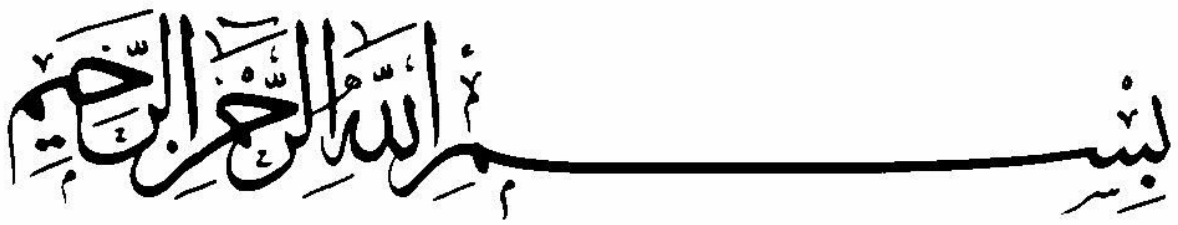

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان

زمانبندی چند معیاره سیستم جریان کارگاهی مختلط با زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی

تحقیق و نگارش

جواد بهنامیان

استاد راهنما

دکتر سید محمد تقی فاطمی قمی

استاد مشاور

دکتر مصطفی زندیه

مهر ۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی 7

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: جواد بهنامیان | دانشجوی آزاد ◯ | بورسیه ◯ | معادل ◯

شماره دانشجوئی: 85125027 | دانشکده: صنایع | رشته تحصیلی: مهندسی صنایع | گروه: تولید صنعتی

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: سید محمد تقی فاطمی قمی | درجه و رتبه: استاد پایه 25

نام و نام خانوادگی: | درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: مصطفی زندیه | درجه و رتبه: استادیار

نام و نام خانوادگی: | درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : زمانبندی چند معیاره سیستم جریان کارگاهی مختلط با زمانهای آماده سازی وابسته به توالی

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Multi-criteria hybrid flowshop scheduling with sequence dependent setup times

نوع پروژه: کارشناسی ◯ | ارشد ● | دکتر ا ◯ | سال تحصیلی: 85

کاربردی ◯ | بنیادی ◯ | توسعه‌ای ● | نظری ◯

تاریخ شروع : مهر 86 | تاریخ خاتمه : مهر 87 | تعداد واحد :6 | سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: زمانبندی سیستم جریان کارگاهی مختلط؛ بهینه‌سازی چندهدفی؛ الگوریتم فراابتکاری ترکیبی؛ زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی؛ حداکثر زمان تکمیل کارها؛ مجموع زمان زودکرد و دیرکرد

واژه‌های کلیدی به انگلیسی :

Hybrid flowshop scheduling; Multi-objective optimization; Hybrid metaheuristic; Sequence-dependent setup times; Makespan; Total earliness and tardiness.

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات 125	تصویر ◯ جدول ● نمودار ● نقشه ◯ واژه‌نامه ●	تعداد مراجع 100	تعداد صفحات ضمائم 10
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ◯	چکیده	فارسی ● انگلیسی ●
یادداشت				

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

1 : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه
2 : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه)

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و

روشنی رویشان سرمایه‌های جاودانی زندگی

من است.

تقدیر و تشکر

نگارنده بر خود می‌داند که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر سید محمّد تقی فاطمی قمی و مشاور محترم جناب آقای دکتر مصطفی زندیه در راستای انجام این پروژه تشکّر و قدردانی نماید.

چکیده

در این تحقیق مسأله زمانبندی سیستم جریان کارگاهی مختلط با زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی با دو هدف حداکثر زمان تکمیل و مجموع زمان زودکرد و دیرکرد کارها مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، در این مطالعه روش چند مرحله‌ای پیشنهاد شده که با استفاده از تکنیک‌های مختلف چندهدفی در ۳ مرحله، سعی در ایجاد مجموعه جواب‌های پارتو با کیفیت مناسب شده است. در مرحله اوّل این روش با استفاده از روش مین–ماکس وزنی و با تجزیه جمعیت اوّلیه به چندین زیر–جمعیت، مجموعه جوابهای مؤثری با تنوع مناسب بوسیله الگوریتم ژنتیک کلیدهای تصادفی ایجاد شده است. در مرحله دوّم با هدف بهبود جواب‌های مرحله اوّل، با استفاده از روش بهینه‌سازی پارتو و بوسیله الگوریتم ترکیبی چندهدفه‌ای که به همین منظور توسعه داده شده، جواب‌های مرحله قبلی بهبود داده شده‌اند. در نهایت در مرحله سوّم برای پوشش جواب‌ها با استفاده از روش چندهدفی پوشش محدودیت و با بکارگیری الگوریتم فراابتکاری ترکیبی مجموعه جواب‌های نهایی تولید شده است. الگوریتم فراابتکاری ترکیبی که در مراحل ۲ و ۳ مورد استفاده قرار گرفته است متشکل از سه الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی کلونی مورچگان، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم جستجوی همسایگی متغییر است. هدف از توسعه این الگوریتم فراابتکاری، ادغام جنبه‌های متفاوت اجزاء در قالبی نو و ایجاد روشی جامع برای حل مسائل با ساختار مختلف است. برای اثبات کارایی الگوریتم و برای اعتبارسنجی روش پیشنهادی در بخش اندازه‌گیری کارایی الگوریتم چندهدفه ابتدا به دلیل کمبود معیارهای اندازه‌گیری کارایی مناسب در ادبیات، ما چندین روش جدید را پیشنهاد نموده سپس با انجام مقایسات بر اساس معیارهای مختلف در نهایت این نتیجه شد که الگوریتم پیشنهادی کارایی بالایی دارد.

