

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
دانشکده مهندسی صنایع

انتخاب و زمان بندی پور تفولیو پروژه‌ها با اهداف چندگانه

مهیار مهرنگار

استاد راهنما: دکتر امیر عباس نجفی

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع - گرایش مهندسی صنایع

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که همیشه راهنما و پشتیبان من بودند

## تقدیر و تشکر

بدین وسیله از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر نجفی که راهنمایی اینجانب را در طول انجام پایان نامه بر عهده داشتند قدردانی و تشکر می‌کنم. این پایان نامه بدون راهنمایی‌های ارزشمند ایشان میسر نبود.

## چکیده

مسائل زمان بندی پروژه و انتخاب پروژه از مسائل مهم در زمینه مدیریت پروژه است که در سال‌های اخیر محققان زیادی به تحقیق در این زمینه پرداخته‌اند. متأسفانه در اکثر این مقالات، محققان دو مبحث زمان بندی پروژه و انتخاب پروژه را به صورت مجزا در نظر گرفته‌اند و تحقیقات بسیار کمی در زمینه تلفیق این دو مبحث وجود دارد، و مقالاتی که این دو موضوع را با هم در نظر گرفته‌اند زمان بندی را در سطح پروژه انجام داده‌اند که زیاد به واقعیت نزدیک نیست. در این تحقیق به بررسی هم زمان مسائل انتخاب و زمان بندی پروژه در سطح فعالیت‌ها پرداخته شده است. و همچنین با در نظر گرفتن مفروضات و محدودیت‌های جدید برای مدل مانند افزودن هزینه های مستقیم و غیر مستقیم پروژه‌ها و پورتفولیو سعی در تکمیل و رفع عیوب مدل‌های دیگر دارد. برای این منظور دو مدل برای مسئله معرفی شده است که مدل اول به صورت تک هدفه با تابع هدف حداکثر سازی سود می‌باشد و مدل دوم به صورت دو هدفه با افزودن تابع هدف کمینه کردن زمان اتمام پورتفولیو به مدل اول ایجاد می‌شود. با توجه به NP-Hard بودن مسئله، برای حل کردن مدل تک هدفه دو الگوریتم فرا ابتکاری: ژنتیک ترکیب شده و جستجوی پراکنده و برای مدل چند هدفه هم دو الگوریتم: ژنتیک با مرتب سازی نا مغلوب و جستجوی هارمونی ارائه شده است. سپس با تنظیم پارامترهای الگوریتم با روش تاگوچی و مقایسه نتایج حاصل از حل مسائل مختلف با ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ در هر دو مدل با الگوریتم‌های ارائه شده، مشخص شد که در مدل تک هدفه الگوریتم ژنتیک ترکیب شده و در مدل چند هدفه الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامطلوب به نتایج بهتری می‌رسند.

**کلمات کلیدی:** انتخاب پروژه، زمان بندی پروژه، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی پراکنده، الگوریتم جستجوی هارمونی، الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نا مغلوب

## فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات موضوع .....	۱
۱-۱ مقدمه .....	۲
۲-۱ هدف از مطالعه موضوع .....	۲
۳-۱ معرفی مسئله .....	۳
۴-۱ روش حل مسئله .....	۴
۵-۱ اهمیت موضوع و انگیزهی انتخاب و جنبه های جدید بودن موضوع .....	۵
۶-۱ مرور کلی بر ادبیات موضوع .....	۵
۷-۱ کاربرد و کاربران مسأله .....	۶
۸-۱ ساختار پایان نامه .....	۶
۹-۱ جمع بندی .....	۷
فصل ۲ مرور ادبیات .....	۸
۱-۲ مقدمه .....	۹
۲-۲ معرفی کارهای انجام شده در زمینه زمان بندی پروژه .....	۹
۱-۲-۲ طبقه بندی مسائل زمان بندی .....	۱۱
۳-۲ معرفی کارهای انجام شده در زمینه انتخاب پروژه .....	۱۹
۴-۲ معرفی کارهای انجام شده در زمینه تلفیق انتخاب و زمان بندی پروژه .....	۲۲
۱-۲-۴-۱ ارائه مدل ها .....	۲۳
۵-۲ دسته بندی مدل ها .....	۳۰
۶-۲ جمع بندی .....	۳۱
فصل ۳ مدل تک هدفه مسئله انتخاب و زمان بندی پورتفولیو پروژه ها .....	۳۲
۱-۳ مقدمه .....	۳۳

