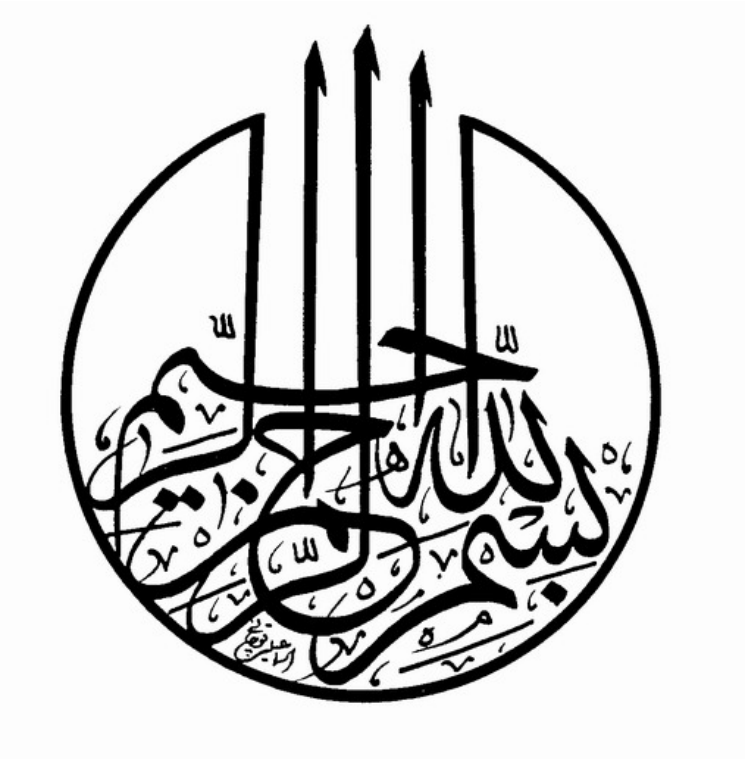

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد
رشته مهندسی فناوری اطلاعات (IT)

طراحی یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله زمان‌بندی انعطاف‌پذیر فعالیت‌ها در شرایط چندهدفی

استاد راهنما:
مریم حسن‌زاده

نام دانشجو:
روح‌الله جوادی هدایت‌آباد
(۸۹۷۵۲۸۰۰۴)

دی‌ماه ۱۳۹۱

دانشگاه شاهد
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد
رشته مهندسی فناوری اطلاعات (IT)

طراحی یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله زمان‌بندی انعطاف‌پذیر فعالیت‌ها در شرایط چندهدفی

استاد راهنما:
مریم حسن‌زاده

نام دانشجو:
روح‌الله جوادی هدایت‌آباد
(۸۹۷۵۲۸۰۰۴)

دی‌ماه ۱۳۹۱

شماره: تاریخ:	**اظهارنامه دانشجو**	

اینجانب **روح‌الله جوادی هدایت‌آباد** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **مهندسی فناوری اطلاعات** گرایش **IT** دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه شاهد، گواهی می‌دهم که پایان‌نامه تدوین شده حاضر با عنوان «**طراحی یک الگوریتم فراابتکاری برای حل مسئله زمان‌بندی انعطاف‌پذیر فعالیت‌ها در شرایط چندهدفی**» به راهنمایی استاد محترم سرکار خانم دکتر **مریم حسن‌زاده**، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان‌نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره‌گیری از منابع مختلف شامل گزارش‌های تحقیقاتی، رساله، پایان‌نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان‌نامه حاضر تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارائه نشده است. در تدوین متن پایان‌نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش‌های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً اینکه، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان‌نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می‌باشد.

نام و نام‌خانوادگی دانشجو:

امضای دانشجو:

تاریخ:

تقدیم

این پژوهش و دست‌آوردهای آن را به همسر عزیزم تقدیم می‌کنم، که در این چند سال با صبر و حمایت‌های خود، قدم بزرگی را در به ثمر نشستن این مهم برداشت.

همچنین در افقی بلندتر، آن را به ساحت قدسی آقا و مولایمان امام زمان علیه‌السلام تقدیم می‌کنم تا شاید ذره‌ای ناچیز در زمینه‌سازی ظهور آن حضرت باشد. هر چند که:

ما را نبود چو هدیه‌ای در خور او تقدیم به پیشگاه مهدی(عج) صلوات

تشکر و قدردانی

به لطف خداوند متعال، این پروژه تا حد برآورده شدن اهداف مورد نظر به ثمر نشست و مستندی را که در پیش رو داریم، توضیحی اجمالی در مورد آن ارائه می‌کند. همچنین اتمام این پروژه را در سال «تولید ملی و کار و سرمایه ایرانی» به فال نیک می‌گیریم و امیدواریم که با عملیاتی شدن چنین پروژه-هایی در مجموعه‌های تولیدی و خدماتی، بهترین بهره‌وری‌ها حاصل شده و در وقت و سرمایه ایرانی به احسن وجه صرفه‌جویی گردد.

در اینجا لازم می‌دانم از زحمات استاد محترم سرکار خانم دکتر حسن‌زاده و نیز همکارانم که در طول پروژه، مشاوری صبور برایم بوده‌اند، تشکر و قدردانی نمایم و از خداوند متعال توفیق روز افزون را برای ایشان آرزومندم.