کلمات کلیدی:

زمانبندی سیستم جریان کارگاهی مختلط؛ بهینه‌سازی چندهدفی؛ الگوریتم فراابتکاری ترکیبی؛ زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی؛ حداکثر زمان تکمیل کارها؛ مجموع زمان زودکرد و دیرکرد

فهرست

۱- فصل اول: تعریف مسأله ۲
۱-۱-طبقه‌بندی بر اساس محیط منابع ۳
۱-۲-مسأله جریان کارگاهی مختلط ۵
۱-۳- زمان‌های آماده‌سازی ۷
۱-۳-۱- مستقل از توالی ۸
۱-۳-۲- وابسته به توالی ۸
۱-۴- مشخصات جریان کارگاهی مختلط در نظر گرفته شده در این مطالعه ۹
۱-۵- روش حل ۱۰
۱-۶-اهداف تحقیق ۱۱
۱-۷- نتیجه‌گیری ۱۲
۲- فصل دوم: مروری بر ادبیات ۱٤
۲-۱- جریان کارگاهی مختلط با تک هدف حداکثر زمان تکمیل ۱۶
۲-۲- جریان کارگاهی مختلط با تک هدف مرتبط با معیار موعد تحویل ۲۲
۲-۳- جریان کارگاهی مختلط با زمان‌های آماده‌سازی وابسته ۲۳
۲-۴- مروری بر تکنیک‌های بکار رفته برای بهبود و پوشش جواب‌ها در مسأله چندهدفی ۲۴
۲-۵- مرور کارهای انجام شده در محیط جریان کارگاهی با چندهدف ۲۵
۳- فصل سوّم: مطالعه روش‌های چند هدفه در حل مسائل ۲۹
۳-۱-تعاریف مرتبط با مسأله چندهدفی ۳۱
۳-۲-دسته بندی روش‌های چندهدفی ۳۲
۳-۲-۱- جستجو بدون تقدم ۳۲
۳-۲-۲- ابتدا تصمیم‌گیری سپس جستجو ۳۳
۳-۲-۳- جستجو و تصمیم‌گیری همزمان ۳۳
۳-۲-٤- ابتدا جستجو سپس تصمیم‌گیری ۳٤
۳-۲-۴-۱- ترکیب اهداف ۳٤
۳-۲-۴-۲- روش محدودیت ۳۵
۳-۲-۴-۳- روش سلسله مراتبی ۳۵
۳-۲-۴-۴- برنامه‌ریزی آرمانی ۳۵
۳-۲-۴-۵- ارزیابی مبتنی بر پارتو (حد مطلوب پاراتو) ۳٦
۳-۳- روش‌های اندازه‌گیری عملکرد الگوریتم های چندهدفه ۳٦
۳-۳-۱- مروری بر روش‌های موجود در ادبیات ۳۷
۳-۳-۱-۱- نسبت خطا ۳۸
۳-۳-۱-۲- منطقه زیر پوشش دو مجموعه ۳۸

