دانشکده مهندسی

گروه صنایع

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته

مهندسی صنایع- مهندسی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی

عنوان:

ارائه روشی مبتنی بر الگوریتم PSO برای حل مساله زمانبندی پروژه‌های چندهدفه با منابع محدود

استاد راهنما:

دکتر امیرسامان خیرخواه

استاد مشاور:

دکتر پرویز فتاحی

پژوهشگر:

بهرام یوسفی

بهمن ماه ۱۳۸۸

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد و در صورت استفاده تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها باید نام دانشگاه بوعلی سینا (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این‌صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همواره در همه لحظات زندگی یار و مشوق من بوده اند

سپاس بی‌پایان خدای را که همیشه یاریگر و راهنمایم بوده و هست و هرگز تنهایم نگذاشته.

در اینجا بر خود واجب می‌دانم تا از تلاش‌های بی‌دریغ استاد گرامیم، جناب آقای دکتر خیرخواه تشکر نمایم که بی‌شک پیگیری‌های ایشان در انجام این تحقیق قابل تقدیر است.

همچنین از زحمات و نظارت ارزشمند جناب آقای دکتر فتاحی و تصحیح و داوری سرکار خانم دکتر اسماعیلی و جناب آقای دکتر صادقیان کمال قدردانی را دارم.

از خانواده ارجمندم، به پاس همدلی و همراهی همیشگی‌شان و به ویژه از زحمات برادر عزیزم جناب آقای مهندس ناصر یوسفی سپاسگزارم.

در پایان شایسته است از بذل توجه و محبت دوستان گرامی‌ام آقایان علیرضا فلاحی، حسن سرحدی، مجید هاتفی، حسن کارگرفرد، امیر دباغان، امیرحسین غلامی، عباس خیاطی، محمدجواد خردمند، امیر نیک‌زمان و حسن غلام‌زاده تشکر و برای آنها آرزوی موفقیت نمایم.

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارائه روشی مبتنی بر الگوریتم PSO برای حل مساله زمانبندی پروژه‌های چندهدفه همراه با منابع محدود

نام نویسنده: بهرام یوسفی

نام استاد راهنما: دکتر امیرسامان خیرخواه

نام استاد مشاور: دکتر پرویز فتاحی

دانشکده : مهندسی	**گروه آموزشی: صنایع**	
رشته تحصیلی: مهندسی صنایع	**گرایش تحصیلی: مهندسی سیستمهای اقتصادی اجتماعی**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب: آذر ۱۳۸۷	**تاریخ دفاع: بهمن ۱۳۸۸**	**تعداد صفحات: ۱۶۰**

چکیده:

طراحی و زمانبندی فعالیت‌ها از نظر تولید طرح‌های موفق و بیشینه‌نمودن بهره‌وری اهمیت فوق العاده‌ای دارند. به علاوه در محیط واقعی، مسائل شامل چندین هدف می‌باشند که باید به طور همزمان بهینه شوند و معمولا مشخصه محیط واقعی اطلاعات غیرقطعی و غیرقابل کنترل می‌باشد. بنابراین یافتن طرح‌های شدنی و کارا چالشی مهم محسوب می‌شود. در همین رابطه، مساله RCPSP چندهدفه می‌کوشد تا فعالیت‌ها را زمانبندی نماید و منابع را به منظور یافتن یک راهکار موثر برای کمک به مدیران پروژه و بهینه‌سازی چندین معیار اختصاص دهد. در این تحقیق، روشی مبتنی بر مفاهیم چندهدفه و الگوریتم فراابتکاری PSO را به منظور حل RCPSP توسعه می‌دهیم. مساله چندهدفه RCPSP توسط الگوریتم PSO چندهدفه حل شده و الگوریتم‌های جدیدی مبتنی بر PSO پیشنهاد می‌شوند. عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی از طریق آزمایش‌های عددی با الگوریتم چندهدفه TS مقایسه شده است. آزمایش‌های عددی حاکی از برتری الگوریتم‌های پیشنهادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: PSO، زمانبندی پروژه، بهینه‌سازی چندهدفه