روح‌الله جوادی هدایت‌آباد

دی‌ماه ۱۳۹۱

چکیده

حل مسائل با پیچیدگی محاسباتی زیاد، همواره یکی از چالش‌های محققان برای رسیدن به پاسخ‌های بهینه بوده و هست. اما از آنجایی که حل چنین مسائلی با استفاده از روش‌های دقیق و غیرهوشمند، بسیار مشکل است، اغلب رویکردها در سال‌های اخیر بر روی روش‌های تقریبی و فراابتکاری معطوف شده است. در این پژوهش، روش جدیدی در ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر در شرایط چندهدفی ارائه شده است. این مسئله که نوع تعمیم‌یافته مسئله کلاسیک زمان‌بندی کار کارگاهی است، جزء مسائل NP-hard محسوب می‌شود. معمولاً در خصوص استفاده از روش‌های جستجوی محلی، دغدغه اصلی برای رسیدن به بهینه سراسری، انتخاب نقاط شروع مناسب است. از طرفی روش‌های مبتنی بر جمعیت، توانمندی قابل توجهی در شناسایی فضای حالت دارند. لذا در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک توسعه یافته‌ای با تکیه بر پارامتر جدید همسایگی ارائه شده است که هدف از آن شناسایی چند خوشه در اطراف نواحی برازنده‌تر است. ورودی این الگوریتم، یک جمعیت اولیه از راه‌حل‌های امکان‌پذیر با توزیع یکنواخت است و نحوه شکل‌گیری خوشه‌ها نیز کاملاً پویا است. پس از آن، بهترین راه‌حل هر خوشه، نماینده مناسبی برای نقطه شروع در روش‌های جستجوی محلی به شمار می‌رود. لذا با اجرای موازی الگوریتم‌های جستجوی محلی و مقایسه نتایج آنها، راه‌حل بهینه سراسری حاصل می‌شود. نتایج محاسباتی بر روی نمونه مسائل معروف نشان می‌دهد که راه‌حل‌های بهینه سریع‌تر و پایدارتر از سایر روش‌ها به دست می‌آید.

کلیدواژه‌ها: زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر، بهینه‌سازی چندهدفی، الگوریتم‌های فراابتکاری ترکیبی، الگوریتم ژنتیک، جستجوی محلی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها	ز
فهرست شکل‌ها	ح
فصل اول: مقدمه	۱
۱. ۱. مقدمه	۲
۱. ۲. پیشینه موضوع	۳
۱. ۳. شیوه‌های نوین	۴
۱. ۴. هدف از انجام تحقیق	۵
۱. ۵. نوآوری تحقیق	۶
۱. ۶. ساختار پایان‌نامه	۸
فصل دوم: تعریف مسئله و مفاهیم مرتبط با آن	۱۰
۲. ۱. مقدمه	۱۱
۲. ۲. زمان‌بندی	۱۱
۲. ۲. ۱. مفهوم و جایگاه زمان‌بندی	۱۲
۲. ۲. ۲. انواع مسائل زمان‌بندی	۱۲
۲. ۲. ۳. معیارهای زمان‌بندی و توابع هدف	۱۴
۲. ۳. مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر	۱۵
۲. ۳. ۱. مدل ریاضی و فرضیه‌های مسئله	۱۶
۲. ۳. ۲. مسئله نمونه و روش‌های بازنمایی	۱۷
۲. ۳. ۲. ۱. نمودار گانت	۱۸
۲. ۳. ۲. ۲. گراف جهت‌دار	۱۹
۲. ۴. تعاریف اولیه در بهینه‌سازی ترکیبی	۲۱
۲. ۵. بهینه‌سازی چندهدفی	۲۴
۲. ۵. ۱. روش‌های ارزیابی راه‌حل‌ها برای بهینه‌سازی چندهدفی	۲۵
۲. ۶. جمع‌بندی	۲۶
فصل سوم: مروری بر ادبیات موضوع و پژوهش‌های مرتبط	۲۷
۳. ۱. مقدمه	۲۸
۳. ۲. انواع روش‌های حل مسائل زمان‌بندی	۲۸
۳. ۳. روش‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی ترکیبی	۲۹

