محدودیت منابع<sup>۳</sup> و آن دسته که دارای محدودیت منابع هستند و این محدودیتهای در برنامه ریزی پروژه در نظر گرفته می‌شوند، به مسائل برنامه ریزی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP)<sup>۴</sup> معروفند. بنابراین زمانبندی پروژه با محدودیت منابع عبارت است از: تعیین توالی زمانی انجام فعالیت‌های پروژه با توجه به محدودیت‌های پیش‌نیازی و محدودیت منابع. مسئله برنامه‌ریزی پروژه با منابع محدود یکی از مسائل کلاسیک در مباحث تحقیق در عملیات می‌باشد.

از مفروضات این پایان‌نامه این است که ساختار پروژه و اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها از قبیل مدت زمان انجام هر فعالیت<sup>۵</sup>، روابط بین فعالیت‌ها<sup>۶</sup> و اطلاعات مربوط به منابع پروژه نظیر میزان منابع مورد نیاز هر فعالیت<sup>۷</sup> و میزان منابع موجود<sup>۸</sup> مشخص و تعریف شده می‌باشند.

---

1 Precedence Constraints

2 Resource Constraints

3 Resource-Unconstrained Project Scheduling Problems

4 Resource-Constrained Project Scheduling Problems

5 Duration

6Precedence Relation

7 Resource Requirement

8 Resource Availability

پیدایش مدل‌های زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع در اواخر دهه ۱۹۶۰ صورت گرفت. از دیدگاه محاسباتی، حل این مدل‌ها بسیار سخت تر از مدل‌های زمانبندی پروژه می‌باشد. بطوریکه محاسبات پیدا کردن جواب بهینه مسئله با بزرگ شدن ابعاد مسئله بطور نمایی افزایش می‌یابد (Dorndorf, 2002). به عبارت دیگر هنگامی که یک فعالیت به فعالیت‌های پروژه، افزوده می‌شود و اندازه مسئله بزرگ می‌شود، و یا زمانی که محدودیت‌هایی به مسئله اضافه می‌شوند زمان انجام محاسبات به طرز قابل توجهی، افزایش می‌یابد. به همین علت روش‌های دقیق برای حل مسائل زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع در عمل از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. مسئله برنامه ریزی زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع، جزء رده مسائل بهینه سازی NP-hard می‌باشد (Blazewicz et al., 1983). این بدین معنی است که هیچ روش و یا الگوریتمی برای پیدا کردن جواب بهینه مسئله در زمان چند جمله ای<sup>۱</sup>، وجود ندارد. از این رو استفاده از روش‌های ابتکاری<sup>۲</sup> و فراابتکاری در حل این مسائل کاملاً به جا می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده و نیز برای هر چه بیبشتر کاربردی کردن مسئله RCPSP، ایجاب می‌کند که با تعریف مفاهیم جدید مدل‌سازی و فرضیات مختلف و هم چنین ارائه الگوریتم‌ها و روش‌های کارا برای حل آن اقدام کنیم. در این پایان نامه یک مسئله خاص از زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع تعریف می‌شود که علاوه بر کاربردی بودن آن، به دنیای واقعی نیز نزدیک بوده و از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل آن استفاده شده است. بنابراین علاوه بر لزوم بهینه سازی زمانبندی پروژه های مهندسی انتخاب روشی که بتوان در کمترین زمان ممکن، برنامه زمانبندی بهینه را تهیه نماید حائز اهمیت می‌باشد. در پایان این پژوهش، از روش‌های گوناگونی برای اعتبار سنجی مدل و روش‌های حل تعریف شده، استفاده شده است. در نهایت نتایج حاصله حاکی از قابلیت اعتماد مدل و روش حل پیشنهادی می‌باشد.

---

1 Polynomial Time

2 Heuristic