۳۳	۲-۳ تعریف مسئله
۳۵	۱-۲-۳ نشانه گذاری
۳۶	۲-۲-۳ مدل ریاضی
۳۷	۳-۳ فرا ابتکاری
۳۸	۱-۳-۳ الگوریتم ژنتیک
۴۴	۲-۳-۳ الگوریتم جستجوی پراکنده
۴۷	۴-۳ تنظیم پارامترها
۵۱	۵-۳ مسائل نمونه
۵۲	۶-۳ نتایج محاسباتی
۵۵	۷-۳ جمع بندی
۵۶	<b>فصل ۴ مدل چند هدفه مسئله انتخاب و زمان بندی پورتفولیو پروژه‌ها</b>
۵۷	۱-۴ مقدمه
۵۷	۲-۴ بهینه سازی چند هدفه
۵۸	۳-۴ الگوریتم فرا ابتکاری
۵۹	۱-۳-۴ الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نا مغلوب
۶۱	۲-۳-۴ الگوریتم جستجوی هارمونی
۶۵	۴-۴ نتایج محاسباتی
۶۵	۱-۴-۴ مسائل نمونه
۶۵	۲-۴-۴ معیارهای مقایسه الگوریتم
۶۸	۵-۴ مقایسه نتایج
۷۳	۱-۵-۴ من ویتنی
۷۵	۲-۵-۴ تاپسیس
۷۷	۶-۴ جمع بندی

فصل ۵ نتیجه گیری .....	۷۸
۱-۵ مقدمه .....	۷۹
۲-۵ جمع بندی و خلاصه نتایج .....	۷۹
۳-۵ پیشنهادات برای تحقیقات آتی .....	۸۰
فهرست مراجع .....	۸۲



## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ جمع بندی محدودیت‌های مدل‌های ارائه شده ..... ۳۱
- جدول ۱-۳ سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک ترکیبی ..... ۴۸
- جدول ۲-۳ سطوح مختلف برای پارامترهای الگوریتم جستجوی پراکنده ..... ۴۸
- جدول ۳-۳ مقادیر بهینه برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک ..... ۵۰
- جدول ۴-۳ مقادیر بهینه برای پارامترهای الگوریتم جستجوی پراکنده ..... ۵۱
- جدول ۵-۳ نتایج محاسباتی و مقایسات دو الگوریتم HGA و GA ..... ۵۳
- جدول ۶-۳ نتایج محاسباتی و مقایسات دو الگوریتم HGA و SS ..... ۵۴
- جدول ۱-۴ مقادیر بهینه برای پارامترهای الگوریتم NSGA-II ..... ۶۸
- جدول ۲-۴ مقادیر بهینه برای پارامترهای الگوریتم جستجوی هارمونی ..... ۶۹
- جدول ۳-۴ مقایسه بین الگوریتم‌های NSGA-II و جستجوی هارمونی ..... ۷۰
- جدول ۴-۴ نتایج حاصل از آزمون من ویتنی ..... ۷۴
- جدول ۵-۴ میانگین مقادیر نهایی شاخص‌ها ..... ۷۶
- جدول ۶-۴ محاسبه میزان ضریب نزدیکی ..... ۷۶

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۳-۱ نمونه ای از ساختار کروموزوم ..... ۴۰
- شکل ۳-۲ عملگر تقاطع تک نقطه ای ..... ۴۱
- شکل ۳-۳ عملگر تقاطع یکنواخت ..... ۴۱
- شکل ۳-۴ نمونه از عملگر جهش ..... ۴۲
- شکل ۳-۵ نمونه ای از عملگر بهبود ..... ۴۳
- شکل ۳-۶ نتایج حاصل از آزمایش تاگوچی بر الگوریتم ژنتیک ..... ۴۹
- شکل ۳-۷ نتایج حاصل از آزمایش تاگوچی بر الگوریتم جستجوی پراکنده ..... ۵۰
- شکل ۳-۸ نمودار همگرایی دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی پراکنده ..... ۵۵
- شکل ۴-۱ فاصله ازدحام برای جواب ۱ ..... ۶۰
- شکل ۴-۲ شمای کلی الگوریتم NSGA-II ..... ۶۰
- شکل ۴-۳ حافظه هارمونی ..... ۶۳
- شکل ۴-۴ نمودار جعبه ای مقایسه شاخص های دو الگوریتم ..... ۷۱
- شکل ۴-۵ نتایج جبهه پارتو دو الگوریتم NSGA-II و جستجوی هارمونی ..... ۷۲

## فصل ۱

### کلیات موضوع

## ۱-۱ مقدمه

در این فصل به توضیح مختصری در مورد مسئله مورد بررسی در این پایان نامه، هدف از موضوع، اهمیت و کاربردهای مسئله، معرفی روش‌های حل مسئله، مرور ادبیات کلی و ذکر ساختار کلی پایان نامه پرداخته است.