فهرست مطالب، جداول و اشکال

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق صفحه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مساله و اهداف تحقیق ۳

۱-۳-سوالات تحقیق ۵

۱-۴-ضرورت انجام تحقیق ۶

۱-۵-مراحل تحقیق و ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم: ادبیات تحقیق صفحه

۲-۱-مقدمه ۱۰

۲-۲-مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود ۱۱

۲-۲-۱-تعاریف مفهومی ۱۱

۲-۲-۲-فعالیت‌ها ۱۱

۲-۲-۳-منابع ۱۲

۲-۲-۴-محدودیت‌ها و اهداف ۱۳

۲-۳-مدل‌ها و روش‌های حل مساله RCPSP تک هدفه ۱۴

۲-۳-۱-روش‌های دقیق ۱۵

۲-۳-۲-روش‌های ابتکاری مبتنی بر قوانین اولویت ۱۸

۲-۳-۳-روش‌های فراابتکاری ۱۹

۲-۴-الگوریتم PSO ۲۸

۲-۴-۱-چهارچوب کلی الگوریتم PSO ۳۱

۲-۴-۲-مدل بهترین جهان ۳۴

۲-۴-۳-مدل بهترین همسایگی ۳۵

۲-۴-۴-الگوریتم PSO بر اساس رفتار اجتماعی	۳۷
۲-۴-۵-مزیت‌هایPSO در قیاس با سایر الگوریتم‌های جستجو	۳۸
۲-۴-۶-کاربردهای PSO	۳۹
۲-۴-۷-الگوریتم PSO در بهینه‌سازی مسائل چندهدفه	۴۰
۲-۵-RCPSP چندهدفه و تحقیقات انجام شده	۴۳
۲-۶-خلاصه مرور ادبیات	۴۶

فصل سوم: تعریف RCPSP چندهدفه — صفحه

۳-۱-مقدمه	۴۹
۳-۲-تعریف مساله و مدل‌سازی ریاضی	۵۰
۳-۲-۱-پارامترها و متغیرهای مساله	۵۱
۳-۲-۲-مدل ریاضی مساله RCPSP	۵۲
۳-۲-۳-اهداف مساله	۵۲
۳-۲-۴-معرفی انواع جواب‌های مساله	۵۸
۳-۳-پیچیدگی مساله	۶۲
۳-۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۶۴

فصل چهارم: ارائه الگوریتم‌های پیشنهادی — صفحه

۴-۱-مقدمه	۶۶
۴-۲-روش حل RCPSP توسط PSO	۶۷
۴-۳-عناصر اصلی	۶۷
۴-۳-۱-نماد گذاری	۶۸
۴-۳-۲-ساختار نمایش	۶۸

۴-۳-۳-به‌روز رسانی سرعت و موقعیت ذره‌ها ۷۱
۴-۳-۴-وزن اینرسی و ضرایب اطمینان ۷۳
۴-۳-۵-جمعیت اولیه ۷۵
۴-۳-۶-شرط توقف ۷۵
۴-۳-۷-توابع برازندگی ۷۶
۴-۴-حل مساله به روش ترکیب اهداف ۷۶
۴-۴-۱-الگوریتم MOPSO ۷۶
۴-۴-۲-الگوریتم NMOPSO ۸۵
۴-۴-۳-الگوریتم PSO-TOPSIS ۹۰
۴-۵-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۹۲

فصل پنجم: طراحی آزمایش‌های عددی و تحلیل نتایج صفحه

۵-۱-مقدمه ۹۴
۵-۲-مقایسه الگوریتم‌ها برای روش ترکیب اهداف ۹۵
۵-۲-۱-طراحی آزمایش‌های عددی ۹۵
۵-۲-۲-تنظیم پارامترها ۹۷
۵-۲-۳-نتایج آزمایش‌ها ۱۰۰
۵-۳-مقایسه الگوریتم‌ها برای روش بهینه پارتو ۱۰۸
۵-۳-۱-طراحی آزمایش‌های عددی ۱۰۸
۵-۳-۲-نتایج آزمایش‌ها ۱۱۲
۵-۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲۳

فصل ششم: جمع‌بندی ، نتیجه‌گیری و پیشنهادات صفحه

۶-۱-مقدمه ۱۲۵

۶-۲-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲۶

۶-۳-دستاوردهای تحقیق ۱۲۸

۶-۴-پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ۱۲۹

مراجع ۱۳۰

پیوست ۱۳۴

جدول (۲-۱) خلاصه مطالعات انجام شده در زمینه زمانبندی پروژه در شرایط محدودیت منابع	۲۶
جدول (۳-۱) جزئیات مثال	۵۵
جدول (۳-۲) کار اضافی	۵۷
جدول (۵-۱) مشخصات مسائل مورد آزمایش	۹۶
جدول (۵-۲) تنظیم پارامترها در MOPSO	۹۹
جدول (۵-۳) پارامترهای الگوریتم‌های PSO پیشنهادی	۱۰۰
جدول (۵-۴) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها برای k=۰/۹	۱۰۲
جدول (۵-۵) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها برای k=۰/۸	۱۰۳
جدول (۵-۶) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها برای k=۰/۷	۱۰۴
جدول (۵-۷) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها برای k=۰/۶	۱۰۵
جدول (۵-۸) نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها برای k=۰/۵	۱۱۱
جدول (۵-۹) میانگین زمان مصرف شده توسط الگوریتم‌های مختلف	۱۰۷
جدول (۵-۱۰) تنظیم پارامترهای الگوریتم MOPSO	۱۱۱
جدول (۵-۱۱) پارامترهای الگوریتم‌های پیشنهادی	۱۱۲
جدول (۵-۱۲) تعداد جواب‌های به دست آمده توسط الگوریتم‌ها	۱۱۳
جدول (۵-۱۳) مقایسه الگوریتم‌های MOPSO و MOTS	۱۱۷
جدول (۵-۱۴) مقایسه الگوریتم‌های NMOPSO و MOTS	۱۱۹
جدول (۵-۱۵) مقایسه الگوریتم‌های MOPSO و NMOPSO	۱۲۰
جدول (۵-۱۶) محاسبه GD	۱۲۱

شکل (۱-۱) روش انجام تحقیق	۸
شکل (۲-۱) فلوچارت PSO	۳۳
شکل (۲-۲) توپولوژی ستاره	۳۶
شکل (۲-۳) توپولوژی حلقه	۳۶
شکل (۲-۴) توپولوژی چرخ	۳۷
شکل (۳-۱) گراف شبکه پروژه مثال	۵۵
شکل (۳-۲) زمانبندی $\boldsymbol{s1}$	۵۶
شکل (۳-۳) زمانبندی $\boldsymbol{s2}$	۵۶
شکل (۳-۴) نمایش زمانبندی $\boldsymbol{s1}$ با کار اضافی	۵۷
شکل (۳-۵) نمایش زمانبندی $\boldsymbol{s2}$ با کار اضافی	۵۸
شکل (۳-۶) رابطه مغلوب شدن در فضای دو هدفه	۵۹
شکل (۳-۷) مرز پارتو از یک مجموعه جواب‌ها در فضای دو هدفه	۶۱
شکل (۳-۸) مثالی از جواب سازشی	۶۲
شکل (۴-۱) نمادهای PSO	۶۸
شکل (۴-۲) نمایش اولویت فعالیت‌ها	۷۰
شکل (۴-۳) نمایش زمانبندی متناظر با اولویت‌های مثال	۷۰
شکل (۴-۴) نمایش سرعت ذره فوق	۷۰
شکل (۴-۵) به‌روز رسانی سرعت و موقعیت ذره	۷۳
شکل (۴-۶) روش کار الگوریتم MOPSO	۷۹
شکل (۴-۷) ماتریس تصمیم	۸۳
شکل (۴-۸) ماتریس N_D	۸۳
شکل (۴-۹) ماتریس بی مقیاس وزنی $\boldsymbol{V}$	۸۴
شکل (۴-۱۰) فاصله اقلیدسی جواب‌ها از راه حل ایده‌ال	۸۴
شکل (۴-۱۱) محاسبه cl_i^* ها	۸۴