عنوان	صفحه
۳. ۴. طبقه‌بندی روش‌های فراابتکاری	۳۱
۳. ۴. ۱. روش‌های جستجوی تک نقطه‌ای	۳۱
۳. ۴. ۱. ۱. جستجوی محلی پایه (بهبود تکراری)	۳۲
۳. ۴. ۱. ۲. شبیه‌سازی حرارت	۳۳
۳. ۴. ۱. ۳. جستجوی ممنوعه	۳۴
۳. ۴. ۲. روش‌های مبتنی بر جمعیت	۳۵
۳. ۴. ۲. ۱. محاسبات تکاملی	۳۵
۳. ۴. ۲. ۲. بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها	۳۷
۳. ۵. متمرکزسازی و متنوع‌سازی	۳۹
۳. ۵. ۱. کنترل راهبردی متمرکزسازی و متنوع‌سازی	۳۹
۳. ۶. ترکیب روش‌های فراابتکاری	۴۲
۳. ۶. ۱. هدف از ترکیب روش‌های فراابتکاری	۴۲
۳. ۶. ۱. ۱. تبادل مؤلفه بین فراابتکارات	۴۳
۳. ۶. ۱. ۲. جستجوی مشارکتی	۴۴
۳. ۶. ۱. ۳. ادغام فراابتکارات با روش‌های سیستماتیک	۴۴
۳. ۶. ۲. انواع مدل‌های ترکیبی	۴۵
۳. ۶. ۲. ۱. ترکیب بازپخشی سطح پایین (LRH)	۴۶
۳. ۶. ۲. ۲. ترکیب کار گروهی سطح پایین (LTH)	۴۷
۳. ۶. ۲. ۳. ترکیب بازپخشی سطح بالا (HRH)	۴۸
۳. ۶. ۲. ۴. ترکیب کار گروهی سطح بالا (HTH)	۴۸
۳. ۷. نتیجه‌گیری	۴۹
فصل چهارم: الگوریتم‌های ترکیبی پیشنهادی	۵۰
۴. ۱. مقدمه	۵۱
۴. ۲. انگیزه و ایده اصلی	۵۱
۴. ۳. الگوریتم ترکیبی پیشنهادی اول	۵۲
۴. ۳. ۱. مرحله کاوش (الگوریتم ژنتیک مبتنی بر همسایگی)	۵۳
۴. ۳. ۱. ۱. همسایگی راه‌حل‌ها	۵۴
۴. ۳. ۱. ۲. بازنمایی راه‌حل‌ها	۵۶
۴. ۳. ۱. ۳. جمعیت اولیه	۵۷
۴. ۳. ۱. ۴. انتخاب والدها و ارزیابی راه‌حل‌ها	۵۸
۴. ۳. ۱. ۵. عملگر ترکیب	۵۹
۴. ۳. ۱. ۶. عملگر جهش	۶۰

عنوان	صفحه
۴. ۳. ۱. ۷. انتخاب بازماندگان	۶۱
۴. ۳. ۲. مرحله خوشه‌بندی	۶۲
۴. ۳. ۳. مرحله جستجوی محلی	۶۳
۴. ۳. ۴. محاسبه پیچیدگی زمانی و فضایی	۶۴
۴. ۴. الگوریتم ترکیبی پیشنهادی دوم	۶۵
۴. ۴. ۱. تغییر در بازنمایی راه‌حل‌ها	۶۶
۴. ۴. ۲. تغییر در عملگر ترکیب	۶۸
۴. ۴. ۳. تغییر در عملگر جهش	۶۹
۴. ۵. نتیجه‌گیری	۷۰
فصل پنجم: نتایج محاسباتی و تحلیل آنها	۷۱
۵. ۱. مقدمه	۷۲
۵. ۲. معرفی داده‌ها و شرایط آزمون	۷۲
۵. ۳. نتایج روش پیشنهادی اول و مقایسه با سایر روش‌ها	۷۳
۵. ۴. مقایسه نتایج دو روش پیشنهادی	۷۵
۵. ۵. بررسی رفتار دو روش پیشنهادی	۷۶
۵. ۶. بررسی تأثیر مرحله کاوش در فرایند جستجو	۷۹
۵. ۷. بررسی کارایی عملگر ترکیب و انتخاب والدها	۸۱
۵. ۸. بررسی لزوم مرحله خوشه‌بندی	۸۳
۵. ۹. مقایسه با روش‌های فراابتکاری غیر ترکیبی	۸۴
۵. ۱۰. بررسی دو نوع رویکرد ترکیبی	۸۶
۵. ۱۱. نتیجه‌گیری	۸۹
جمع‌بندی و پیشنهاد برای تحقیقات آینده	۹۰
پیوست‌ها	۹۱
الف) مسئله ۵×۴	۹۱
ب) مسئله ۸×۸	۹۲
ج) مسئله ۱۰×۱۰	۹۳
د) مسئله ۱۰×۱۵	۹۵
فهرست مراجع	۹۷
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	۱۰۱
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	۱۰۴