۳-۳-۱-۳- فاصله عمومی ۳۹
۳-۳-۱-۴- نسبت فوق مساحت ۳۹
۳-۳-۱-۵- فاصله‌گذاری ۴۰
۳-۳-۲- روش‌های پیشنهادی در این مطالعه ۴۱
۳-۳-۲-۱- فاصله از نقطه ایده‌آل ۴۱
۳-۳-۲-۲- درجهٔ توازن در رسیدن همزمان به اهداف ۴۱
۳-۳-۲-۳- روش مساحت زیر خط رگرسیون ۴۳
۴- فصل چهارم: توسعه الگوریتم ۴۵
۴-۱- توسعه الگوریتم فرابتکاری ترکیبی ۴۵
۴-۱-۱- مقدمه ۴۷
۴-۱-۲- نمایش حل‌ها ۴۷
۴-۱-۳- عناصر تشکیل دهنده الگوریتم ترکیبی پیشنهادی ۴۸
۴-۱-۳-۱- الگوریتم بهنیه‌سازی کولونی مورچه ۴۸
۴-۱-۳-۱- الگوریتم سیستم مورچه کمترین- بیشترین ۴۹
۴-۱-۳-۱-۱- نحوه تولید جواب اولیه ۵۰
۴-۱-۳-۱-۲- نحوه بروز رسانی فرمون در الگوریتم MMAS ۵۱
۴-۱-۳-۲- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۵۲
۴-۱-۳-۲-۱- دمای آغازین ۵۳
۴-۱-۳-۲-۲- الگوی سرد شدن ۵۳
۴-۱-۳-۲-۳- دمای پایانی ۵۴
۴-۱-۳-۳- الگوریتم همسایگی متغییر ۵۴
۴-۱-۳-۳-۱- جستجوهای محلی ۵۵
۴-۱-۳-۳-۱-۱- جستجوی همسایگی ۱ ..... ۵۵
۴-۱-۳-۳-۱-۲- جستجوی همسایگی ۲ ..... ۵۶
۴-۱-۳-۳-۱-۳- جستجوی همسایگی ۳ ..... ۵۶
۴-۱- نحوه ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری ۵۷
۴-۲-۴- توسعه الگوریتم ابتکاری چندمرحله‌ای در حل مسأله چندهدفی ۶۰
۴-۲-۱-تابع هدفهای در نظر گرفته شده در این مطالعه ۶۰
۴-۲-۲-کلیات روش پیشنهادی ۶۲
۴-۲-۲-۱- مرحله اول: تولید جواب‌های پارتو اوّلیه با استفاده از روش مین- ماکس ۶۲
۴-۲-۲-۲- مرحله دوم: ارتقاء جواب‌های پارتو با استفاده از الگوریتم مختلط فرا ابتکاری پیشنهادی ۶۶
۴-۲-۲-۲-۱- الگوریتم فراابتکاری ترکیبی چندهدفه ۶۷
۴-۲-۲-۳- مرحله سوم: پوشش جواب‌های پارتو ۶۸
۴-۲-۲-۳-۱- مراحل الگوریتم پوشش محدودیت ۶۹

۵- فصل پنجم: اجرا و مقایسه الگوریتم‌ها ۷۱
۵-۱- تولید مسأله نمونه ۷۳
۵-۱-۱- نحوه تولید مسأله نمونه ۷٤
۵-۱-۱-۱- تولید زمان‌های تحویل کالا ۷۵
۵-۲-تنظیم پارامتر ۷۵
۵-۲-۱- تنظیم پارامتر مسأله تک‌هدفی ۷٦
۵-۲-۲- تنظیم پارامتر مسأله دو هدفی ۷۷
۵-۳-تحلیل آماری نتایج بدست آمده ۷۹
۵-۳-۱- شرط توقف الگوریتم ۷۹
۵-۳-۲- نتایج محاسباتی برای مسائل تک‌هدفی ۸۰
۵-۳-۲-۱- معیار اندازه‌گیری کارایی الگوریتم ۸۰
۵-۳-۲-۲- مسأله تک‌هدفی حداکثر زمان تکمیل ۸۱
۵-۳-۲-۲-۱- تحلیل نتایج بدست آمده به تفکیک عوامل کنترلی ۸۳
۵-۳-۲-۳- مسأله تک‌هدفی مجموع زمان دیرکرد و زودکرد ۸۵
۵-۳-۲-۳-۱- تحلیل نتایج بدست آمده به تفکیک عوامل کنترلی ۸۷
۵-۳-۳- نتایج محاسباتی برای مسائل دو هدفی ۸۸
۵-۳-۳-۱- معیار اندازه‌گیری کارایی الگوریتم ۸۹
۵-۳-۳-۲- مقایسه الگوریتمها ۸۹
۵-۳-۳-۲-۱- تحلیل نتایج با توجه به تعداد کارها (سایز مسأله) ۹۱
۶- فصل ششم: نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی ۹۲
۶-۱- نتیجه‌گیری ۹۳
۶-۲- مطالعات آتی ۹۵
فهرست منابع و مراجع ۹٦
پیوست ۱: الگوریتم جستجوی همسایگی متغییر ۱۰۳
پیوست ۲: مروری بر ساختارهای جستجوی همسایگی ۱۰۸

