دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی سیستم‌های اقتصادی اجتماعی

ارائه روش‌های حل برای مسأله زمان‌بندی تولید انباشته‌ای در زنجیره تأمین

نگارش:

زینب محمدی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر کریمی

استاد مشاور:

جناب آقای مهندس حسین‌زاده کاشان

آذرماه ۱۳۸۷

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: زینب محمدی دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۵۰۱۸ دانشکده:مهندسی صنایع رشته تحصیلی: سیستم‌های اقتصادی اجتماعی گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: جناب آقای دکتر بهروز کریمی درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : ارائه روش‌های حل برای مسأله زمان‌بندی تولید انباشته‌ای در زنجیره تأمین

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Developing solution methods for batch scheduling problem in supply chains

نوع پروژه: کارشناسی ○ ارشد ● دکترا ○ سال تحصیلی: ۸۷

کاربردی ○ بنیادی ○ توسعه‌ای ● نظری ○

تاریخ شروع :۸۶/۷/۱ تاریخ خاتمه :۸۷/۹/۲۴ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: زنجیره تأمین- زمان‌بندی- مدل‌سازی ریاضی- الگوریتم ژنتیک- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : supply chain, scheduling, mathematical model, genetic algorithm, simulated annealing

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر● جدول● نمودار ● نقشه○ واژه‌نامه ○	تعداد مراجع: ۷۲	تعداد صفحات ضمائم
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ● انگلیسی ●
یادداشت				

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: تاریخ:

چکیده

مدیریت زنجیره تأمین رویکردی یکپارچه برای برنامه‌ریزی و کنترل جریان مواد از تأمین‌کنندگان به مصرف‌کنندگان نهایی است. با توسعه مفاهیم و کاربردهای مدیریت زنجیره تأمین و لزوم استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری مناسب در جهت دستیابی به درجه بالایی از هماهنگی مابین اعضا و حداقل‌سازی هزینه‌های کل یک زنجیره، مسایل زمان‌بندی و ارسال، اهمیت و کاربرد روزافزونی یافته‌اند. توضیح اینکه بدلیل وجود قراردادهای نسبتاً بلندمدت مابین مشتریان و تولیدگنندگان مواد و قطعات، غالباً لازم است تولیدکنندگان، قطعات مختلفی را تولید و تحویل مشتری خود دهند. تولیدکننده خود در زنجیره‌ای قرار دارد که مواد اولیه را از تأمین‌کنندگان دریافت می‌کند. بنابراین نیاز به زمان‌بندی دقیق مابین اعضای زنجیره به منظور افزایش سود وجود دارد. در این راستا بمنظور ایجاد یک جریان مناسب مواد از تأمین‌کننده به مشتری و کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی و ارسال، باید تأمین‌کننده و تولیدکننده قطعات را در قالب انباشته‌های اقتصادی تولید و تحویل مشتری دهند. سیستم مورد مطالعه در این پایان‌نامه، متشکل از یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و نیز یک مشتری است که کارهای متفاوت ابتدا در تأمین‌کننده پردازش، به تولیدکننده انتقال داده شده و تکمیل می‌شوند. سپس، محصول نهایی به خرده‌فروش یا مشتری منتقل می‌شود.

در این راستا، مدل‌های ریاضی برای مسأله زمان‌بندی در زنجیره تأمین در حالت‌های کلی و مورد خاص ارائه می‌شود. ثابت شده است که بسیاری از مسائل زمان‌بندی انباشته تک‌ماشینی حتی به طور مجزا در سطح تأمین‌کننده و سطح تولیدکننده مسائل مشکلی برای حل هستند. با توجه به این‌که مدل‌های ریاضی مطرح شده همگی از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی هستند و نرم‌افزارهای حل دقیق موجود مانند LINGO از حل چنین مدل‌هایی در ابعاد بزرگ مسأله ناتوان هستند و نیز با توجه به NP-hard بودن مسأله، در این پایان‌نامه از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل استفاده شده است. در این رابطه، به دلیل نوع مسأله وجدیدبودن آن، الگوریتم ابتکاری ارائه و از آن در الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است. همچنین دو الگوریتم فراابتکاری برای حل مسأله موردنظر پیشنهاد و بکار گرفته شده است.

در ادامه، به این دلیل که الگوریتم‌های فراابتکاری، تضمینی برای بهینه بودن جواب ندارند، یک حد پایین برای ارزیابی جواب‌های بدست آمده توسط دو الگوریتم فراابتکاری پیشنهادی و الگوریتم‌های ابتکاری، ارائه شده است.