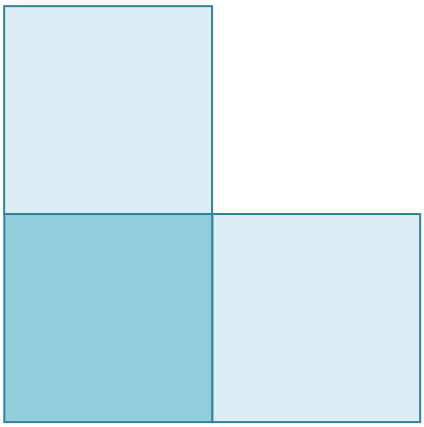
فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱: یک مسئله نمونه	۱۸
جدول ۲-۲: مقادیر مؤلفه‌های زمان شروع، پردازش و باقی‌مانده برای گره‌های گراف	۲۱
جدول ۴-۱: مهمترین پارامترهای موجود در الگوریتم ترکیبی پیشنهادی	۶۵
جدول ۵-۱: نتایج محاسباتی و مقایسه راه‌حل‌های بهینه	۷۴
جدول ۵-۲: مقایسه راه‌حل‌های بهینه در دو روش پیشنهادی	۷۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: راهبرد کلی حل مسئله	۷
شکل ۲-۱: طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی و نحوه ارتباط آنها	۱۴
شکل ۲-۲: نمودارهای گانت برای نمایش زمان‌بندی‌های نوع فعال و نیمه فعال	۱۹
شکل ۲-۳: گراف متناظر با یک زمان‌بندی	۲۰
شکل ۲-۴: رابطه بین راه‌حل‌ها در یک کمینه‌سازی دو هدفی	۲۴
شکل ۳-۱: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی	۲۹
شکل ۳-۲: الگوریتم بهبود تکراری	۳۲
شکل ۳-۳: الگوریتم شبیه‌سازی حرارت	۳۳
شکل ۳-۴: الگوریتم‌های تکاملی	۳۶
شکل ۳-۵: پراکندگی جمعیت در فضای حالت مسئله	۴۱
شکل ۳-۶: دسته‌بندی مدل‌های ترکیب برای روش‌های فراابتکاری	۴۵
شکل ۳-۷: مثالی کاربردی از ترکیب بازپخشی سطح پایین	۴۶
شکل ۳-۸: دو نمونه از ترکیب بازپخشی سطح بالا	۴۸
شکل ۴-۱: چارچوب الگوریتم ترکیبی پیشنهادی	۵۳
شکل ۴-۲: مثال‌هایی برای نشان دادن تفاوت بین راه‌حل‌ها	۵۵
شکل ۴-۳: بازنمایی یک راه‌حل در روش اول	۵۶
شکل ۴-۴: بازنمایی دیگر از یک راه‌حل واحد در روش اول	۵۷
شکل ۴-۵: عملگر ترکیب POX	۶۰
شکل ۴-۶: نحوه کار عملگر جهش	۶۱
شکل ۴-۷: شبیه‌سازی جابه‌جایی جمعیت	۶۲
شکل ۴-۸: الگوریتم ترکیبی پیشنهادی	۶۴
شکل ۴-۹: بازنمایی یک راه‌حل در روش دوم	۶۶
شکل ۴-۱۰: عملگر ترکیب در روش دوم	۶۸
شکل ۴-۱۱: عملگر جهش برای بخش توالی عملیات در روش دوم	۶۹
شکل ۵-۱: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش پیشنهادی	۷۷
شکل ۵-۲: نمودار مقایسه انحراف معیار برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش پیشنهادی	۷۷
شکل ۵-۳: نمودار مقایسه زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی‌ثانیه) در دو روش پیشنهادی	۷۸
شکل ۵-۴: نمودار مقایسه تعداد تکرار نسل‌ها در الگوریتم ژنتیک مربوط به دو روش پیشنهادی	۷۸
شکل ۵-۵: متوسط تعداد خوشه‌های ایجاد شده در الگوریتم NGATS1	۷۹
شکل ۵-۶: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه الگوریتم NGATS1 و روش جستجوی ممنوعه با شروع مجدد تصادفی	۸۰

عنوان	صفحه
شکل ۵-۷: نمودار مقایسه انحراف معیار برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش NGATS1 و روش تغییر یافته در خصوص عملگر ترکیب	۸۱
شکل ۵-۸: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه الگوریتم NGATS1 و روش تغییر یافته در خصوص عملگر ترکیب	۸۲
شکل ۵-۹: نمودار مقایسه انحراف معیار برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش NGATS1 و روش جستجوی ممنوعه با شروع مجدد تصادفی	۸۲
شکل ۵-۱۰: نمودار مقایسه زمان اجرای الگوریتم NGATS1 (برحسب میلی‌ثانیه) پس از مرحله اول با وجود یا عدم وجود مرحله خوشه‌بندی	۸۳
شکل ۵-۱۱: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه الگوریتم NGATS1 با وجود یا عدم وجود مرحله خوشه‌بندی	۸۴
شکل ۵-۱۲: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه در سه روش فراابتکاری	۸۵
شکل ۵-۱۳: نمودار مقایسه انحراف معیار برازندگی راه‌حل‌های بهینه در سه روش فراابتکاری	۸۶
شکل ۵-۱۴: نمودار مقایسه میانگین برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش فراابتکاری ترکیبی	۸۷
شکل ۵-۱۵: نمودار مقایسه انحراف معیار برازندگی راه‌حل‌های بهینه در دو روش فراابتکاری ترکیبی	۸۷
شکل ۵-۱۶: نمودار مقایسه زمان اجرای الگوریتم (بر حسب میلی‌ثانیه) در دو روش فراابتکاری ترکیبی	۸۸
شکل ۵-۱۷: نمودار مقایسه تعداد تکرار نسل‌ها در الگوریتم ژنتیک مربوط به دو روش فراابتکاری ترکیبی	۸۹



فصل اول

مقدمه

۱.۱. مقدمه

به طور کلی مفهوم زمان‌بندی[1]، همان برنامه‌ریزی و تعیین اولویت و توالی برای مجموعه‌ای از فعالیت-ها است که به منظور پردازش بر روی منابع محدودی صورت می‌گیرد [۱]. این تعیین اولویت معمولاً با توجه به معیارهایی صورت می‌گیرد که بعضی از آنها از پیش تعریف شده و غیر قابل تغییر و برخی دیگر منعطف هستند. از این رو زمان‌بندی دقیق و مناسب به بهینه‌سازی مصرف منابع و امکانات موجود کمک می‌کند و موجب ارتقای بازدهی و بهره‌وری مناسب از ظرفیت‌ها و کاهش اتلاف زمان جهت تکمیل کارها و نهایتاً سودآوری سازمان‌ها می‌شود.

