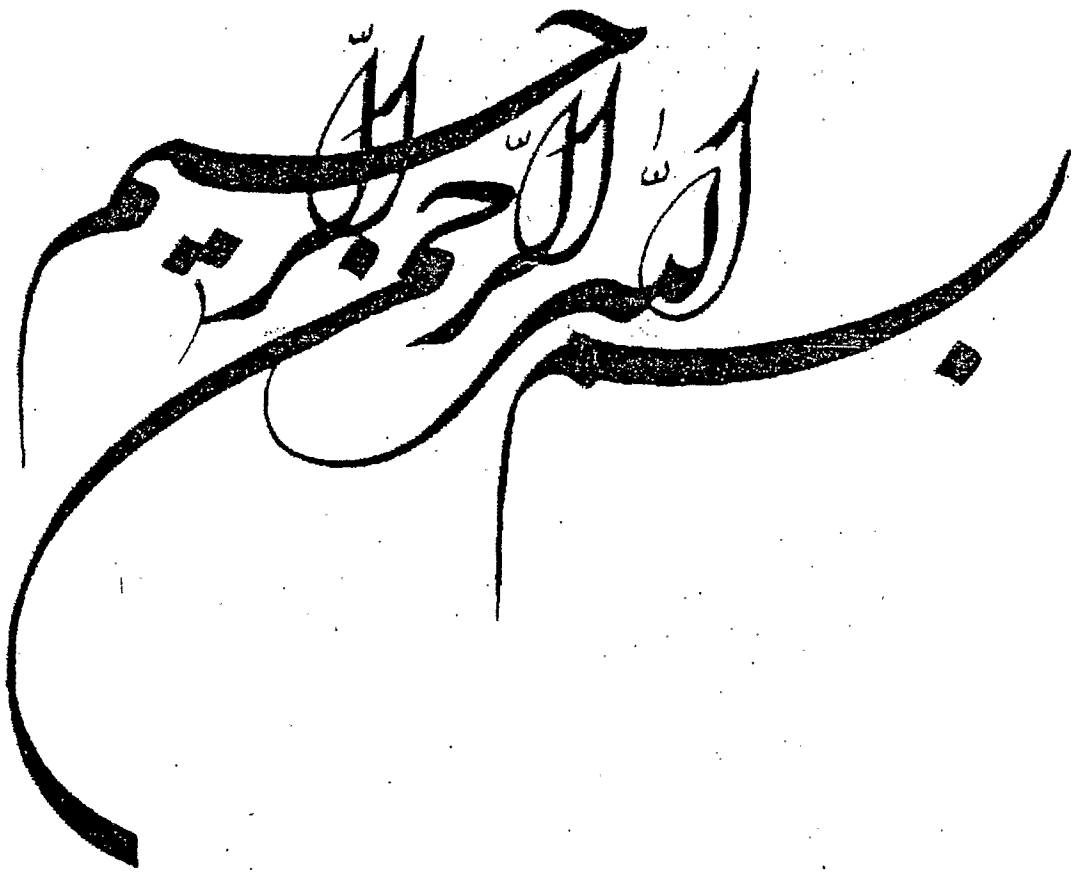
بسم الله الرحمن الرحيم

١١١٩٦٨

وزارت علوم، تحقیقات و فن آوری

دانشگاه علوم و فنون مازندران

دانشکده مهندسی صنایع

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع- مهندسی سیستمهای اقتصادی و اجتماعی

ارائه الگوریتم‌های ایمنی مصنوعی و جستجوی همسایگی متغیر برای مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر

دانشجو: علی باقری

۱۳۸۸ /۲/ ۱۰

استاد راهنما: دکتر مصطفی زندیه

استاد مشاور: دکتر ایرج مهدوی

نیمسال دوم تحصیلی ۸۷-۱۳۸۶

۱۱۱۹۶۸

با تشکر و سپاس از:

استاد گرامی و ارجمند جناب آقای دکتر مصطفی زندیه که راهنماییهای ارزنده و بی دریغشان چراغ راه من در به ثمر رساندن این تحقیق بود.

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر ایرج مهدوی که کمکهای ارزشمند ایشان مددرسان من در انجام این تحقیق بود.