در انتها نیز جمع‌بندی نتایج حاصله از تحقیقات انجام یافته ارائه گردیده و زمینه‌های مطرح برای تحقیقات آتی معرفی شده است.

کلمات کلیدی: زنجیره تأمین- زمان‌بندی- مدل‌سازی ریاضی- الگوریتم ژنتیک- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید.

فهرست

فصل۱- کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ نظریه زمان‌بندی و توالی عملیات ۳

۱-۳ مدل‌های زمان‌بندی ماشین ٤

۱-٤ اهداف زمان‌بندی ماشین ٥

۱-٥ زمان‌بندی در سیستم‌های تولید انباشته‌ای ٦

۱-٦ زنجیره تأمین ۹

۱-۷ زمان‌بندی در زنجیره تأمین ۱۰

۱- ۸ الگوریتم‌های زمان‌بندی در زنجیره تأمین و پیچیدگی آن‌ها ۱۰

۱-۸-۱ پیچیدگی ۱۰

۱-۸-۲ الگوریتم‌ها ۱۲

۱-۹ شرح مسأله ۱۳

۱-۱۰ کاربرد مسائل زمان‌بندی در زنجیره تأمین در دنیای واقعی ۱٤

۱-۱۱ فرضیات تحقیق ۱٤

۱-۱۲ جنبه نوآوری مسأله ۱٥

۱- ۱۳ ساختار تحقیق ۱٥

فصل۲- مرور ادبیات ۱۷

۲-۱ مقدمه ۱۸

۲-۲ زمان‌بندی در سیستم‌های تولید انباشته‌ای ۱۸

۲-۳ مروری بر ادبیات زنجیره تأمین ۲۲
۲-٤ زمان‌بندی و یکپارچگی در زنجیره تأمین ۲٤
۲-٥ طبقه‌بندی مطالعات انجام شده از دیدگاه حل مسأله ۳۱
۲-٥-۱ الگوریتم‌های ابتکاری انباشته‌سازی ۳۲
۲-٦ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از مرور ادبیات ۳٤
فصل ۳-تعریف مسأله ۳۷
۳-۱ تعریف مسأله ۳۸
۳-۲ مدل‌سازی مسأله زمان‌بندی تولید انباشته در زنجیره تأمین ٤۰
۳-۲-۱ فرضیات اساسی مدل ریاضی مسأله موردنظر در حالت کلی ٤۱
۳-۲-۲ پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی مسأله در حالت کلی ٤۲
۳-۲-۲-۱ پارامترها ٤۲
۳-۲-۲-۲ متغیرها ٤۳
۳-۲-۳ مدل ریاضی مسأله در حالت کلی ٤۳
۳-۲-۴ فرضیات اساسی مدل ریاضی مسأله موردنظر در حالت خاص ٤٥
۳-۲-٥ پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی مسأله در حالت خاص ٤٥
۳-۲-٥-۱ پارامترها ٤٥
۳-۲-٥-۲ متغیرها ٤٦
۳-۲-۶ مدل ریاضی مسأله در حالت خاص ٤۷
۳-۳ حد پایین ٤۸
۳-٤ جمع‌بندی فصل ٥۳
فصل ۴- الگوریتم ژنتیک ٥٤

٤-١ مقدمه ٥٥
٤-٢ الگوریتم ژنتیک ٥٦
۴-۲-۱ جمعیت ۵۸
۴-۲-۲ روش‌های متداول نمایش یک کروموزوم ۵۸
۴-۲-۳ برازش ۵۹
۴-۲-۴ انتخاب ۵۹
۴-۲-۵ عملگر ترکیب ٦٠
۴-۲-۶ عملگر جهش ٦١
٤-٣ الگوریتم ابتکاری ٦٢
۴-۳-۱ روش ابتکاری دومرحله‌ای انباشته‌سازی ٦٦
٤-٤ ارائه الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسأله موردنظر ٦٩
۴-۴-۱ روش نمایش کروموزوم‌ها ٦٩
۴-۴-۲ جمعیت اولیه جواب‌ها ٧٠
۴-۴-۳ تابع برازندگی ٧١
۴-۴-۴ عملگر انتخاب ٧١
۴-۴-۵ عملگر ترکیب ٧٢
۴-۴-۶ عملگر جهش ٧٤
۴-۴-۷ روش تعویض جمعیت جواب‌ها ٧٥
۴-۴-۸ معیار توقف ٧٥
۴-۴-۹ خلاصه الگوریتم پیشنهادی ٧٦
٤-٥ جمع‌بندی فصل ٧٨