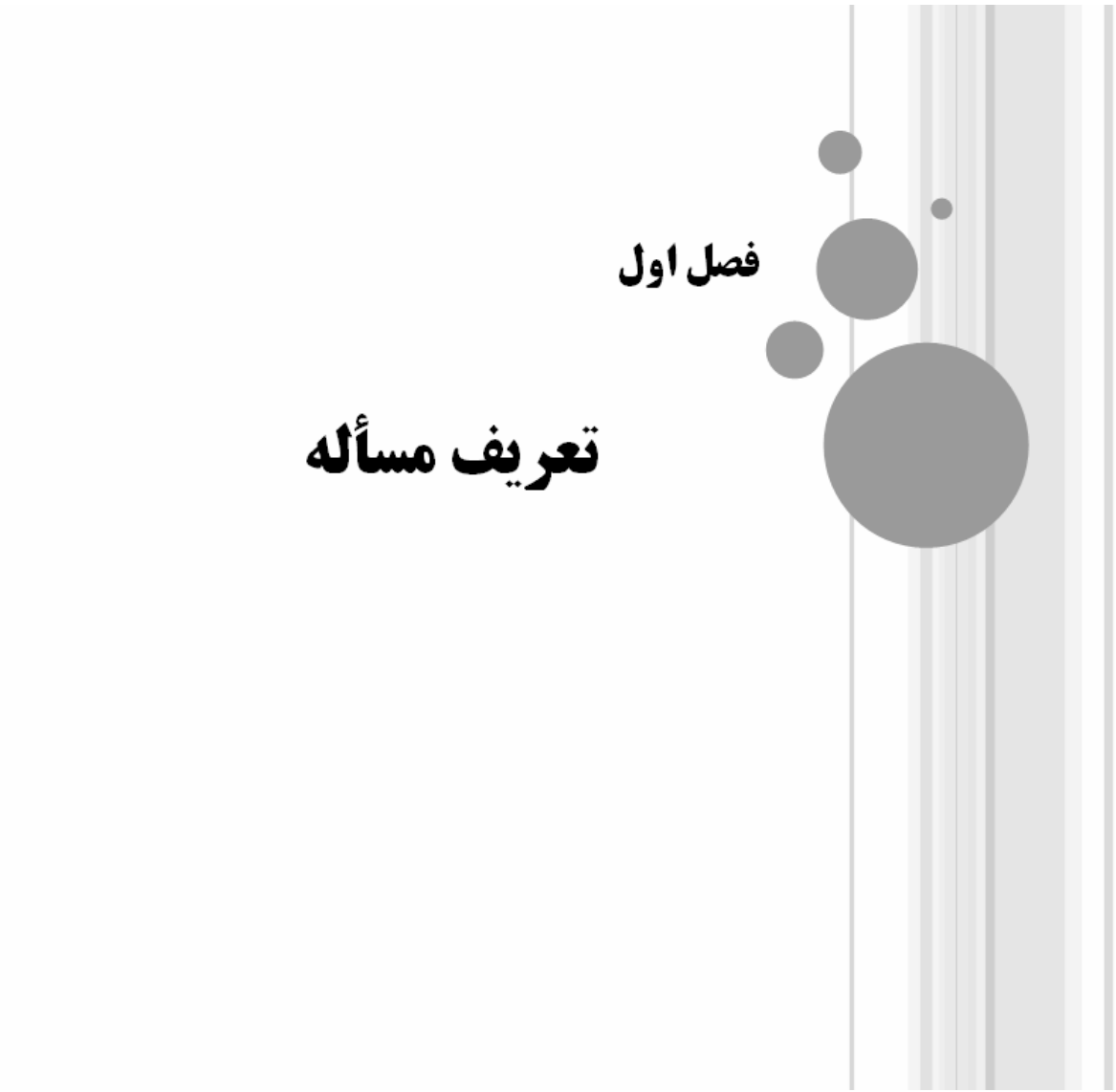
لیست شکل‌ها

شکل ۱-۱. دسته‌بندی بر اساس مسیر تولید ۵
شکل ۲-۱. ساختار یک سیستم جریان کارگاهی مختلط ٦
شکل ۳-۱. مجموعه حل‌های مؤثر ۳۱
شکل ۳-۲. روش‌های حل مسأله چندهدفی ۳۲
شکل ۳-۳. نمایش حل‌های مناسب ٤۲
شکل ۳-۴. مساحت زیر خط رگرسیون ٤۲
شکل ۴-۱. جستجوی همسایگی نوع اوّل ٥٦
شکل ۴-۲. جستجوی همسایگی نوع دوّم ٥۷
شکل ۴-۳. جستجوی همسایگی نوع سوّم ٥۸
شکل ۴-۴. مکانیسم‌های الگوریتم فراابتکاری ترکیبی ٦۰
شکل ۴-۵. نحوه عملکرد مرحله اوّل ٦٦
شکل ۴-۵. نحوه عملکرد مرحله اوّل ٦٦
شکل ۴-۶. ارتباط بین مرحله اوّل و دوّم ٦۷
شکل ۴-۷. رویه اصلی الگوریتم فراابتکاری ترکیبی چندهدفه ٦۹
شکل ۴-۸. نحوه پوشش جواب‌های پارتو ۷۰
شکل ۴-۹. مراحل اجرایی برای پوشش جواب‌های پارتو در مرحله سوّم ۷۱
شکل ۵-۱. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف حداکثر زمان تکمیل ۸۳
شکل ۵-۲. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف حداکثر زمان تکمیل با توجه به تعداد کارها ۸۳
شکل ۵-۳. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف حداکثر زمان تکمیل با توجه به تعداد ایستگاه‌های‌کاری ۸٤
شکل ۵-۴. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف حداکثر زمان تکمیل با توجه به ماشین‌های ایستگاه‌کاری اوّل ۸۵
شکل ۵-۵. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف مجموع زمان دیرکرد و زودکرد ۸٦
شکل ۵-۶. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف مجموع زمان دیرکرد و زودکرد با توجه به تعداد کارها ۸٦
شکل ۵-۷. نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف مجموع زمان دیرکرد و زودکرد با توجه به تعداد ایستگاه‌های‌کاری ۸۷

شکل ۵-۸ نمودار متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌های مختلف با هدف مجموع زمان دیرکرد و زودکرد با توجه به ماشین‌های ایستگاه‌کاری اوّل ۸۸
شکل ۵-۹. توزیع جواب‌های پارتو بدست آمده بوسیله الگوریتم‌ها برای ۶ سایز مسأله مختلف ۸۹
شکل ۵-۱۰. نمودار معیار عملکرد الگوریتم‌ها با توجه به سایز مسائل ۹۲

لیست جداول

جدول ۵-۱. سطوح عوامل برای تولید مسائل نمونه ۷۵