شکل (۴-۱۲) نمایش تغییر ایجاد شده در ذره ۸۷

شکل (۴-۱۳) روش کار NMOPSO ۸۹

شکل (۵-۱) مقایسه میانگین زمان حل میان الگوریتم‌ها در مسائل ۳۰ فعالیتی ۱۱۴

شکل (۵-۲) مقایسه میانگین زمان حل میان الگوریتم‌ها در مسائل ۶۰ فعالیتی ۱۱۵

شکل (۵-۳) میانگین L برای MOPSO و MOTS ۱۱۷

شکل (۵-۴) میانگین L برای NMOPSO و MOTS ۱۱۸

شکل (۵-۵) میانگین L برای NMOPSO و MOPSO ۱۲۰

شکل (۵-۶) محاسبه GD ۱۲۲

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

بحث مدیریت پروژه مربوط به برنامه‌ریزی، کنترل و مدیریت زمان، منابع و هزینه فعالیت‌های یک پروژه است. عوامل اجتماعی و اقتصادی برای مدیر پروژه این الزام را بوجود می‌آورند که از منابع در دسترس محدود، چه از لحاظ نیروی انسانی و چه از لحاظ ذخیره مواد، بصورت بهینه استفاده کند. شیوه‌های مختلف تخصیص منابع به منظور تسهیل در تخصیص آنها و ایجاد برنامه‌های زمانی است که محدودیت‌های منبع را جبران و استفاده بهینه از منابع محدود را مقدور می‌کند. محققان در دهه‌های اخیر ابزارها و تکنیک‌های زیادی را برای زمانبندی پروژه معرفی کرده‌اند، اما بیشتر به مساله زمانبندی پروژه‌های تک هدفه پرداخته‌اند. با وجود اینکه مساله زمانبندی پروژه ذاتا مساله ای چندهدفه می‌باشد، اغلب اوقات تنها برای کمینه ساختن زمان اجرای پروژه به کار رفته است. اما از منظر عملی، طراحان پروژه باید حداکثر نمودن کیفیت زمانبندی را نیز به عنوان یک معیار اصلی مورد توجه قرار دهند.

به منظور پیشبرد این موضوع و گشودن راهی برای تحقیقات آتی در زمینه زمانبندی پروژه‌های چندهدفه، در این تحقیق مدلی چندهدفه تشریح و به روش‌های گوناگون حل خواهد شد.