فصل ۵- الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۷۹
۵-۱ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید ۸۰
۵-۱-۱ شباهت الگوریتم SA و سرد کردن فیزیکی اجسام ۸۰
۵-۱-۲ پیاده‌سازی الگوریتم SA ۸۱
۵-۱-۲-۱ مقدار اولیه پارامتر دما ۸۳
۵-۱-۲-۲ تعداد تکرارها در هر دما ۸٤
۵-۱-۲-۳ انواع نرخ کاهش دما ۸٤
۵-۱-۲-۴ معیار توقف الگوریتم ۸٤
۵-۱-۲-۵ حالت تعادلی سیستم ۸۵
۵-۱-۲-۶ انتخاب همسایگی ۸۵
۵-۱-۲-۷ معیار پذیرش ۸٦
۵-۲ پیاده‌سازی الگوریتم SA برای مسأله موردنظر ۸٦
۵-۲-۱ حل اولیه ۸٦
۵-۲-۲ انتخاب همسایگی ۸٦
۵-۲-۳ تعیین دمای اولیه ۸۷
۵-۲-۴ درجه حرارت پایانی ۸۷
۵-۲-۵ نرخ کاهش دما ۸۷
۵-۲-۶ تعداد تکرار در هر دما ۸۷
۵-۲-۷ تابع هدف ۸۷
۵-۳ جمع‌بندی ۸۸
فصل ۶- نتایج محاسباتی ۸۹

٦-١ مقدمه ٩٠
٦-٢ مسایل نمونه ٩٠
٦-٣ تنظیم پارامترهای الگوریتم ٩٣
فصل ٧- جمع‌بندی نتایج و پیشنهادها برای تحقیقات آتی ١١٢
٧-١ جمع‌بندی نتایج ١١٣
٧-٢ پیشنهادها برای تحقیقات آتی ١١٥
مراجع ١١٦

فهرست اشکال

شکل ۳-۱ زنجیره تأمین با یک تأمین‌کننده و m تولیدکننده و h مشتری ۳۸
شکل ۳-۲ یک زنجیره تأمین ساده متشکل از سیستم تأمین‌کننده-تولیدکننده و یک مشتری ۳۹
شکل ۳-۳ نمودار تابع هزینه [۶] ٤۰
شکل ۳- ۴ نمایش کارها در انباشته‌ها در دو برنامه زمانی S و S' ۵۰
شکل ۴-۱ نمایش کروموزوم ٦۹
شکل ۴-۲ نحوه انتخاب جواب‌های والد برای عملیات ترکیب[۷۱] ۷۳
شکل ۴-۳ نحوه عملکرد عملگر معکوس در الگوریتم پیشنهادی ۷۵
شکل ۴-۴ مراحل مربوط به الگوریتم ژنتیک ۷۷
شکل ٦-۱ تنظیم پارامترهای GA با اندازه جمعیت ۲۰ و ۲۰۰۰ تکرار که مقادیر سمت راست احتمال رقابتی است ۹۵
شکل ٦-۲ تنظیم پارامترهای GA با اندازه جمعیت ۴۰ و ۱۰۰۰ تکرار ۹۵
شکل ۶-۳- درصد بهتر بودن هر یک از پارامترهای ترکیب در کل آزمایشات، برای مسأله ۱ با تعداد ۴۰ کار ۹٦
شکل ۶-۴- تنظیم پارامترهای SA برای α و دمای اولیه (df تفاضل کمترین و بیشترین مقدار بدست‌آمده از ۵۰۰ تکرار) ۹٦
شکل ٦-۵- تنظیم پارامترهای SA برای دمای اولیه و دمای نهایی (df تفاضل کمترین و بیشترین مقدار بدست‌آمده از ۵۰۰ تکرار) ۹۷