تقدیم به پدر زحمتکش و مادر مهربانم

چکیده

سیستم ایمنی مصنوعی(AIS)، روشی هوشمندانه در حل مسائل زمانبندی می باشد. AIS ، سیستمی محاسباتی است که از اصول، توابع و مکانیزمهای ایمنی الهام گرفته است. در این تحقیق یک الگوریتم محاسباتی بر اساس اصل کلونال سلکشن و نیز مکانیزم بلوغ افینیتی که در پاسخهای ایمنی کاربرد دارند جهت حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر(FJSP) ارائه شده است. همچنین، یک الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر(VNS) برای حل مسئله FJSP ارائه شده است. این الگوریتم بر پایه تغییرات منظم ساختار همسایگی برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبیاتی به کار می رود. مسئله FJSP یک تعمیم از مسئله کلاسیک زمانبندی کار کارگاهی (JSP) و از سخت ترین مسائل بهینه سازی ترکیبیاتی است. در این تحقیق مسئله FJSP با سه هدف کمینه سازی زمان تکمیل(C_{max}) ، کمینه سازی حداکثر حجم کاری ماشینها (W_{max}) و کمینه سازی حجم کاری کل ماشینها (W_T) حل شده است. الگوریتم ایمنی مصنوعی(AIA) ارائه شده بر روی ۲۳ مسئله نمونه اجرا شده و با نتایج الگوریتمهای ژنتیک ، ترکیب اجتماع ذرات (PSO) و شبیه سازی تبرید (SA) و ترکیب جستجوی ممنوع(TS) و شبیه سازی تبرید ،ارائه شده توسط دیگران مقایسه شده است. الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی ۵۳ مسئله نمونه اجرا شده و نتایج آنها با نتایج دو الگوریتم ژنتیک ارائه شده توسط دیگران مقایسه شده است. نتایج نشان می دهد که الگوریتمهای پیشنهاد شده برای حل مسئله FJSP کارا هستند.

Abstract

Artificial immune systems (AIS) can be defined as computational systems inspired by theoretical immunology functions, principles and mechanism in order to solve problems. In this study, a computational algorithm based on clonal selection principle and affinity maturation mechanism is presented for solving the flexible job shop scheduling problem (FJSP). Also, a variable neighborhood search (VNS) algorithm is presented to solve FJSP. This meta-heuristic apply for solving combinatorial optimization problems by systematic changes of the neighborhood structures. FJSP is an extension of the classical JSP and is among the hardest combinatorial optimization problems. In this study, FJSP is solved for three criteria, minimum completion time of all the jobs(C_{max}), minimum maximal machine workload(W_{max}) and minimum total workload(W_T). Proposed artificial immune algorithm (AIA) is implemented on 23 benchmark problems and compared with genetic algorithm (GA), hybrid particle swarm optimization (PSO) and simulated annealing(SA) algorithm and hybrid tabu search(TS) and simulated annealing algorithm by others. VNS algorithm is implemented on 53 benchmark problems and compared with two genetic algorithms by others. The Results show that proposed algorithms are effective for solving FJSP.

--- « فهرست » ---

فصل اول ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق ۳

۱-۳- اهداف تحقیق ۳

۱-٤- توالی عملیات و زمانبندی ٤

۱-٥- طبقه بندی بر اساس محیط منابع ٥

۱-٦- مسئله زمانبندی کار کارگاهی(JSP) ۷

۱-۷- مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر(FJSP) ۹

۱-۸- جمع بندی ۱۳

فصل دوم ۱٤

۲-۱- مقدمه ۱٥

۲-۲- مرور ادبیات مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر(FJSP) ۱٥

۲-۲-۱- روشهای موجود برای حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ۱۸

۲-۲-۱-۱- رویکردهای مرتبه ای در حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ۱۸

۲-۲-۱-۲- رویکردهای یکپارچه در حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ۱۹

۲-۳- الگوریتم ژنتیک ۲۰

۲-۳-۱- الگوریتم ژنتیک ارائه شده برای مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ۲۱