۱-۲- بیان مساله و اهداف تحقیق

مساله زمانبندی یک عمل معمول در کنترل سیستم‌های مختلفی مانند فرآیندهای تولید و مدیریت پروژه است. راه حل مساله زمانبندی هنگامی که محدودیت منابع نداریم به خوبی شناخته شده است، اما در حالت‌های واقعی ظرفیت منابع موجود محدود است. مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود[۱] (RCPSP) یکی از مهمترین مسائل زمانبندی پروژه است. درمساله RCPSP، هر پروژه از تعدادی فعالیت تشکیل شده است. به علاوه تعدادی منبع با ظرفیت‌های محدود وجود دارد به طوری که فعالیت‌ها در استفاده از منابع محدودیت دارند. RCPSP شامل تخصیص کارها به منبع یا مجموعه‌ای از منابع همراه با ظرفیت محدود جهت رسیدن به اهداف از پیش تعریف شده است. مساله زمانبندی پروژه می‌تواند توسط تابع هدف و ویژگی‌های منابع مشخص شود. منابع در یک پروژه می‌توانند تکی یا چندگانه و تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر باشند. کمینه‌سازی زمان انجام پروژه غالبا به عنوان هدف مساله زمانبندی پروژه استفاده میشود درحالی که سایر اهداف نظیر کمینه نمودن هزینه کل پروژه، بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی[۲]، حداقل نمودن تاخیر، بیشینه نمودن نیرومندی[۳] و غیره نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد که بستگی به نظر تصمیم گیرنده دارد. علی‌رغم تحقیقات بسیار در زمینه حل این مساله با یک هدف، زمانبندی پروژه در محیط واقعی چندهدفه می‌باشد. به عنوان نمونه، در نظر گرفتن عامل نیرومندی زمانبندی علاوه بر هدف زمان انجام پروژه برای ایجاد یک زمانبندی به دلیل وجود عوامل غیر قابل کنترل و غیر قابل پیش بینی موجود در محیط واقعی که باعث ایجاد تاخیر در زمان تکمیل پروژه و افزایش هزینه‌ها می‌شوند، لازم است و باعث جلوگیری از اثر نامطلوب این عوامل بر روی زمانبندی می‌شود. هم‌اکنون بسته های نرم‌افزاری زیادی برای حل مسائل زمانبندی پروژه موجود است اما این نرم‌افزارها در تولید جواب بهینه دارای انحرافاتی نسبت به جواب بهینه اصلی هستند و محققان همچنان در پی الگوریتم‌های کاراتر و

[۱] Resource Constrained Project Scheduling Problem

[۲] Net Present Value

[۳] Robustness

جواب‌های نزدیک‌تر به بهینه، می‌باشند. بنابراین هدف این پایان‌نامه مطالعه و بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه زمانبندی پروژه، بخصوص زمانبندی چندهدفه، مدل‌سازی مساله زمانبندی پروژه چندهدفه با محدودیت منابع و ارائه یک رویکردهایی جدید برای حل این مساله، و در پایان آزمون رویکردهای ارائه شده با مسائل نمونه می‌باشد. با توجه به NP-Hard[1] بودن مساله از روش PSO برای حل مساله استفاده کرده و می‌خواهیم با توجه به چندهدفه بودن مساله، قابلیت کاربرد این روش را در حل مساله بررسی کنیم.

الگوریتمPSO[2]، بهینه‌سازی با استفاده از حرکت گروهی ذرات است. PSO یکی از تکنیک‌های محاسباتی تکاملی است و همانند سایر تکنیک‌های محاسباتی تکاملی، جستجوگری بر مبنای جمعیت است که با یک جمعیت تصادفی از جواب‌ها به نام ذره، آغاز می شود. در یک سیستم PSO، ذرات در فضای جستجو پرواز می‌کنند. در طول این پرواز، هر ذره موقعیت خود را با توجه به بهترین تجربه پیشین خود و بهترین تجربه جمعیت تنظیم می‌کند و در واقع از بهترین موقعیت خود و اطرافیانش استفاده می‌کند. متفاوت از سایر تکنیک‌های محاسباتی تکاملی، هر ذره در PSO همراه با یک سرعت در الگوریتم شرکت می کند که با گذشت زمان موقعیت ذره را تغییر می‌دهد. بنابراین همانند الگوریتم هایی نظیر ژنتیک، PSO متدهای جستجوی محلی و جستجوی سراسری را برای رسیدن به جواب بهینه ترکیب می‌کند.

[1] Non deterministic Polynomial time Hard

[2] Particle Swarm Optimization

۱-۳- سوالات تحقیق

در این مطالعه سوالات زیر مدنظر است و تلاش می شود تا پایان تحقیق به این سوالات پاسخ داده شود:

۱. تاکنون در حوزه زمانبندی پروژه‌های چندهدفه چه تحقیقاتی انجام گرفته است و در چه قسمت‌هایی نیاز به بررسی بیشتری احساس می‌شود؟

۲. الگوریتم PSO برای حل مساله زمانبندی چندهدفه پروژه به روش‌های مختلف چگونه جواب می‌دهد؟