فهرست جداول

جدول ۲-۱- طبقه‌بندی مقالات مرتبط با زمان‌بندی ۲۲

جدول ۲-۲- دسته‌بندی مقالات زمان‌بندی و زنجیره تأمین ۳۰

جدول ۲-۳- مقالاتی که حل ابتکاری و فرا ابتکاری را مورد بررسی قرار داده‌اند ۳۳

جدول ۲-۴- مقالاتی که الگوریتم حل دقیق را مورد بررسی قرار داده‌اند ۳٤

جدول ۴- ۱: مثالی از رمزگشایی اعداد تصادفی ۷۰

جدول ۴-۲: مثالی از کدگذاری اعداد تصادفی ۷۰

جدول ۴-۳ مثالی از عملگر ترکیب با استفاده از عددهای تصادفی ۷٤

جدول ۵-۱ : معادل‌سازی SA و حرارت فیزیکی ۸۲

جدول ۶-۱ فرضیات مربوط به ۱۱ ترکیب- (البته U(a,b) تابعی یکنواخت بین a و b است) ۹۱

جدول ۶-۲- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۱ ..... ۹۷

جدول ۶-۳- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۲ ..... ۹۷

جدول ۶-۴- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۳ ..... ۹۸

جدول ۶-۵- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۴ ..... ۹۸

جدول ۶-۶- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۵ ..... ۹۸

جدول ۶-۷- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۶ ..... ۹۹

جدول ۶-۸- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۷ ..... ۹۹

جدول ۶-۹- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۸ ..... ۹۹

جدول ۶-۱۰- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۹ ..... ۱۰۰

جدول ۶-۱۱- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۱۰ ..... ۱۰۰

جدول ۶-۱۲- مقایسه الگوریتم‌های ابتکاری برای مسأله۱۱ ..... ۱۰۰

جدول ۶-۱۳ نتایج محاسباتی مسأله۱ ..... ۱۰۱

جدول ۶-۱۴ نتایج محاسباتی مسأله۲ ..... ۱۰۲

جدول ۶-۱۵ نتایج محاسباتی مسأله۳ ..... ۱۰۳

جدول ۶-۱۶ نتایج محاسباتی مسأله۴ ..... ۱۰٤

جدول ۶-۱۷ نتایج محاسباتی مسأله۵ ..... ۱۰۵

جدول ۶-۱۸ نتایج محاسباتی مسأله۶ ..... ۱۰٦

جدول ۶-۱۹ نتایج محاسباتی مسأله۷..... ۱۰۷
جدول ۶-۲۰ نتایج محاسباتی مسأله۸..... ۱۰۸
جدول ۶-۲۱ نتایج محاسباتی مسأله۹..... ۱۰۹
جدول ۶-۲۲ نتایج محاسباتی مسأله۱۰..... ۱۱۰
جدول ۶-۲۳ نتایج محاسباتی مسأله۱۱..... ۱۱۱

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

طی بیست سال اخیر، مدیریت زنجیره تأمین[1] یکی از مهمترین و فعال‌ترین موضوعات در زمینه خدمات، ساخت و تولید بوده است. یکی از فلسفه‌هایی که به دو دهه اخیر مربوط است، فلسفه "مدیریت زنجیره تأمین" است. شرایطی که باعث تعریف و طراحی چنین نگرشی شده، افزایش روزافزون رقابت‌پذیری و تلاش برای بقای سازمان‌هاست که با توسعه ارتباطات و پیشرفت در تکنولوژی اطلاعات حاصل شده است. سازمان‌ها رمز بقا را در ارضای نیازهای مشتری می‌دانند. مدیریت زنجیره تأمین نگرشی است که بر مبنای آن، ارضای این نیازها نه فقط توسط آخرین موجودیت[2] در ارتباط با مشتری (که محصول نهایی، خروجی آن موجودیت است)، بلکه توسط سایر تأمین‌کنندگان بالادستی، نیز صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، مدیریت زنجیره تأمین نه تنها یک تأمین‌کننده، بلکه تمامی تأمین‌کنندگان را در برمی‌گیرد. یک زنجیره تأمین شامل مراحلی است که در آن ارزشی به محصولات تولید شده اضافه می‌شود. آن ارزش شامل تأمین مواد و مؤلفه‌های میانی، تولید کالاهای نهایی، دسته‌بندی، انتقال، انبار و لجستیک است.

هدف این پایان‌نامه زمان‌بندی در زنجیره تأمین با توجه به همکاری بین اجزاء مختلف آن است. بدین صورت که زمان‌بندی در تک‌تک اجزاء یک زنجیره تأمین به طور جداگانه مورد بررسی قرار نمی‌گیرد، بلکه زمان‌بندی کل اجزاء زنجیره به صورت یکپارچه انجام می‌پذیرد. هدایت تمام اعضای زنجیره تأمین به صورتی "یکپارچه" و "هماهنگ" مبحثی نو است. گرچه شرکت‌های تولیدی درون یک زنجیره تأمین مستقل از هم به نظر می‌رسند، اما به لحاظ اقتصادی به یکدیگر وابسته‌اند. بنابراین اگر یک تصمیم‌گیرنده در مراحل متفاوت زنجیره تأمین تصمیماتی را اتخاذ کند که باعث ایجاد همکاری ضعیفی بین اعضاء زنجیره شود، تصمیمات او بی‌کفایتی و کاهش راندمان زنجیره را در پی خواهد داشت.