۲-۳-۱-۱- کد گذاری ۲۱

۲-۳-۱-۲- جمعیت اولیه ۲۲

۲-۳-۱-۲-۱- تخصیص اولیه ۲۲
۲-۳-۱-۲-۲- توالی تخصیصهای اولیه ۲۵
۲-۳-۱-۳- انتخاب ۲۷
۲-۳-۱-٤- تولید نسل جدید ۲۸
۲-٤- سیستمهای ایمنی مصنوعی ۳۰
۲-٤-۱- اصول سیستم ایمنی ۳۰
۲-٤-۲- فیزیولوژی سیستم ایمنی ۳۱
۲-٤-۳- تشخیص الگو در سیستم ایمنی ۳۲
۲-٤-٤- کلونال سلکشن ۳۳
۲-٤-٥- جهش ۳۵
۲-٤-٦- اصلاح گیرنده ۳۵
۲-٤-۷- بلوغ افینیتی ۳۵
۲-٤-۸- تئوری شبکه ایمنی ۳٦
۲-٤-۹- کاربرد سیستم ایمنی مصنوعی ۳٦
۲-٤-۱۰- ارزیابی ۳۸
۲-٤-۱۱- اصول الگوریتم ایمنی مصنوعی ۳۸
۲-٤-۱۲- تابع افینیتی ۳۹
۲-٥- الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ٤۰
۲-٥-۱- الگوریتم جستجوی همسایگی پایه ٤۱
۲-٦- جمع بندی ٤٤

فصل سوم ٤٥

۳-۱- مقدمه ٤٦
۳-۲- الگوریتم ایمنی مصنوعی برای زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ٤٦

۳-۲-۱- کدگذاری ٤٧
۳-۲-۲- تولید جمعیت اولیه ٤٨
۳-۲-۲-۱- تخصیص اولیه ٤٨
۳-۲-۲-۲- توالی تخصیصهای اولیه ٤٩
۳-۲-۳- ارزیابی تابع هدف و میزان شباهت ٤٩
۳-۲-٤- کلونال سلکشن ٥٠
۳-۲-٥- تولید نسل بعدی ٥٠
۳-۲-٥-۱- بکارگیری عملگرهای جهش ٥٠
۳-۲-٥-۱-۱- عملگرهای تخصیصی ٥١
۳-۲-٥-۱-۲- عملگرهای توالی ٥٢
۳-۲-٥-۲- اضافه کردن آنتی بادیهای جدید به آنتی بادیهای نسل جاری ٥٣
۳-۲-٥-۳- اصلاح گیرنده ٥٣
۳-۲-٥-٤- انتخاب ٥٣
۳-۲-٦- معیار توقف ٥٣
۳-۳- الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر برای زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر ٥٥
۳-۳-۱- کدگذاری ٥٦
۳-۳-۲- تولید جمعیت اولیه ٥٦
۳-۳-۳- ساختارهای همسایگی ٥٦
۳-۳-۳-۱- ساختارهای همسایگی مربوط به تخصیص ٥٧
۳-۳-۳-۲- ساختارهای همسایگی مربوط به توالی ٥٨
۳-۳-٤- ارتعاش ٥٩
۳-۳-٥- جستجوی محلی ٦٠
۳-۳-٦- معیار توقف ٦١
۳-٤- جمع بندی ٦٤

فصل چهارم ٦٥

٤-١- مقدمه ٦٦

٤-٢- بررسی نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی ٦٦

٤-٢-١- تنظیم پارامترهای الگوریتم ایمنی مصنوعی ٦٧

٤-٢-٢- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی مسائل *Kdata* ٦٨

٤-٢-٣- مقایسه نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی *Kdata* با الگوریتمهای دیگر..... ٧١

٤-٢-٤- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی مسائل *Fdata* ٧١

٤-٢-٥- مقایسه نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی *Fdata* با الگوریتمهای دیگر..... ٧٣

٤-٣- بررسی نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ٧٦

٤-٣-١- تنظیم پارامترهای الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ٧٧

٤-٣-٢- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی مسائل*BRdata* ٧٧

٤-٣-٣- مقایسه نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی*BRdata* با الگوریتمهای دیگر..... ٧٨

٤-٣-٤- نتایج حاصل از اجرای الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی مسائل*Vdata* ٧٩

٤-٣-٥- مقایسه نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی*Vdata* با الگوریتمهای دیگر..... ٨٢