بسیاری از مسائلی که در زمینه پروژه‌ها مطرح می‌شود، یا فقط به بررسی روش‌های انتخاب پروژه‌ها برای یک پورتفولیو مناسب می‌پردازد، یا فقط به بررسی زمان بندی پروژه‌ها می‌پردازد. فقط تعداد اندکی از این مسائل وجود دارد که هر دو مسئله انتخاب و زمان بندی را همزمان در نظر می‌گیرد. استفاده از این مسائل به طور همزمان هم به شرایط واقعی نزدیک‌تر است و هم این که با توجه به محدودیت‌های موجود منجر به ایجاد نتیجه بهینه تر در مسائل می‌شود. در این پایان نامه سعی بر این است تا مسائل با در نظر گرفتن هر دو شرط انتخاب و زمان بندی پروژه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲-۱ هدف از مطالعه موضوع

هدف از مسئله انتخاب و زمان بندی پروژه این است که بتوانیم با توجه به محدودیت‌های مالی و زمانی موجود در سازمان بتوانیم بهترین ترکیب از پروژه‌های در دسترس را انتخاب و اجرا کنیم که هم بتواند ما

را به اهداف و چشم اندازهای سازمان برساند و هم بتواند بهترین سود ممکن را برای ما با توجه به محدودیت‌های موجود در پروژه‌ها فراهم آورد.

به طور کلی اهداف اصلی این پایان نامه به شرح زیر است:

- در نظر گرفتن مفروضات مطابق با واقعیت و نزدیک نمودن مدل به دنیای واقعی
- توسعه مدل انتخاب و زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن محدودیت‌های جدید
- ارائه الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل مسئله
- مقایسه الگوریتم‌ها برای پیدا کردن بهترین روش حل

### ۳-۱ معرفی مسئله

مدل بررسی شده در این تحقیق مسئله انتخاب پروژه و زمان بندی پروژه‌ها در سطح فعالیت‌ها با محدودیت منابع و حالت اجرای چند حالتی برای فعالیت‌ها (MRCPS) می‌باشد. در این مدل هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم شامل هزینه‌های خرید و استفاده روزانه از منابع و همچنین هزینه‌های روزانه ناشی از مدت زمان اجرای پروژه و پورتفولیو در نظر گرفته شده است. همچنین از دیگر محدودیت‌ها می‌توان به محدودیت بودجه و زمان اجرای پورتفولیو اشاره کرد. از دیگر مفروضات اضافه شده می‌توان به وجود منابعی اشاره کرد که می‌توان آن را در سایر پروژه‌ها نیز به اشتراک گذاشت تا از خرید دوباره آن صرف نظر شود. هر پروژه دارای هزینه‌ها و درآمدهایی می‌باشد که با توجه به محدودیت‌های موجود، هدف مدل رسیدن به حداکثر سازی سود حاصل از اجرای پورتفولیو است. که در این مدل با اولویت بندی کردن اجرای پروژه‌ها و زمان بندی آن سعی در افزایش میزان سود و کاهش زمان اجرای پورتفولیو دارد.

## ۴-۱ روش حل مسئله

برای حل این دسته از مسائل سه رسته از الگوریتم‌ها ارائه شده است: راه حل‌های دقیق مانند برنامه ریزی خطی، راه حل‌های ابتکاری و فرا ابتکاری. در رسته فرا ابتکاری‌ها الگوریتم ژنتیک بیشترین تکرار را برای حل مسئله RCPSR دارد و بعد از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی ممنوعه<sup>۱</sup> (TS) در رده دوم قرار دارد. جدا از این روش‌ها پژوهشگران تلاش می‌کنند تا الگوریتم‌های SA<sup>۲</sup>، SS<sup>۳</sup>، PSO<sup>۴</sup>، ACO<sup>۵</sup> و برخی دیگر از الگوریتم‌های ترکیبی را به کار ببرند. ولی در برخی از مواقع دیده شده است که از الگوریتم MA<sup>۶</sup> در این زمینه استفاده شده است.