درحالی‌که بسیاری از ادبیات مدیریت زنجیره تأمین روی کنترل موجودی یا موضوعات تعیین اندازه انباشته[3] تمرکز دارند، اما این پایان‌نامه موضوعاتی را درباره زمان‌بندی در زنجیره تأمین درنظر می‌گیرد. این پایان‌نامه هماهنگ‌سازی زمان‌بندی، انباشته‌سازی و تصمیمات ارسال را بین مراحل مختلف یک زنجیره برای حذف ناکارایی‌ها در نظر می‌گیرد. هدف، حداقل‌سازی هزینه ارسال و هزینه موجودی است. این هدف با

[1] Supply chain management
[2] Entities
[3] Lot sizing

شکل‌گیری انباشته‌های سفارشاتی بدست می‌آید که هر کدام از آنها از تأمین‌کننده به تولیدکننده و یا از تولیدکننده به مشتری طی یک انتقال ارسال می‌شوند.

هماهنگ‌سازی زمان‌بندی اعضای زنجیره تأمین، مسأله‌ای پیچیده است. بنابراین، همان‌گونه که بهاتناجار و همکارانش [۱] بحث کردند، به منظور حداقل‌سازی پیچیدگی مسأله، هر زنجیره تأمین به صورت سیستم ساده‌تری نشان داده می‌شود تا بتوان یک تکنیک زمان‌بندی مناسب برای حل سیستم ساده شده به کار گرفت. در این روش هر موجودیت از زنجیره تأمین به صورت سیستم تک‌ماشینی درنظر گرفته می‌شود. نمایش یک ماشین در بسیاری موارد معقول است زیرا می‌توان مسأله تک‌ماشینی تعبیه شده را به طور مستقل حل کرد و سپس نتایج را به مسأله بزرگتر گسترش داد.

یکی از مهمترین تصمیمات در مسائل زمان‌بندی تولید، تعیین اندازه انباشته بهینه محصولات در هر یک از منابع تولیدی است. از جهتی، ارسال کارها به مشتریان متفاوت یا به ماشین‌های دیگر، هزینه ارسال را در پی خواهد داشت. از این‌رو برای کاهش هزینه ارسال، نیاز به ارسال کارها به صورت انباشته است. بدین ترتیب اخذ تصمیمات صحیح در خصوص اندازه انباشته‌های تولیدی محصولات نتیجه مثبتی بر هزینه سیستم خواهد گذاشت. به همین علت، در ادبیات مسائل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید توجه ویژه‌ای به مسأله تعیین اندازه انباشته در انواع سیستم‌های تولیدی شده است.

۱-۲ نظریه زمان‌بندی و توالی عملیات[4]

تصمیمات زمان‌بندی و توالی عملیات نقش تعیین‌کننده‌ای را در تولید بازی می‌کنند. زمان‌بندی شامل تخصیص منابع محدود مانند تجهیزات، نیروی انسانی و فضا به کارها، فعالیت‌ها یا مشتری‌ها طی زمان است. به طور عمومی، مسأله زمان‌بندی شامل تعیین تخصیص جزئی کارها به ماشین‌ها بر روی یک بازه زمانی با هدف بهینه‌سازی یک تابع مفروض است. توالی عملیات شامل یافتن ترتیبی است که طبق آن، مجموعه کارها با هدف حداقل‌سازی تابع هدف پردازش شوند. منظور از تعیین توالی این است که محصولات به چه ترتیبی توسط ماشین پردازش شوند. به جرأت می‌توان گفت تعیین نحوه تخصیص محصولات به ماشین‌ها اساسی‌ترین و کلیدی‌ترین مشخصه‌ای است که برنامه‌ریز باید در مورد آن تصمیم بگیرد.

[4] Sequencing

در دایره واژگان مورد استفاده در زمان‌بندی ماشین، زمان پردازش[5] یک کار، زمان مورد نیاز برای انجام عملیات در کارگاه است و زمان ورود یا دردسترس بودن[6] یک کار، زمانی است که کار از تأمین‌کننده یا فرایند مرحله قبلی به کارگاه می‌رسد. از نقطه‌نظر زمان‌های دسترسی به کارها، مدل‌های زمان‌بندی تولید به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول شامل حالتی است که در آن تمامی کارها در زمان صفر یا در زمان شروع عملیات تولیدی دردسترس هستند. دسته دوم شامل حالتی است که در آن زمان ورود کارها به سیستم متفاوت بوده و لزوماً کلیه کارها در زمان صفر دردسترس نیستند.