٤-٤- جمع بندی ٨٣

فصل پنجم ٨٤

٥-١- نتیجه گیری ٨٥

٥-٢- پیشنهادات آتی ٨٦

مراجع ٨٨

ضمائم ٩٣

مسائل *Fdata* ٩٤

کد کامپیوتری ١٠١

--- « فهرست جداول » ---

جدول(۱-۱) جدول داده های زمان پردازش ۱۱

جدول(۲-۱) رویکرد موضعی کردن ۲۳

جدول (۲-۲) روش تخصیص۱ ..... ۲٤

جدول (۲-۳) روش تخصیص۲ ..... ۲۵

جدول(٤-۱) برخی پارامترهای الگوریتم ایمنی مصنوعی ٦۸

جدول(٤-۲) نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی *Kdata* ٦۹

جدول(٤-۳) مقایسه نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی روی *Kdata* ۷۱

جدول(٤-٤) نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی بر روی *Fdata* ۷۲

جدول(٤-۵)مقایسه نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی با نتایج رویکردهای یکپارچه فتاحی روی *Fdata* ۷٤

جدول(٤-٦)مقایسه نتایج الگوریتم ایمنی مصنوعی با نتایج رویکردهای مرتبه ای فتاحی روی *Fdata* ۷۵

جدول(٤-۷) میانگین خطای نسبی روی *Fdata* ۷٦

جدول(٤-۸) نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی *BRdata* ۷۸

جدول(٤-۹)مقایسه نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر با نتایج چِن و پِزِلا روی *BRdata* ۷۹

جدول (٤-۱۰) میانگین خطای نسبی روی *BRdata* ۷۹

جدول(٤-۱۱) نتایج الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر بر روی *Vdata* ۸۰

جدول(٤-۱۲) میانگین خطای نسبی روی مسائل *Vdata* ۸۲

--- « فهرست اشکال و نمودارها » ---

شکل(۱-۱) گردش کار یک ماشین نمونه در مدل کار کارگاهی ۸

شکل(۱-۲) نمودار گانت جواب شدنی ۱ ..... ۱۲

شکل(۱-۳) نمودار گانت جواب شدنی۲ ..... ۱۳

شکل(۲-۱) نحوه نمایش کروموزوم ۲۱

شکل(۲-۲) سلولهای نوع T و نوع B ۳۲

شکل(۲-۳) تطبیق گیرنده های سلولی نوع B وT با شکل آنتی ژنها ۳۳

شکل(۲-٤) اصل تکثیر غیرجنسی ۳٤

شکل(۲-٥) مراحل انجام یک الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ٤۳

شکل(۳-۱) نحوه نمایش آنتی بادی ٤۸

شکل(۳-۲) تشریح جهش توالی مجدد ٥۲

شکل(۳-۳) ساختار همسایگی توالی مجدد ٥۹

شکل(٤-۱) نمودار گانت برای جواب مسئله ۸ X ۸ ..... ٦۹

شکل(٤-۲) نمودار گانت برای جواب مسئله ۱۰ X ۱۰ ..... ۷۰

شکل(٤-۳) نمودار گانت برای جواب مسئله ۱۰ X ۱٥ ..... ۷۰

شکل (٤-٤) برنامه زمانبندی برای مسئله *MFJS4* ۷۳

شکل(٤-٥) نمودار C_{max} برای مسئله *la40* ۸۲

--- « فهرست کلمات اختصاری » ---

JSP: Job shop Scheduling Problem
SA: Simulated Annealing
GA: Genetic Algorithm
TS: Tabu Search
FJSP: Flexible Job shop Scheduling Problem
PSO: Particle Swarm Optimization
VND: Variable Neighborhood Descent
MWR: Most Work Remaining
MOR: Most number of Operations Remaining
POX: Precedence preserving Order-based crossover
PPS: Precedence Preserving Shift mutation
AIS: Artificial Immune System
ES: Evolution Strategy
EP: Evolution Programming
GP: Genetic Programming
EC: Evolution Computation
AIA: Artificial Immune Algorithm
VNS: Variable Neighborhood Search
AL: Approach by Localization
CGA: Classic Genetic Algorithm
RE: Relative Error
LB: Lower Bound

فصل اول

بیان مسئله

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا ضرورت تحقیق در حوزه توالی عملیات و زمانبندی و به دنبال آن به معرفی و بیان مسئله مورد نظر در این تحقیق می‌پردازیم. در این مطالعه، مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. برای تشریح این مسئله، ابتدا تقسیم‌بندی انجام گرفته بر اساس محیط منابع را بیان کرده و جایگاه مسئله مذکور را در این تقسیم‌بندی مشخص می‌کنیم. سپس مسئله زمانبندی کار کارگاهی که حالت خاصی از مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر است را معرفی کرده و به دنبال آن مسئله اصلی را تشریح می‌کنیم.