با توجه به NP-hard بودن مسئله و همچنین ابعاد بزرگ آن نسبت به سایر مدل‌های مشابه، استفاده از روش‌های دقیق امکان پذیر نمی‌باشد و مستلزم صرف زمان زیادی برای حل می‌باشد. از این رو در حل این مسئله از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده شده است که می‌تواند در زمانی بسیار کمتر جواب‌های نزدیک به بهینه را پیدا کند. که با بالا رفتن ابعاد مسئله و تعداد پروژه‌ها کارایی این الگوریتم‌ها از روش‌هایی دقیق بسیار بیشتر است و عملاً استفاده از روش‌های دقیق امکان پذیر نخواهد بود در این پایان نامه مدل در دو حالت تک هدفه و چند هدفه مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت تک هدفه از دو الگوریتم ژنتیک ترکیب شده با SA (HGA) و الگوریتم جستجوی پراکنده (SS) استفاده شده است. و در حالت چند هدفه نیز از دو الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نا مغلوب (NSGA-II) و جستجوی هارمونی (HS) برای حل و مقایسه جواب‌ها استفاده شده است.

---

<sup>1</sup> Tabu search

<sup>2</sup> Simulated annealing

<sup>3</sup> Scatter Search

<sup>4</sup> particle swarm optimization

<sup>5</sup> Ant colony

<sup>6</sup> Memetic algorithms

## ۵-۱ اهمیت موضوع و انگیزه‌ی انتخاب و جنبه‌های جدید بودن موضوع

امروزه بسیاری از سازمان‌ها سعی دارند تا برای رسیدن به اهداف خود از میان پروژه‌های موجود، بتوانند بهترین انتخاب را داشته باشند. و با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل سرمایه، زمان، نیروی انسانی، منابع و... و همچنین با بررسی شرایط سازمانی خود بتوانند حداکثر سود ممکن را برای سازمان به دست آورند. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه محدود به بررسی جداگانه تو مبحث انتخاب و زمان بندی بوده است و معمولا محققان در زمینه انتخاب پروژه مسئله زمان بندی پروژه را در نظر نمی‌گیرند. از این جهت تنها انتخاب پروژه‌ها مفید نخواهد بود و باید بتوانند زمان بندی مشخصی از این پروژه‌ها را داشته باشیم. اخیرا تعداد کمی از محققان به تلفیق دو مسئله انتخاب و زمان بندی پروژه پرداخته‌اند و با توجه به تعداد کم کارهای صورت گرفته و اضافه نکردن مفروضات و محدودیت‌های مختلف مانند در نظر گرفتن هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم برای پروژه و پورتفولیو و همچنین استفاده از به اشتراک گذاری منابع به این مسئله و زمان بندی در سطح فعالیت‌ها، می‌توان مدل‌های جدیدی را بر اساس مدل‌های ارائه شده گسترش داد. از این جهت امید است در آینده بتوان با گسترش این مفهوم در عملکرد سازمان‌ها بهبود حاصل شود.

## ۶-۱ مرور کلی بر ادبیات موضوع

از مهم‌ترین کارهای صورت گرفته در زمینه مسائل انتخاب و زمان بندی پروژه می‌توان کارهای چن<sup>۷</sup> و آسکین<sup>۸</sup> (۲۰۰۹)، لیو<sup>۹</sup> و وانگ<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۱)، گاتجاهار<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، مداگلیا<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) و کارازو<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۱۰) را نام برد. این کارها در فصل ۲ به تفصیل شرح داده خواهد شد.

<sup>7</sup> Chen

<sup>8</sup> Askin

<sup>9</sup> Liu

<sup>10</sup> Wang,

<sup>11</sup> Gutjahr

## ۷-۱ کاربرد و کاربران مسئله

این مسئله در بسیاری از سازمان‌های پروژه محور و شرکت‌های سرمایه گذاری، پروژه های عمرانی، ساختمان سازی، پروژه های دولتی و عمومی می‌تواند به کار گرفته شود. مخاطبین این مسئله می‌تواند مدیران سازمان، مدیران پروژه، اساتید و دانشجویان مهندسی صنایع، مالی و علاقه‌مندان به برنامه ریزی پروژه باشد.