۱-۳ مدل‌های زمان‌بندی ماشین

در محیط‌های تجاری که رقابت دارای اهمیت است، زمان‌بندی کارا و مؤثر در سیستم‌های تولیدی یک ضرورت برای بقا در بازار است. بنابراین زمان‌بندی ماشین بسیاری از محققین را از اوایل ۱۹۵۰ به خود جذب کرده و مقالات متعددی در این زمینه به چاپ رسیده است.

مدل‌های زمان‌بندی ماشین با مشخص‌کردن ترکیب منابع و ماهیت کارها مشخص می‌شود. برای نمونه، یک مدل می‌تواند شامل یک یا چند منبع باشد. اگر مدلی یک منبع داشته باشد کار مربوطه احتمالاً تک‌مرحله‌ای است، درحالی‌که اگر چند منبع داشته باشد کارها معمولاً به صورت چندمرحله‌ای انجام می‌شوند و در هر دو حالت منابع را می‌توان به صورت یک مجموعه واحد یا موازی درنظر گرفت.

اگر مجموعه کارهای دردسترس برای زمان‌بندی تغییر نکند سیستم موجود ایستا[7] نامیده می‌شود، در مقابل اگر به مجموعه کارها حداقل یک کار جدید در طول زمان افزوده شود، سیستم پویا[8] نامیده می‌شود. به طور سنتی ثابت شده‌است که بررسی مدل‌های ایستا آسان‌تر از مدل‌های پویا است. با این وجود، مدل‌های ایستا اغلب ماهیت پیچیده سیستم‌های پویا را به خود می‌گیرند. تحلیل مسائل ایستا اکثر اوقات به کشف بینش‌های ارزشمند و اصول ابتکاری مناسبی انجامیده که در وضعیت‌های کلی سودمند واقع شده است.

زمان‌بندی می‌تواند در محیط قطعی یا احتمالی انجام شود. اکثر محققین به طور سنتی روی زمان‌بندی قطعی تمرکز کرده‌اند. این موضوع به این دلیل است که اکثر تصمیمات زمان‌بندی ماشین در سطح عملیاتی

[5] Processing time
[6] Ready time
[7] Static
[8] Dynamic

هستند و این فرض می‌تواند برای یک بازه زمانی معین توجیه‌پذیر باشد. بنابراین به طور معقول فرض می‌شود که مدل قطعی است.

مدل‌های تک‌ماشینی با وجود سادگی، به دلایل مختلف دارای اهمیت فراوان هستند. اولاً، در فرآیند یادگیری، مسأله تک‌ماشینی حائز اهمیت است، زیرا می‌تواند مجموعه متنوعی از موضوع‌های مربوط به زمان‌بندی را به صورت مدلی نرمش‌پذیر نشان دهد. ثانیاً، مسأله تک‌ماشینی ساختاری را در برمی‌گیرد که با استفاده از آن می‌توان درباره بسیاری از راه‌حل‌ها و معیارهای عملکرد تحقیق کرد. لذا سنگ بنا در فراگیری مفاهیم مربوط به زمان‌بندی را تشکیل می‌دهد و این درک، موجب تسهیل مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده می‌شود. برای فهم کامل رفتار هر مدل پیچیده، عملکرد اجزاء آن دارای اهمیت اساسی است و اغلب، مسأله تک‌ماشینی جزئی از اجزاء متشکله مسأله زمان‌بندی بزرگتر را تشکیل می‌دهد. حتی گاهی اوقات می‌توان مسأله تک‌ماشینی جزئی را به طور مستقل حل کرد و سپس نتیجه را برای حل مسأله بزرگ‌تر تعمیم داد. برای مثال در فرایند چند عملیاتی معمولاً یک مرحله گلوگاهی وجود دارد و با بررسی گلوگاه از طریق تحلیل تک‌ماشینی می‌توان مشخصه‌های برنامه زمانی کل را تعیین کرد. در برخی دیگر از موارد سطح مطلوب تصمیم‌گیری ممکن است ایجاب کند که تسهیلات پردازشی در مجموع به عنوان یک منبع واحد درنظرگرفته شود.

چون بسیاری از پیشرفت‌های اولیه در حوزه زمان‌بندی، ناشی از مسائل پدید آمده در زمینه ساخت و تولید بوده است، بنابراین در زمینه توصیف مسائل زمان‌بندی از واژه‌های مربوط به تولید استفاده می‌شود. هرچند هم‌اکنون زمان‌بندی در بسیاری از حیطه‌هایی که به تولید مربوط نمی‌شود نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار است ولی همچنان از واژه‌های تولید در آنها استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای متنوع زمان‌بندی می‌توان زمان‌بندی خدمه[9]، کلاسها و امتحانات[10]، پروژه‌ها، برنامه‌ها و پردازشگرهای کامپیوتری را نام برد.