در این تحقیق، برای حل مسئله سه هدف در نظر گرفته شده است که این اهداف عبارتند از:

۱- کمینه‌سازی زمان تکمیل C_{max} که همان زمان تکمیل کل کارها است.

۲- کمینه‌سازی W_{max} که حداکثر حجم کاری ماشینها است.

۳- کمینه‌سازی W_T که حجم کاری کل ماشینها است.

اهداف ۲ و ۳ بدلیل وجود انعطاف‌پذیری در این محیط، مورد مطالعه قرار می‌گیرند و در محیط‌های انعطاف‌ناپذیر کمینه‌سازی این دو هدف امکان‌پذیر نیست. درجه اهمیت اهداف در نظر گرفته شده بدین‌گونه است که C_{max} در درجه اول اهمیت، W_{max} در درجه دوم اهمیت و W_T در درجه آخر اهمیت قرار دارند.

بدلیل پیچیدگی مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی در حوزه زمانبندی و در ابعاد واقعی، استفاده از روشهای تحلیلی مانند روش شاخه و کران[۱] ، بدلیل زمانبربودن اینگونه روشها، گاه غیرممکن به نظر می‌رسد. از این‌رو ضرورت بهره‌گیری از رویکردهای فرا ابتکاری[۲] جهت حل اینگونه مسائل، بدیهی به نظر می‌رسد. با توجه به این نکته، در فصلهای آینده دو الگوریتم فرا ابتکاری را توسعه و با حل مسائل نمونه و استاندارد موجود در ادبیات ، به مقایسه آنها با دیگر الگوریتم‌های موجود در ادبیات خواهیم پرداخت.

---

[۱] Branch and bound

[۲] Meta-heuristic approaches

ضرورت تحقیق

زمانبندی عملیات یکی از حیاتی‌ترین موضوعات در برنامه‌ریزی و اداره‌کردن فرآیندهای تولیدی است. یافتن بهترین برنامه زمانبندی ، با توجه به محیط کارگاه ، محدودیت‌های فرآیند و شاخص عملکرد می‌تواند بسیار ساده یا بسیار سخت باشد[۱] . همانطور که پردازش‌های صنعتی پیچیده‌تر می‌شوند، محیط‌های صنعتی خواهان افزایش ظرفیت خود بر اساس تعداد فعالیت‌های قابل پردازش و نیز تعداد انواع فعالیت‌های متمایز قابل پردازشی که اساساً شبیه به هم می‌باشند، هستند. بدین ترتیب محیط‌های صنعتی از سیستم‌های جریان کارگاهی به طور قابل ملاحظه‌ای فاصله گرفته و دور شده‌اند[۲].

برای تطبیق با الزامات بازار امروزی، سیستم‌های تولیدی باید انعطاف‌پذیرتر و کاراتر شوند. برای رسیدن به این اهداف، سیستم‌ها نه تنها نیازمند ماشین‌های مکانیزه و انعطاف‌پذیر هستند، بلکه نیازمند سیستم-های زمانبندی انعطاف‌پذیر نیز هستند[۳]. با توجه به اینکه ماشین‌های مدرن ، به میزان قابل توجهی دارای قابلیت تطبیق‌پذیری هستند، مدلسازی و حل مسائل زمانبندی با رویکردهای کلاسیک بدون توجه به مفهوم قابلیت تطبیق‌پذیری ماشین‌ها، حقیقت کار کارگاههای مدرن را روشن نمی‌کند. علاوه براین، تعیین مسیرهای ماشینی بدون تفکرکردن در مورد مسیرهای جایگزین که حاصل قابلیت تطبیق‌پذیری ماشین‌هاست، می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای کارایی این کارگاهها را کاهش دهد[٤].