۳. چه تغییراتی می‌توان در الگوریتم PSO به منظور حل مساله مذکور و متناسب با روش حل صورت داد؟

۴. با تغییر در الگوریتم PSO در شیوه‌های مختلف حل برای حل مساله مورد نظر می‌توان به جواب‌های مناسب‌تری دست یافت؟

بنابراین اهداف تحقیق عبارتند از:

- مطالعه تحقیقات انجام گرفته در مورد زمانبندی پروژه‌های چندهدفه
- مطالعه تحقیقات انجام گرفته در مورد روش‌های حل مسائل چندهدفه و بررسی چگونگی کاربرد الگوریتم PSO در این زمینه
- مدل‌سازی مساله زمانبندی چندهدفه و حل آن توسط الگوریتم PSO به شیوه‌های ترکیب اهداف و بهینه پارتو
- بهبود الگوریتم PSO درحل مساله مورد نظر به شیوه‌های مذکور و اثبات کارایی آن

۱-۴- ضرورت انجام تحقیق

زمانبندی پروژه، تخصیص منابع کمیاب به مجموعه‌ای از فعالیت‌های مرتبط به هم است که انجام آن زمان زیادی می‌گیرد. این مساله توجه تعداد زیادی از محققان را به خود معطوف داشته است که این توجه عمدتا به خاطر کاربرد عملی آن در صنایع گوناگون برای پروژه‌هایی نظیر طراحی فرایندهای تولید جدید، توسعه محصولات جدید، اجرای سیستم‌های اطلاعاتی جدید و ... می‌باشد. همان طور که اشاره شد، با وجود این که تحقیقات اندکی در زمینه حل این مساله به صورت چندهدفه صورت گرفته است و اکثر محققان مساله زمانبندی پروژه را به صورت تک هدفه بررسی کرده‌اند، این مساله در محیط واقعی یک مساله چندهدفه می‌باشد. به عبارت دیگر، علاوه بر زمان انجام پروژه که هدف اصلی می‌باشد، اهداف فرعی دیگری نیز مانند نیرومندی زمانبندی وجود دارند که باید در نظر گرفته شوند. یک نقص عمده در اکثر مدل‌های زمانبندی قطعی پروژه این است که آنها تصور می‌کنند که تمام فعالیت‌ها در شرایط ایده‌ال آن انجام خواهد شد و زمانبندی پیشنهادی می‌تواند به همان صورت که طراحی شده، اجرا شود. اما در عمل، ممکن است چندین عامل غیر قابل کنترل و غیر قابل پیش بینی باعث ایجاد تاخیر در زمان تکمیل پروژه و افزایش هزینه‌ها باشند. از جمله این عوامل نامطلوب می‌توان به انجام ناقص برخی فعالیت‌ها اشاره کرد که ممکن است سبب زمان اضافی به منظور کار مجدد و تصحیح عیوب کشف شده شود. بنابراین هدف قرار دادن نیرومندی زمانبندی به عنوان یک هدف فرعی نیز ضروری به نظر می‌رسد. البته اهداف دیگری نظیر اهداف اقتصادی پروژه نیز می‌توانند صورت هدف فرعی لحاظ گردند.

دو رویکرد برای حل مسائل زمانبندی استفاده شده است: روش‌های دقیق و روش‌های فراابتکاری. روش‌های دقیق جهت یافتن جواب‌های بهینه استفاده می‌شوند، اما در مواجهه با مسائلی با اندازه‌های بزرگ و یا مسائلی با محدودیت‌های زیاد تقریبا غیر عملی هستند. از طرفی، در صنعت، افراد نیازمند حل سریع مساله زمانبندی پروژه در مقیاس بزرگ می‌باشند. این موضوع باعث گرایش محققان به سمت روشهای فراابتکاری شده است با این تفاوت که روش‌های فراابتکاری معمولا به جواب بهینه دسترسی پیدا نمی‌کنند، بلکه جواب‌هایی نزدیک به