۱-۴ اهداف زمان‌بندی ماشین

گام اول در حل مسأله زمان‌بندی، تعریف هدف آن است. متداول‌ترین اهداف در مسائل زمان‌بندی به صورت ذیل می‌باشند.

[9] Cure scheduling
[10] Time tabling

- حداقل‌سازی حداکثر تأخیر[11] رخ داده در تکمیل یک کار
- حداقل‌سازی کل زمان در جریان[12] کار در سیستم
- حداقل‌سازی حداکثر دیرکرد رخ داده[13] در تکمیل یک کار
- حداقل‌سازی مجموع زمان تکمیل[14] پردازش کارها
- حداقل‌سازی حداکثر زمان تکمیل کارها[15]
- حداقل‌سازی مجموع تأخیر رخ داده در تکمیل یک کار
- حداقل‌سازی تعداد کارهای دارای تأخیر (کاری دارای تأخیر است که زمان تکمیل آن از زمان تحویلش بزرگتر باشد)

تابع هدف می تواند مجموع کل هزینه‌های نگهداری موجودی و ارسال باشد. در بعضی موارد طول زمان انجام یک کار در کارگاه به عنوان تابع هدف می‌تواند مهم باشد، زیرا تأثیر مستقیمی روی هزینه نگهداری موجودی دارد. بنابراین زمان جریان می‌تواند متناسب با هزینه نگهداری موجودی باشد. زمان در جریان یک کار فاصله زمانی بین زمان دسترسی به یک کار و زمان ارسال آن است. به عبارت دیگر، مدت زمانی که یک کار در سیستم سپری کرده است.

۱-۵ زمان‌بندی در سیستم‌های تولید انباشته‌ای

در سیستم‌های تولیدی، استفاده کارا از منابع، موضوع کلیدی و حیاتی برای یک تولید موفق است. بعنوان مثال، هنگامی‌که برای هر محصول روی یک ماشین راه‌اندازی[16] لازم باشد، می‌توان محصولات را در قالب انباشته‌ها پردازش کرد تا از ماشین‌ها به طور کارا استفاده شود. برای مثال دیگر، جهت استفاده کامل از وسایل نقلیه در هر بار انتقال، کل انباشته کارها تولید و به مشتریان پایین‌دستی فرستاده می‌شود. بنابراین در مسائل زمان‌بندی، تعیین اندازه انباشته و توالی عملیات محصولات موضوع اصلی است.

[11] Maximum lateness
[12] Total Flow time
[13] Maximum tardiness
[14] Completion time
[15] makespan
[16] Setup

دلایل متعددی برای انباشته‌سازی وجود دارد که اصلی‌ترین آن، ارزان‌تر و سریع‌تر بودن پردازش کارها در قالب انباشته‌ها نسبت به پردازش آنها به صورت جداگانه است. یک دلیل هم این است که ممکن است یک ماشین قادر باشد چندین کار را در قالب انباشته به طور همزمان پردازش کند، مانند مخازن یا کوره‌ها.

مزیت دیگر انباشته‌سازی هنگامی است که ماشین‌ها برای پردازش کارها نیازمند راه‌اندازی باشند. اگر هر یک از کارها مرتبط به یک خانواده خاص بوده و کارهای متعلق به یک خانواده از جهاتی مانند نیاز به ابزار مشابه یا نگه‌دارنده‌های یکسان، مشابه یکدیگر باشند، آنگاه این شباهت می‌تواند منجر به حذف زمان راه‌اندازی برای انجام یک کار شود، درصورتی‌که با کارهای خانواده مشابه تحت عملیات قرار گیرد. با این حال، راه‌اندازی در ابتدای زمان‌بندی و نیز در هنگام تغییر از یک خانواده به خانواده دیگر مورد نیاز است.

همانگونه که ذکر شد، یکی از مزایای گروه‌بندی اقلام تولیدی در قالب انباشته‌ها، کاهش دفعات راه‌اندازی ماشین به یک‌بار راه‌اندازی برای اقلام هم‌خانواده است. انباشته‌های بزرگ به دلیل تعداد راه‌اندازی کمتر و استفاده بیشتر از منابع می‌توانند مورد توجه قرار گیرند؛ اما از طرفی ممکن است که عملیات پردازش یک انباشته بزرگ منجر به تأخیر انجام عملیات بر روی یک قلم مهم متعلق به انباشته‌های دیگر شود. همچنین انباشته‌های کوچکتر احتیاجات فضای ذخیره، مقدار معطلی سرمایه در موجودی و میانگین زمان تأخیر را کاهش می‌دهد. در نتیجه می‌بایست یک تعادل میان هزینه‌های ناشی از دیرکرد و هزینه‌های راه‌اندازی برقرار شود.