۱-۲- اهداف تحقیق

- معرفی و تشریح مسائل زمانبندی کار کارگاهی و زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر
- بررسی تحقیقات به عمل آمده در زمینه زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر
- توسعه دو الگوریتم فرا ابتکاری کارا برای حل مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف‌پذیر با سه هدف کمینه‌کردن زمان تکمیل کل کارها، کمینه‌کردن حداکثر حجم کاری ماشینها و کمینه‌کردن حجم کاری کل

- اجرای الگوریتم‌های توسعه داده شده بر روی مسائل نمونه و استاندارد، و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج بهترین الگوریتم‌های موجود در ادبیات

۱-۳- توالی عملیات و زمانبندی[۵]

زمانبندی تولید را می‌توان چنین تعریف نمود: *تعیین توالی زمانی و تخصیص سفارشات مشتریان به منابع موجود تولید(اعم از پرسنل، ماشین‌آلات، ابزار و غیره) بمنظور انجام مجموعه‌ای از عملیاتهای مربوطه.* معمولاً زمانبندی با توجه به اهدافی نظیر: دستیابی به موعدهای تعهدشده، کمینه‌سازی زمان کار در جریان ساخت و موجودی کار در جریان ساخت، بیشینه‌سازی خروجی و بهره‌برداری بیشتر از مراکز کاری انجام می‌شود. قابل ذکر است که این اهداف با یکدیگر در تناقض می‌باشند، لذا در مسائل زمانبندی ممکن است به لحاظ قواعد فنی مشکلاتی رخ دهد.

تخصیص بهینه منابع به فعالیتها در طول زمان بعنوان یک مساله پیچیده ترکیبیاتی[۳] شناخته می‌شود. روشهای دقیق در اغلب موارد برای این مسئله قابل بکارگیری نیستند زیرا این روشها الزامات محاسباتی غیر واقعی دارند. این موضوع بخصوص در مورد روشهای شمارش کامل صادق است(که اغلب زمانی بکار می‌روند که روشهای تحلیلی برای حل وجود ندارد).

مسائل واقعی زمانبندی تولید عموماً دارای تعداد زیادی فعالیت و منبع بوده که یک مجموعه گوناگون از اهداف و محدودیت بهره‌برداری از منابع در مورد آنها مطرح می‌شود. لذا تعجبی ندارد که روشهای حل برنامه‌ریزی ریاضی و یا حتی فرموله نمودن آنها نسبتاً سنگین و پر زحمت باشد. عدم قطعیت در محیطهای صنعتی، خود موجبات سخت شدن مسائل زمانبندی تولید را فراهم می‌کند. در بعضی موارد از طریق قواعد یا روشهای ابتکاری ساده می‌توان این مشکلات را برطرف نمود، اما در برخی دیگر از موارد روشهای مدلسازی منطقی یا بهینه‌سازی پیچیده‌تری لازم است.

---

[۳] Combinatorial

برای اینکه بگونه‌ای کارا و موثر از عهده مسائل پیچیده برآئیم، عملاً لازم است که پیچیدگی ترکیبیاتی موجود در ذات مساله زمانبندی را از بین ببریم. برای این منظور استفاده از بعضی روشهای ابتکاری مبتنی بر قواعد تجربی یا آزمایشات شهودی توصیه شده است. قبل از ورود کامل در بحث پیچیدگی زمانبندی باید تذکر داد که در زندگی واقعی هیچ دو مساله زمانبندی یکسان یافت نمی‌شود و لذا برای اخذ نتایج مناسب، باید هر مساله را بطور خاص و جداگانه تحلیل نمود.

شاید بهتر باشد بجای پرداختن به تنوع وحشت‌آور مسائل زمانبندی، به ارائه یک طبقه‌بندی از این مسائل پرداخته شود و با بکارگیری علائم عمومی برای نمایش طبقات مختلف، آنها را خلاصه نمائیم. مسائل زمانبندی را می‌توان به طرق مختلفی طبقه‌بندی نمود. بعنوان مثال می‌توان مسائل زمانبندی را بصورت دینامیک یا استاتیک، قطعی یا احتمالی، تک‌محصولی یا چندمحصولی، تک‌پردازشی یا چندپردازشی و... دسته‌بندی نمود.

۱-۵- طبقه‌بندی بر اساس محیط منابع[۵]

بسته به تعداد عملیاتهای مورد نیاز برای پردازش یک کار و نیز تعداد ماشین‌های موجود برای پردازش هر عملیات، الگوهای جریان گوناگونی را می‌توان برشمرد. زمانی که برای تکمیل شدن یک کار فقط به یک عملیات نیاز داریم به آن *کار تک عملیاتی*[۴] و در غیر اینصورت *کار چند عملیاتی*[۵] گفته می‌شود. درحالت دوم ممکن است مفاهیم مسیر *تولید*[۶] مطرح شود.