دنیای رقابتی امروز، اهمیت زمان را به عنوان یک منبع محدود و بسیار ارزنده در تمام عرصه‌های زندگی به اثبات رسانده است. در چنین شرایطی ضرورت برنامه‌ریزی مؤثر برای منابعی نظیر ماشین‌آلات، تجهیزات و نیروی انسانی بیش از پیش نمود پیدا می‌کند. بنابراین به‌کارگیری روش‌های مفید زمان‌بندی به عنوان ابزاری جهت مصرف بهینه این منابع می‌تواند گامی مؤثر و ارزشمند برای سازمان‌های مختلف اعم از تولیدی و خدماتی باشد.

برای تعیین یک زمان‌بندی مناسب در دنیای واقعی، اغلب روش‌های ساده یا تجربی، نتایج مطلوبی را به دنبال ندارند. از سوی دیگر تکنیک‌های پیچیده‌تر، دانش جامع‌تری را برای استخراج نتایج بهتر می-طلبد؛ چرا که پیچیدگی‌های فنی و محاسباتی این روش‌ها به قدری است که عموماً در فضای واقعی به کار نرفته است. لذا فرایند تصمیم‌گیری جهت تعیین یک زمان‌بندی بهینه، فرایند پیچیده‌ای است که در آن نیاز به دقت و توجه فراوان برای شناسایی مسئله و روش‌های لازم برای یافتن راهبردهای قابل اجرا می‌باشد.

از جمله مفاهیم بسیار مهم در تعیین زمان‌بندی، مصرف بهینه منابع موجود و پاسخگویی به موقع به درخواست مشتریان می‌باشد. بنابراین از این حیث می‌توان مسائل زمان‌بندی را به دو دسته کلی تقسیم کرد؛ دسته اول مسائلی هستند که با در نظر گرفتن محدودیت‌های[2] موجود نظیر ظرفیت منابع، به چگونگی تخصیص منابع مورد نیاز به فعالیت‌ها می‌پردازند. دسته دوم مسائلی هستند که بر روی چیدمان و توالی اجرای فعالیت‌ها تمرکز دارند [۱].

مثال زیر می‌تواند نقش مهم زمان‌بندی را در گوشه‌ای از دنیای وسیع و مدرن امروزی نشان دهد:

یک شرکت بزرگ رسانه‌ای را با مجموعه‌ای از عملیات تولید فیلم‌های سینمایی در نظر بگیرید. این شرکت دارای مجموعه‌ای از امکانات و استدیوها برای فیلم‌سازی است و با افراد زیادی برای تأمین نیروی انسانی خود در نقش‌های مختلف، جهت نویسندگی، کارگردانی، بازیگری و ... در ارتباط است. برخی از فیلم‌هایی که این شرکت در دست تهیه دارد، بسیار بزرگ و هزینه‌بر بوده و در بلند مدت به بهره‌برداری می‌رسد و بعضی دیگر از فیلم‌ها، مناسبتی بوده و در کوتاه مدت باید به فرایند پخش برسد. توانایی این

1. Scheduling
2. Constraints

شرکت در تولید همزمان این فیلم‌ها کاملاً بستگی به حجم عملیات و امکانات موجود دارد. در چنین شرایطی تعیین اینکه کدامیک از فعالیت‌ها می‌بایست زودتر تهیه و تدوین گردد تا فیلم‌های مهلت‌دار بدون دیرکرد به محصول منتهی شود، یا اینکه کدام فعالیت‌ها را می‌توان به ترتیبی انجام داد که بهترین استفاده همزمان از امکانات و افراد صورت گیرد، از جمله موارد پیش رو در خصوص مسئله زمان‌بندی در این شرکت است.

۱. ۲. پیشینه موضوع

در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی گیفلر و تامسون[1] برای اولین بار در مقاله خود با عنوان «الگوریتم‌هایی برای حل مسائل زمان‌بندی تولید» نشان دادند که برای جستجوی راه‌حل بهینه لازم نیست که همه راه-حل‌های ممکن مورد بررسی قرار گیرد؛ بلکه تنها کافی است بر روی زیرمجموعه‌ای از راه‌حل‌های امکان-پذیر (تحت عنوان زمان‌بندی‌های فعال) فرایند جستجو اعمال شود [۶]. سپس آن دو الگوریتمی را با اختصار GT ارائه کردند که به طور تکرارپذیر تمام زمان‌بندی‌های فعال را برای مسئله داده شده، برمی-شمرد. همچنین آنها در سال ۱۹۶۳ سه مسئله معروف MT06 ، MT10 و MT20 را در کتابی با عنوان «زمان‌بندی صنعتی» مطرح کردند تا زمینه برای تحقیقات بیشتر و مقایسه‌پذیر مهیا شود. مسئله MT10 به قدری خوف برانگیز بود که بیش از ۲۰ سال بدون حل باقی ماند. مقاله این دو نفر از جنبه دیگری نیز اهمیت داشت و آن این بود که برای اولین بار یک روش تقریبی و تصادفی برای حل مسئله زمان‌بندی ارائه می‌شد.