انباشته‌سازی دارای اهمیت دیگری نیز است و آن زمانی اتفاق می‌افتد که کارها قرار است به مشتریان متفاوت ارسال شوند یا به ماشین‌های دیگر به صورت انباشته انتقال یابند. در این مورد، احتیاجی به زمان راه‌اندازی نیست، اما هزینه ارسال برای هر انباشته مورد نیاز است. در چنین محیط‌هایی به دلیل وجود هزینه ارسال برای هر انباشته، بهتر است که اندازه انباشته‌ها را افزایش داد تا هزینه ارسال حداقل گردد. با این حال، انباشته‌های بزرگ‌تر منجر به هزینه موجودی بیشتر می‌شوند. بنابراین باید موازنه‌ای بین حداقل‌سازی هزینه موجودی و حداقل‌سازی هزینه ارسال صورت گیرد.

اخیراً محققین متوجه شده‌اند که انباشته‌ها باید به اندازه‌های کوچکتر تقسیم شوند تا زمان تأخیر، زمان بیکاری ماشین و هزینه نگهداری موجودی حداقل گردد؛ درحالی‌که چنین شرایطی هزینه راه‌اندازی یا هزینه ارسال بالا را نیز در پی خواهد داشت. البته تکنولوژی‌های مدرن ساخت و تولید منعطف، هزینه و زمان

راه‌اندازی را کاهش می‌دهند؛ در نتیجه امکان پردازش کارها در انباشته‌های کوچک را بدون افزایش چشمگیر هزینه فراهم می‌کنند. توجهات اخیر در ساخت و تولید، مانند افزایش تقاضا به طرف محصولات مشتری‌پسند، افزایش رقابت برای سهم بازار از طرف تولیدکننده‌های محلی و تولیدکننده‌های بین‌المللی، تغییر تکنولوژی ساخت و تولید، تغییر نیازهای مشتری و چرخه‌های کوتاه عمر محصول، سازمان‌های تولیدی را مجبور به تمرکز روی تولید انباشته‌های کوچک‌تر می‌کنند. بنابراین مسائل زمان‌بندی انباشته‌ای مانند ترکیب مسائل انباشته‌سازی و توالی عملیات از زمینه‌های تحقیقاتی محققین در دو دهه گذشته بوده است.

بسته به اینکه کارها برای ارسال به مشتری یا پردازش روی ماشین‌های دیگر چه زمانی دردسترس باشند دو نوع مدل زمان‌بندی وجود دارد:

۱- مدل دسترسی به انباشته[۱۷]: که در چنین مدلی، یک کار تنها زمانی دردسترس است که انباشته مربوط به آن به طور کامل پردازش شده باشد. به عبارت دیگر، هر یک از کارها به طور انفرادی مورد عملیات قرار گرفته، اما کلیه کارها در یک لحظه قابل انتقال به سایر ایستگاه‌های تولیدی یا ارسال به مشتری هستند[۳].

۲- مدل دسترسی به کار[۱۸] : هر یک از کارها به طور انفرادی مورد عملیات قرار گرفته و بلافاصله قابل حمل به سایر ایستگاه‌های تولیدی یا مشتری هستند[۳].

مسائل انباشته‌سازی را می‌توان بر اساس ماهیت انباشته نیز طبقه بندی نمود. دسته اول انباشته‌سازی گسسته[۱۹] است که در این حالت انباشته‌ها می‌توانند تنها تعداد صحیح اقلام را داشته باشند. اما در دسته دوم که انباشته‌سازی پیوسته[۲۰] است، انباشته‌ها می‌توانند کسری از اقلام را نیز داشته باشند[۶]. تقسیم‌بندی دیگری از مسائل انباشته‌سازی برحسب طول زمان پردازش انباشته موجود است. نوع نخست انباشته‌سازی سری[۲۱] است که در این انباشته‌سازی مدت زمان پردازش برابر مجموع زمان‌های پردازش کارها در انباشته است. در نوع دیگر که انباشته‌سازی موازی[۲۲] نام دارد، مدت زمان پردازش برابر حداکثر زمان پردازش کارها در انباشته است.

[17] Batch availability model
[18] Job availability model
[19] Discrete
[20] Continuous
[21] Serial batching
[22] Parallel batching