۱. کارگاه تک ماشین[۷]:

فقط یک ماشین در دسترس بوده و هر کار فقط به یک عملیات نیاز دارد.

---

[۴] Single operation job

[۵] Multi operation job

[۶] Routing

[۷] Single machine shop

۲. کارگاه جریان کاری[۸] (F) یا کارگاه جریان کاری مرتب (P)[۹]:

هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً بتعداد g ماشین *متوالی* وجود دارد و هر کار می‌بایست روی هر ماشین با همان توالی (یک مسیر تولید) برود. در کارگاه جریان کاری مرتب نمی‌توان یک عملیات را انجام نداد.

۳. کار کارگاهی[۱۰] (G):

هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً بتعداد g ماشین *متوالی* وجود دارد، اما هر کار مسیر تولید *خاص* خود را دارد. این حالت عمومی‌ترین موارد را تعریف می‌کند.

۴. کارگاه عمومی (O)[۱۱]:

هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً به تعداد g ماشین وجود دارد، اما الگوی جریان معین نمی‌باشد. بعبارت دیگر در انجام یک کار ممکن است از یک ماشین چند بار استفاده شود.

زمانی که بجای تمرکز روی ماشین‌ها، بر روی مراحل فرآیند تمرکز شود، تعاریف زیر مفید خواهند بود:

۵. ماشین‌های موازی[۱۲]:

هر کار تک عملیاتی است و در هر مرحله چندین ماشین برای انجام فرآیند در دسترس است. ماشین‌ها می‌توانند یکسان (I)، یکنواخت (U)، یا نامرتبط (R) باشند.

---

[۸] Flow shop

[۹] Permutation

[۱۰] Job shop

[۱۱] Open shop

[۱۲] Parallel machines

۶. کارگاه جریان کاری مختلط[۱۳]:

این حالت تعمیم‌یافته محیط کارگاه جریان کاری و ماشین‌های موازی می‌باشد. در اینجا g کارگاه متوالی وجود دارد که در مرحله t آن به تعداد m^t ماشین بطور موازی کار می‌کنند. در هر کارگاه، یک کار حداکثر روی یک ماشین می‌تواند برود.

۷. کار کارگاهی با ماشین‌های دوتایی(یا کارگاهی منعطف)[۱۴]:

این حالت تعمیم‌یافته محیط کار کارگاهی و ماشین‌های موازی می‌باشد. دراینجا g کارگاه وجود دارد که m^t ماشین موازی در کارگاه t کار می‌کنند. در هر کارگاه، یک کار حداکثر روی یک ماشین می‌تواند برود.

برای اینکه بتوانیم مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر را به صورت دقیق و روشن بیان کنیم، ابتدا مسئله زمانبندی کار کارگاهی که حالت خاصی از مسئله زمانبندی کار کارگاهی انعطاف پذیر است و مسئله ساده تری است را تشریح کرده و در ادامه مسئله اصلی را بیان می کنیم.

۱-۶- مسئله زمانبندی کار کارگاهی[۱۵] (JSP)

مسئله کلاسیک زمانبندی کار کارگاهی از لحاظ مهمی با مسئله کارگاه جریان کاری تفاوت دارد. در زمانبندی کار کارگاهی جریان کار تک‌جهتی نیست. عناصر این مسئله عبارتند از مجموعه‌ای از ماشین‌ها و مجموعه‌ای از کارهای آماده برای زمانبندی. همانند مدل کارگاه جریان کاری، هر کار از چند عملیات با ساختار تقدمی خطی تشکیل شده است. هر چند که هر کار معین ممکن است هر تعدادی از عملیات را داشته باشد، در متداولترین فرمولبندی مسئله کار کارگاهی مشخص می‌کنند که هر کار دقیقاً m عملیات دارد که هر کدام آنها روی یک ماشین انجام می‌شود. البته تصور حل موارد کلی که در آن، هر کار ممکن است در توالی عملیاتش

---

[۱۳] Hybrid flow shop

[۱۴] Job shop with duplicate machines

[۱۵] Job shop scheduling problem