از پیشگامان دیگر در تحقیق و توسعه روش‌های زمان‌بندی کار کارگاهی، بروکس و وایت[2] بودند که برای اولین بار روش دقیق انشعاب و تحدیدی را مبتنی بر الگوریتم GT برای حل این مسئله به کار بردند. بالاس نیز اولین کسی بود که به موضوع جابه‌جا کردن فعالیت‌های روی یک مسیر ویژه به نام «مسیر بحرانی» اشاره کرد. این موضوع بعدها نقش مهمی را در زمینه روش‌های تقریبی از خود نشان داد [۶].

بعد از سال‌ها و در ۱۹۸۵ میلادی، کارلیر و پینسون[3] موفق شدند با به‌کارگیری یک روش انشعاب و تحدید مسئله MT10 را حل کنند. اما از آنجایی که از روش‌های دقیق برای حل مسئله استفاده کرده بودند، علی‌رغم بهبود آن، در مواجهه با مسائل بزرگ دچار مشکل می‌شدند [۶].

علاوه بر روش‌های دقیق، روش‌های تقریبی بسیاری نیز پا به عرصه ظهور گذاشت که شبیه‌سازی حرارت[4] از جمله آنها بود. آدامز و همکارانش[5] نیز در سال ۱۹۸۸ موفق به ارائه یک روش ابتکاری به نام «شیفت گلوگاه»[6] شدند که در آن به طور تکرارپذیر، ماشین مشکل‌ساز شناسایی و توالی فعالیت‌های مربوط به آن اصلاح می‌شد. در سال ۱۹۹۱ اپلیگیت این روش را با روش انشعاب و تحدید ترکیب کرد و نشان داد که مسئله MT10 آن قدرها هم مشکل نیست. لذا اقدام به انتشار مجموعه جدیدی از مسائل

1. B. Giffler and G.L. Thompson
2. G.H. Brooks and C.R. White
3. Carlier and Pinson
4. Simulated Annealing
5. J. Adams, E. Balas and D. Zawack
6. Bottleneck Shifting

معروف و مورد آزمون مشترک به نام «۱۰ مسئله دشوار» کرد که هفت تای آنها حتی توسط روش خودش نیز بدون حل باقی ماند [۶].

در دهه ۱۹۹۰ میلادی روش جستجوی ممنوعه[1] مورد استقبال فراوانی قرار گرفت. ظهور الگوریتم پر کاربردی مانند الگوریتم ژنتیک نیز یکی از انگیزه‌هایی بود که باعث شد تا یامادا و ناکانو[2] در سال ۱۹۹۲ اقدام به حل این مسئله زمان‌بندی نمایند. البته عملگرهای روش آنها مبتنی بر الگوریتم GT بود [۶].

در سال ۱۹۹۴ اولین روش‌های ترکیبی برای تلفیق الگوریتم ژنتیک و جستجوی محلی ارائه شد. هر چند ظهور روش‌های تقریبی جدیدی مانند بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها[3] و بهینه‌سازی اجتماع زنبورها[4] در سال‌های بعد موجب ارائه الگوریتم‌های جدیدی برای حل مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی شده است؛ اما در سال‌های اخیر عمده پژوهش‌ها به روش‌های ترکیبی و بهبود روش‌های قبل معطوف شده است.

در ایران هم پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی این مسئله و انواع آن صورت گرفته است. البته عمدتاً از منظر رشته مهندسی صنایع در این زمینه کار شده است و تحقیقاتی که نشئت گرفته از دانش محض رشته مهندسی کامپیوتر باشد، کمتر به چشم می‌خورد. به هر حال این طبیعی است که موضوعاتی که جنبه صنعتی دارند و یک نیاز در دنیای واقعی را دنبال می‌کنند، برای حل مشکل خود به سایر رشته‌ها متوسل شده و به دنبال چاره باشند.

۱. ۳. شیوه‌های نوین

همان طور که اشاره شد، بیشتر پژوهش‌ها در سال‌های اخیر به تمرکز بر روی روش‌های ترکیبی و بهبود هر چند جزئی در روش‌های قبل باز می‌گردد. طبق یک بررسی انجام شده، تنها برای سه سال اخیر و برای یک مجله با نام «The International Journal of Advanced Manufacturing Technology» بیش از ۲۸۰ مقاله در خصوص مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی به چاپ رسیده است که سهم پژوهشگران ایرانی در این آمار قابل توجه است.

نکته قابل توجه دیگر در پژوهش‌های جدید، تمرکز بر روی جنبه‌ای خاص از مسئله است؛ مثلاً ارائه روشی جدید برای نوع «پویا»ی مسئله، یا روشی بهبودیافته برای نوع «چندهدفی» آن. در فصل دوم به انواع مسائل زمان‌بندی اشاره خواهد شد.

بنابراین مجموعه پژوهش‌های مرتبط با موضوع این تحقیق را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

- یکی پژوهش‌هایی که به دنبال ارائه روشی جدید یا حداقل بهبودیافته برای یک مسئله با عنوان واحد و مشخص هستند.
- دوم پژوهش‌هایی که با استفاده از یک روش مشخص یا تغییر جزئی آن، یا ترکیب با سایر روش‌ها به سراغ حل نوع ویژه‌ای از مسئله زمان‌بندی رفته‌اند.