جدول ۵-۲. تنظیم پارامتر برای حالت تک‌هدفی حداکثر زمان تکمیل ۷۸
جدول ۵-۳. تنظیم پارامتر برای حالت تک‌هدفی مجموع زمان دیرکرد و زودکرد ۷۸
جدول ۵-٤. تنظیم پارامتر برای مسأله دو هدفی ۷۸
جدول ۵-۵. متوسط درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌ها با توجه به تعداد کار و تعداد ایستگاه‌های‌کاری با هدف حداکثر زمان تکمیل ۸۲
جدول ۵-٦. درصد انحراف نسبی برای الگوریتم‌ها با توجه به تعداد کار و تعداد ایستگاه‌های‌کاری با هدف مجموع زمان دیرکرد و زودکرد ۸٦
جدول ۵-٦. ارزیابی جواب‌های مؤثر بدست آمده از الگوریتم‌ها با توجه به سایز مسأله بر حسب معیارهای عملکردی مختلف ۹۱



فصل اول

تعریف مسأله

مقدمه

زمانبندی تولید را می‌توان چنین تعریف نمود: تعیین توالی زمانی و تخصیص سفارشات مشتریان به منابع موجود تولید (اعم از پرسنل، ماشین‌آلات، ابزار و ...) به منظور انجام مجموعه‌ای از عملیات‌های مربوطه. معمولاً زمانبندی با توجه به اهدافی نظیر: دستیابی به موعدهای تعهد شده، کمینه‌سازی زمان کار[1] 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 هستند، لذا در مسائل زمانبندی ممکن است به لحاظ تکنیکی مشکلاتی رخ دهد [۱].

تخصیص بهینه منابع به فعالیتها در طول زمان به‌عنوان یک مسأله پیچیده ترکیباتی[2] شناخته می‌شود. روش‌های دقیق در اغلب موارد برای این مسأله قابل بکارگیری نیستند زیرا این روشها الزامات محاسباتی غیرواقعی دارند. این موضوع بخصوص در مورد روش‌های شمارش کامل صادق است (که اغلب زمانی بکار می‌روند که روش‌های تحلیلی برای حل وجود ندارد) [۱].

مسائل واقعی زمانبندی تولید عموماً تعداد زیادی فعالیت و منبع داشته که یک مجموعه گوناگون از اهداف و محدودیت بهره‌برداری از منابع در مورد آنها مطرح می‌شود. لذا شگفت‌آور

[1] Job
[2] Combinatorial

نیست که روش‌های حل برنامه‌ریزی ریاضی و یا حتّی فرموله نمودن آنها نسبتاً سنگین و پر زحمت باشد. در بعضی موارد از طریق قواعد یا روش‌های ابتکاری ساده می‌توان این مشکلات را برطرف نمود، امّا در برخی دیگر از موارد تکنیک‌های مدلسازی منطقی یا بهینه‌سازی پیچیده‌تری لازم است [۱].