## ۸-۱ ساختار پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا در فصل ۱، کلیات تحقیق و مسئله مورد مطالعه، روش‌های حل و اهمیت و ضرورت و همچنین کاربرد مسئله در دنیای واقعی را شرح داده‌ایم. در فصل دوم به بررسی ادبیات موضوع پرداخته و به طور مختصر تحقیقات قبلی در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه تعدادی از مدل‌های اصلی مرتبط با موضوع شرح داده شده است. در فصل سه مدل تک هدفه انتخاب و زمان بندی پروژه تشریح شده است و روش‌های حل این مدل و همچنین تنظیم پارامترها، نتایج محاسباتی و مقایسه بین الگوریتم‌ها شرح داده شده است. در فصل ۴ به بررسی مدل چند هدفه می‌پردازیم و روش‌های فرا ابتکاری ارائه شده برای حل این مدل توضیح داده شده است و نتایج محاسباتی برای مسائل مختلف و مقایسات بین الگوریتم‌ها انجام شده است. در فصل ۵، خلاصه و جمع بندی تحقیق بیان شده و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

---

<sup>12</sup> Medaglia

<sup>13</sup> Carazo



## ۹-۱ جمع بندی

در این فصل هدف از طرح موضوع پایان نامه و علت و اهمیت و کاربردهای آن و همچنین ساختار کلی پایان نامه مطرح گردید. که در فصل‌های بعدی به توضیح و بررسی بیشتر این موارد خواهیم پرداخت.

## فصل ۲

### مرور ادبیات

## ۲-۱ مقدمه

در این فصل در ابتدا به بررسی برخی از مدل‌های زمان بندی پروژه و طبقه بندی این مسائل می‌پردازیم و سپس مروری مختصر بر مدل‌های انتخاب پروژه خواهیم داشت. در آخر هم کارهای انجام شده در زمینه انتخاب و زمان بندی پروژه را به طور مفصل مورد بررسی قرار خواهیم داد.

## ۲-۲ معرفی کارهای انجام شده در زمینه زمان بندی پروژه

اخیرا مسئله انتخاب و زمان بندی پروژه مورد توجه بسیاری از سازمان‌ها قرار گرفته است. برای این کار باید اطلاعات هر پروژه و شرایط و استراتژی‌های سازمان را تحلیل و بررسی قرار داد تا بتوانیم پروژه را در بازه زمانی مورد نیاز و بودجه تخصیص یافته زمان بندی کنیم. مسئله انتخاب و زمان بندی پروژه جزو مسائل پیچیده تصمیم گیری است که از فاکتور های مختلفی تاثیر می‌گیرد، مانند شرایط بازار، در دسترس بودن مواد، قوانین دولتی و غیره. برای مثال در عمل پروژه های ساخت در بخش‌های عمومی یا

طرح‌های تحقیق و توسعه در شرکت‌های خصوصی همیشه با محدودیت‌های زمان و بودجه مواجه هستند. از این رو تصمیم‌گیری برای انتخاب و زمان‌بندی مجموعه‌ای از پروژه‌ها و تخصیص منابع برای آن‌ها سخت خواهد بود. به عنوان مثال چن و آسکین نشان دادند که فقط ۲۶٪ پروژه‌های IT در زمان و هزینه تعیین شده به اتمام می‌رسند. با این وجود بیشتر تحقیقات اخیر بیشتر فقط به مسئله انتخاب پروژه‌های در دسترس، یا زمان بندی پروژه‌ها در بودجه تعیین شده پرداخته‌اند.

مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP) در دهه‌های اخیر بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است، و روش‌های حل مختلف آن در تحقیقات اخیر مورد مطالعه و طبقه بندی قرار گرفته است در ادامه به بررسی این طبقه بندی‌ها خواهیم پرداخت. زمانی که یک منبع به طور همزمان برای چند پروژه مورد نیاز باشد بحث تخصیص منابع اهمیت پیدا می‌کند. از این رو در تحقیقات اخیر از تکنیک‌های مختلفی برای تخصیص منابع استفاده شده است. برای مثال، لیو<sup>۱</sup> و وانگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) بر جنبه‌های مالی و جریان نقدی RCPSP تمرکز دارد و از برنامه ریزی مقید برای حداکثر کردن سود استفاده کرده است. چن<sup>۳</sup> و شهان دشتی<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) الگوریتم ترکیب شده ژنتیک و باز پخت شبیه سازی شده را برای مسائل زمان بندی چند پروژه‌ای با محدودیت‌های چند منبعی پیشنهاد داد و آن را با الگوریتم‌های ژنتیک و باز پخت شبیه سازی شده مقایسه کرد. لوا<sup>۵</sup> و همکاران الگوریتم ترکیبی ژنتیک (MM-HGA) را برای مسائل زمان بندی با محدودیت منابع چند حالتی (MRCPSP<sup>۶</sup>) توسعه داد.

---

<sup>1</sup> Liu

<sup>2</sup> Wang

<sup>3</sup> Chen

<sup>4</sup> Shahandashti

<sup>5</sup> Lova

<sup>6</sup> Multi-mode Resource Constrained Project Scheduling Problem