1. Tabu Search
2. Yamada and Nakano
3. Ant Colony Optimization
4. Bee Colony Optimization

زمینه دیگری که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از قابلیت‌هایی است که در راستای توسعه سخت‌افزاری صورت گرفته است. ظهور پردازنده‌های چندهسته‌ای با امکان پردازش موازی و ارزان‌تر شدن آنها و قابلیت‌های شبکه‌ای و مفاهیمی چون محاسبات ابری[1]، زمینه‌های جدیدی را برای تحقیقات گسترده در دنیای علم فراهم کرده است.

پژوهش‌های جدید به قدری دقیق و تخصصی شده‌اند که شاید نتوان تماماً یک روش را بر روش دیگر برتری داد. اغلب مقایسه‌ها نیز به پاسخ‌های نهایی بر روی مسائل معروف منتهی شده است. البته ناگفته نماند که چنانچه محقق نیاز به مقایسه رفتاری و زمانی الگوریتم خود با سایر موارد مشابه داشته است، با پیاده‌سازی و اجرای آنها در شرایط برابر اقدام به این کار کرده است.

به هر حال مزیت کار بر روی روش‌های ترکیبی بر کسی پوشیده نیست. چرا که در روش‌های ترکیبی با همپوشانی نقاط ضعف و قوت روش‌های پایه، اغلب به نتایج قابل قبولی دست پیدا می‌شود. لذا عمده پژوهش صورت گرفته نیز بر روی چنین روش‌هایی بوده است.

۱. ۴. هدف از انجام تحقیق

با توجه به پیچیدگی محاسباتی بالا و کاربرد وسیع مسائل زمان‌بندی در زمینه‌های مختلف، مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی و انواع آن از حیث پژوهشی و دانشگاهی مورد توجه بسیار زیادی قرار گرفته است و هر ساله با رشد علم و بهره‌گیری از روش‌های روزآمد، تحقیقات و پروژه‌های زیادی در خصوص آن صورت می‌گیرد. لذا ضرورت انجام این پژوهش را می‌توان از دو منظر مورد توجه قرار داد که به ترتیب اهمیت در روند انجام تحقیق، بیان می‌گردد:

۱. **ارائه و تحلیل یک رویکرد ترکیبی جدید در فضای روش‌های فراابتکاری**

همان طور که گفته شد و در فصل سوم نیز به تفصیل بحث خواهد شد، روش‌های ترکیبی یکی از پر طرفدارترین رویکردها برای حل مسائل پیچیده در علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی شده است. با توجه به الگوهای متنوعی که برای ترکیب روش‌های جستجوی پایه وجود دارد، تحقیقات مختلفی در این زمینه به ثمر نشسته و هر یک مزایای خاصی را نسبت به سایر روش‌های مشابه به دنبال داشته است.

در این پژوهش نیز رویکرد متفاوتی از ترکیب روش‌های متداول ارائه شده است که نتایج حاصل از آن قابل مقایسه با روش‌های مشابه است.

۲. **پاسخ به نیاز گسترده در صنعت و لزوم ارتقای بهره‌وری و مدیریت بهینه منابع**

در محیط تجاری و رقابتی امروز، شرکت‌های تولیدی و خدماتی برای تداوم بقای خود، به سودآوری مطمئن و بلندمدت نیاز دارند و این موضوع مهم جز با محصولاتی با کیفیت و به موقع، جهت رضایت مشتریان حاصل نمی‌شود. نیاز به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی منابع موجود و ارتقای بهره‌وری آنها با اتلاف کمتر زمان، از مهم‌ترین دغدغه‌های این شرکت‌ها است.

1. Cloud Computing

فراهم آوردن روش‌ها و ابزارهای مفیدی که بتواند در کوتاه‌ترین زمان، پاسخگوی نیاز شرکت‌ها باشد و علی‌رغم تغییرات متعدد در محیط پیرامون آنها، مناسب‌ترین راهکارهای به‌روز را در اختیار آنها قرار دهد، اثر قابل توجهی بر بهبود استفاده از منابع خواهد گذاشت.
یکی از مجموعه‌هایی که حتی انگیزه‌ای برای شروع این پژوهش بود، سازمان صدا و سیما بود که در ضمن تولید ماژول نرم‌افزاری «مدیریت تخصیص منابع متمرکز» در حوزه فیلم‌سازی، چنین دغدغه‌هایی برای بهره‌وری منابع مطرح شد.

امیدواریم سایر تحقیقات مشابه نیز با حضور در عرصه‌های عملی، منجر به بهبود و اثربخشی مطلوب در فرایندهای تولیدی و خدماتی شده و رشد روزافزون کشور را در پی داشته باشند.