برای اینکه به گونه‌ای کارا و مؤثر از عهده مسائل پیچیده برآئیم، عملاً لازم است که پیچیدگی ترکیبیاتی موجود در ذات مسأله زمانبندی را از بین ببریم. برای این منظور استفاده از بعضی روش‌های ابتکاری مبتنی بر قواعد تجربی یا آزمایشات شهودی توصیه شده است. در زندگی واقعی هیچ دو مسأله زمانبندی یکسان یافت نمی‌شود و لذا برای اخذ نتایج مناسب، باید هر مسأله را بطور خاص و جداگانه تحلیل نمود [۱].

شاید بهتر باشد بجای پرداختن به تنوع 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 شیوه‌های مختلفی طبقه‌بندی نمود. بعنوان مثال می‌توان مسائل زمانبندی را بصورت پویا یا ایستا، قطعی یا احتمالی، تک‌محصولی یا چندمحصولی، تک‌پردازشی یا چندپردازشی و.. . دسته‌بندی نمود [۱].

۱-۱- طبقه‌بندی بر اساس محیط منابع

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 تک‌عملیاتی[1] و در غیر اینصورت کار چندعملیاتی[2] گفته می‌شود. درحالت دوّم ممکن است مفاهیم مسیر تولید[3] مطرح شود. بر این اساس مسائل زمانبندی را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی نمود [۱].

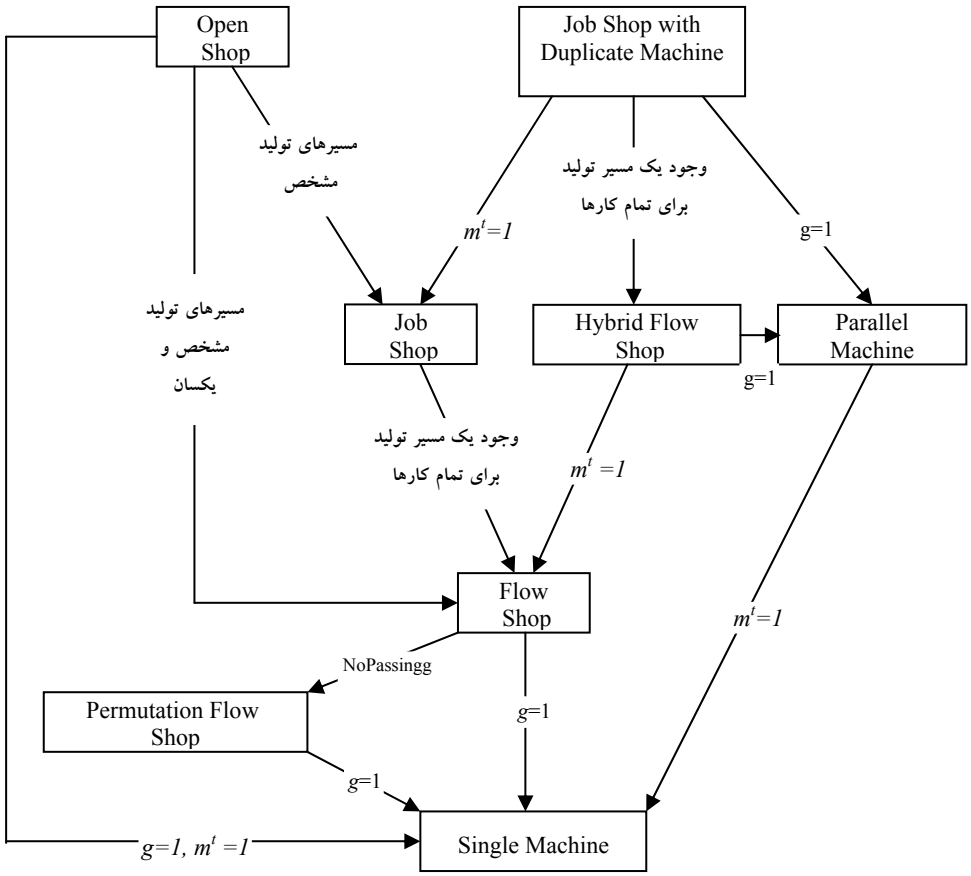
[1] Single Operation Job
[2] Multi Operation Job
[3] Routing

- *کارگاه تک ماشین*[1]: فقط یک ماشین در دسترس بوده و هر کار فقط به یک عملیات نیاز دارد.
- *کارگاه جریان کاری* (F) یا کارگاه جریان کاری مرتب(P)[2]: هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً به تعداد g ماشین متوالی وجود دارد و هر کار می‌بایست روی هر ماشین با همان توالی (یک مسیر تولید) پردازش شود.
- *کار کارگاهی*(G): هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً به تعداد gماشین متوالی وجود دارد، و هر کار مسیر تولید خاص خود را دارد.
- *کارگاه عمومی*(O)[3]: هرکار به چند عملیات نیاز دارد. جمعاً به تعداد gماشین وجود دارد، امّا الگوی جریان معین نیست. به عبارت دیگر در انجام یک کار ممکن است از یک ماشین چند بار استفاده شود.
- *ماشین‌های موازی*: هر کار تک عملیاتی بوده و در هر مرحله چندین ماشین برای انجام فرآیند در دسترس است. در این حالت ماشین‌ها می‌توانند یکسان(I)، یکنواخت(U)، یا نامرتبط(R) باشند.
- *کارگاه جریان کاری مختلط*: این حالت تعمیم‌یافته حالت محیط کارگاه جریان‌کاری و ماشین‌های موازی است. 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 انجام شود.
- *کار کارگاهی با ماشین‌های دوتایی (یا کارگاهی منعطف)*[4]: این حالت تعمیم‌یافته محیط کار کارگاهی و ماشین‌های موازی است. دراینجا gکارگاه وجود دارد که m^t ماشین موازی در کارگاه t کار می‌کنند. در هر کارگاه، یک کار حداکثر روی یک ماشین می‌تواند پردازش شود.

---

[1] Single Machine Shop
[2] Permutation
[3] Open Shop
[4] Job Shop With Duplicate Machines (Flexible Job Shop)

این دسته بندی‌ها را می‌توان بصورت مفید و خلاصه به صورت شکل (۱-۱) نمایش داد.



شکل ۱-۱. دسته‌بندی بر اساس مسیر تولید [۲]

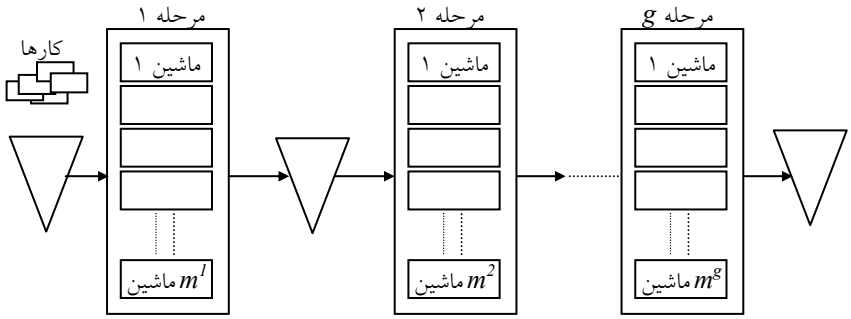
شکل (۱-۱) رابطه بین محیط‌های مختلف نشان داده شده است. در این نمودار هر کمان از P_1 به P_2، بدین معنی است که P_2حالت خاصی از P_1 است و یا به عبارت دیگر P_1 شکل تعمیم‌یافته P_2 است.

۱-۲- مسأله جریان کارگاهی مختلط

به میزانی که که پردازش‌های صنعتی پیچیده‌تر می‌شوند، محیط‌های صنعتی بر اساس تعداد فعالیت‌های قابل پردازش و نیز تعداد انواع فعالیت‌های متمایز قابل پردازشی که اساساً شبیه به هم

هستند، تمایل دارند که ظرفیت خود را افزایش دهند. بدین ترتیب، محیط‌های صنعتی از سیستم‌های جریان کارگاهی بطور قابل ملاحظه‌ای فاصله گرفته و دور شده‌اند [۲۰].

در سیستم خطوط جریان کارگاهی، تمامی فعالیتها توسط تعدادی ماشین یکسان و در جریانی خطی از اوّلین مرحله تا آخرین مرحله، مورد پردازش قرار می‌گیرند و هر ماشین در هر مرحله، تمام عملیات پردازش را انجام می‌دهد. به منظور افزایش ظرفیت هر مرحله، می‌توان از ماشین‌های موازی اضافی استفاده نمود. این توسعه در سیستم خطوط جریان کارگاهی که با افزایش ماشین‌های موازی در هر مرحله صورت می‌گیرد سیستم را به سیستم جریان کارگاهی مختلط تبدیل می‌نماید [۲۰]. همچنین با حذف این محدودیت که همه فعالیتها می‌بایست در تمامی مراحل حضور یابند، سیستم جریان کارگاهی مختلط به سیستم خطوط جریان کارگاهی منعطف انتقال می‌یابد. سیستم جریان کارگاهی منعطف در برخی محیط‌های صنعتی مانند صنایع خودروسازی و نیز چاپ مشاهده می‌شود [۲۰].