۱. ۵. نوآوری تحقیق

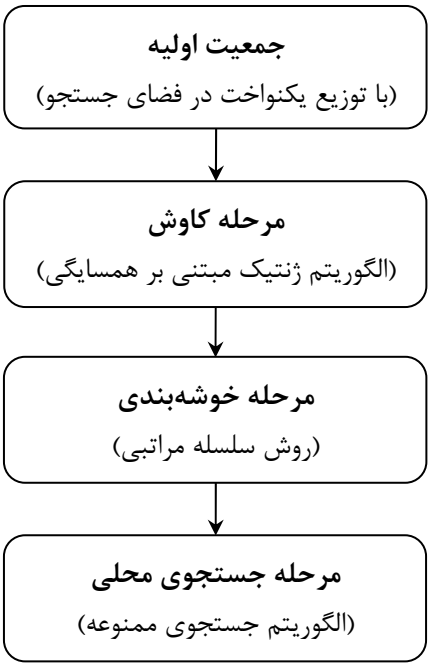
این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع و زمینه کاربردی مرتبط با آن در سازمان‌های داخلی، در کنار سایر تحقیقات صورت گرفته، قدم به عرصه ظهور نهاده و تلاش در ایجاد رویکردی نوین در استفاده از روش‌های هوشمند برای حل مسائل پیچیده دارد و البته مسئله زمان‌بندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر به عنوان یک مورد کاربردی مهم و معروف به عنوان بستری برای ارزیابی این رویکرد جدید مورد استفاده قرار گرفته است.

در این پژوهش، راهبرد جدیدی در به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مسئله MOFJSP[1] ارائه شده است. این راهبرد حل مسئله، که در شکل ۱-۱ به طور خلاصه نشان داده شده است، شامل چهار مرحله اصلی است که در فصل سوم مفصلاً به آن پرداخته خواهد شد.

در مرحله اول، یک جمعیت اولیه از راه‌حل‌های امکان‌پذیر با بهره‌گیری از پارامتر همسایگی[2] و توزیع مناسب در فضای جستجوی مسئله ایجاد می شود. در مرحله بعد، این جمعیت بر اساس پارامترهای برازندگی[3] و همسایگی، اقدام به کاوش در فضای جستجو می‌کنند تا جایی که به طور پویا تشکیل چند خوشه در اطراف نواحی برازنده‌تر می‌دهند. سپس این نواحی شناسایی شده با استفاده از یک روش سلسله مراتبی خوشه‌بندی می‌شود. در مرحله آخر نیز به طور موازی، الگوریتم‌های جستجوی محلی بر روی بهترین راه‌حل هر خوشه اجرا می‌شود و نهایتاً راه‌حل بهینه از بین خروجی آنها به دست می‌آید. برای مرحله کاوش، از یک الگوریتم ژنتیک توسعه یافته و مبتنی بر مفهوم همسایگی راه‌حل‌ها و برای جستجوی محلی از روش جستجوی ممنوعه استفاده شده است.

نکته مهم این است که در این رویکرد ترکیبی از الگوریتم مبتنی بر جمعیتی مانند الگوریتم ژنتیک، تنها برای کاوش توزیع شده راه‌حل‌های مناسب‌تر در فضای جستجو استفاده شده است و هدف اولیه از به‌کارگیری این الگوریتم، یافتن بهینه سراسری نیست. فرایند جستجو بهینه سراسری در مراحل بعد و پس از اعمال موازی الگوریتم‌های جستجوی محلی تکمیل می‌شود.

1. Multi-Objective FJSP
2. Neighborhood
3. Fitness



شکل ۱-۱: راهبرد کلی حل مسئله

به بیان دیگر، در خصوص استفاده از روش‌های جستجوی محلی برای حل مسائل پیچیده، همیشه این خطر و دغدغه وجود دارد که نقطه شروع مناسب چگونه انتخاب شود، به گونه‌ای که بتوان مطمئن بود که الگوریتم مورد نظر در دام بهینه نقاط بهینه محلی گرفتار نمی‌شود. از این رو در مقوله روش‌های جستجوی محلی، تا کنون رویکردهایی مطرح شده است که بیشترین تلاش را برای فرار از این گونه دام‌ها داشته باشد.

الگوریتم SA یکی از این تلاش‌ها است. در این الگوریتم فراابتکاری، پس از شروع از یک نقطه در فضای جستجو و ویژه در اوایل فرایند جستجو، اجازه انتخاب‌های نامناسب را نیز می‌دهد تا بتوان راه‌های گریزی از بهینه‌های محلی را در پیش روی داشت.

الگوریتم‌های تپه نوردی با شروع مجدد تصادفی[1] نیز با تلاش برای جستجوی مجدد از نقاط شروع جدید و الگوریتم جستجوی پرتوی محلی[2] با رویکرد جستجوی موازی از n نقطه مختلف در فضای جستجو، سعی در یافتن بهینه سراسری را دارند و این هدف را با تمرکز بر یافتن نقاط بهینه محلی در ناحیه‌های گوناگون در فضای جستجو دنبال می‌کنند.

اما به طور کلی همه روش‌های جستجوی محلی، با تکیه بر نگهداری وضعیت یک راه‌حل و انتخاب راه-حل بعدی بر اساس اطلاعات موجود در راه‌حل فعلی، وابستگی شدیدی به انتخاب نقطه شروع مناسب دارند. بنابراین چنانچه بتوان نقاط شروع مناسبی را در اختیار روش‌های جستجوی محلی قرار داد، می-توان انتظار داشت که بهینه محلی به دست آمده از اجرای این الگوریتم‌ها قریب به یقین همان بهینه

1. Random-restart Hill Climbing
2. Local Beam Search