شکل ۱-۲. ساختار یک سیستم جریان کارگاهی مختلط

به عبارت دیگر و همانگونه که در شکل (۱-۲) مشاهده می‌شود، یک سیستم جریان کارگاهی مختلط عبارتست از یک ترکیب از کارگاه‌های سری است که در آن جریان محصول بصورت متوالی از یک مرحله به مرحله بعد ادامه یافته و در هر مرحله چند ماشین بصورت موازی می‌توانند عملیات یکسانی را انجام دهند. قابل ذکر است که حداقل یک مرحله با بیش از یک ماشین موازی می‌بایست وجود داشته باشد تا بتوان سیستم را جریان کارگاهی مختلط نامید [۱].

با توجه به نمادهای بکارگرفته شده در قسمت قبل، مسأله جریان کارگاهی مختلط را می‌توان بصورت $n/g, m^t, F/\delta$ مشخص نمود که در آن n، g و m^t به ترتیب نشان‌دهندهٔ تعداد کارها، تعداد مراحل تولید و تعداد ماشین‌های موازی مرحله t است [۱].

در این سیستم در هر ایستگاه‌کاری ماشین‌ها می‌توانند یکسان (I)، یکنواخت (U) یا نامرتبط (R) باشند. جریان محصول از مرحله 1 تا مرحله g ادامه می‌یابد. بنابراین هر کار ممکن است در هر مرحله بر روی یک ماشین پردازش شود. هدف از این زمانبندی بهینه‌سازی شاخص δ است که معیاری از عملکرد زمانبندی است [۱].

۱-۳- زمان‌های آماده‌سازی[1]

در اکثر زمانبندی‌ها، زمان آماده‌سازی بسیار جزئی و کم اهمیّت و یا بصورت بخشی از زمان پردازش در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. با اینکه این فرض، آنالیز زمانبندی را ساده می‌کند، امّا در کیفیت زمانبندی‌هایی که در آنها عملیات آماده‌سازی لازم است تاثیر منفی دارد. علاوه بر آن، مفاهیمی مانند رقابت بر مبنای زمان و نیز واقعی‌تر شدن مسأله مورد بررسی، عامل محرکی برای در نظر گرفتن زمان آماده‌سازی در زمانبندی‌هاست [۱۶].

در تحقیقات عملیات آماده‌سازی (زمان و هزینه) مدتها ناچیز در نظر گرفته می‌شد و از اینرو از آن چشم‌پوشی می‌کردند و یا اینکه آن را بعنوان بخشی از زمان پردازش در نظر می‌گرفتند. در حالی که این روش ممکن است در برخی مسائل زمانبندی بکار رود، در برخی موارد نیز زمان آماده‌سازی بصورت جداگانه در نظر گرفته می‌شود [۱۶].

در مسائلی که زمان آماده‌سازی لحاظ می‌شود نیز دو حالت وجود دارد:

[1] Setup Time

۱-۳-۱- مستقل از توالی[1]

آماده‌سازی، تنها به کـاری که پردازش می‌شود بستگی دارد و از اینـرو مستقل از توالی نامیـده می‌شود [۱۶].

۱-۳-۲- وابسته به توالی[2]

آماده‌سازی، هم به کاری که پردازش می‌شود و هم به کار بلافاصله قبل از آن بستگی دارد و از اینرو وابسته به توالی نامیده می‌شود [۱۶].

در تحقیقات بعمل آمده از مدیران محیط‌های صنعتی، حدود سه چهارم آنها معتقدند که برخی از عملیات نیازمند زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی هستند، در حالی که ۱۵٪ آنها گـــزارش نموده‌اند که تمامی عملیات به زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی نیاز دارند [۱۷].

همچنین در برخی تحقیقات دیگر، نتایجی که دلالت بر اهمیّت در نظرگرفتن زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی در مدیریت مؤثر ظرفیت محیط‌های صنعتی دارد، بدست آمده است [۱۸]. بطور مثال در صنعت چاپ می‌توان کاربرد زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی را مشاهده نمود، بدین ترتیب که تمیز کردن ماشینها بستگی به رنگ جاری و رنگ سفارش بعدی دارد [۱۶].

در صنعت ساخت ظروف، تغییر مدت زمان آماده‌سازی بستگی به اندازه و شکل ظروف دارد. در صنعت تراشکاری اتوماتیک زمان آماده‌سازی بستگی به تفاوت در تعداد و نوع ابزاری که بر روی برجک متحرک نصب شده‌اند و قطعات کاری که در مراحل بعدی مورد نیازند، دارد [۱۹]. همچنین در صنایع شیمیایی، داروئی، غذائی، فلزی وکاغذی می‌توان زمان‌های آماده‌سازی وابسته به توالی را مشاهده نمود.

---

[1] Sequence-Independent
[2] Sequence - Dependent