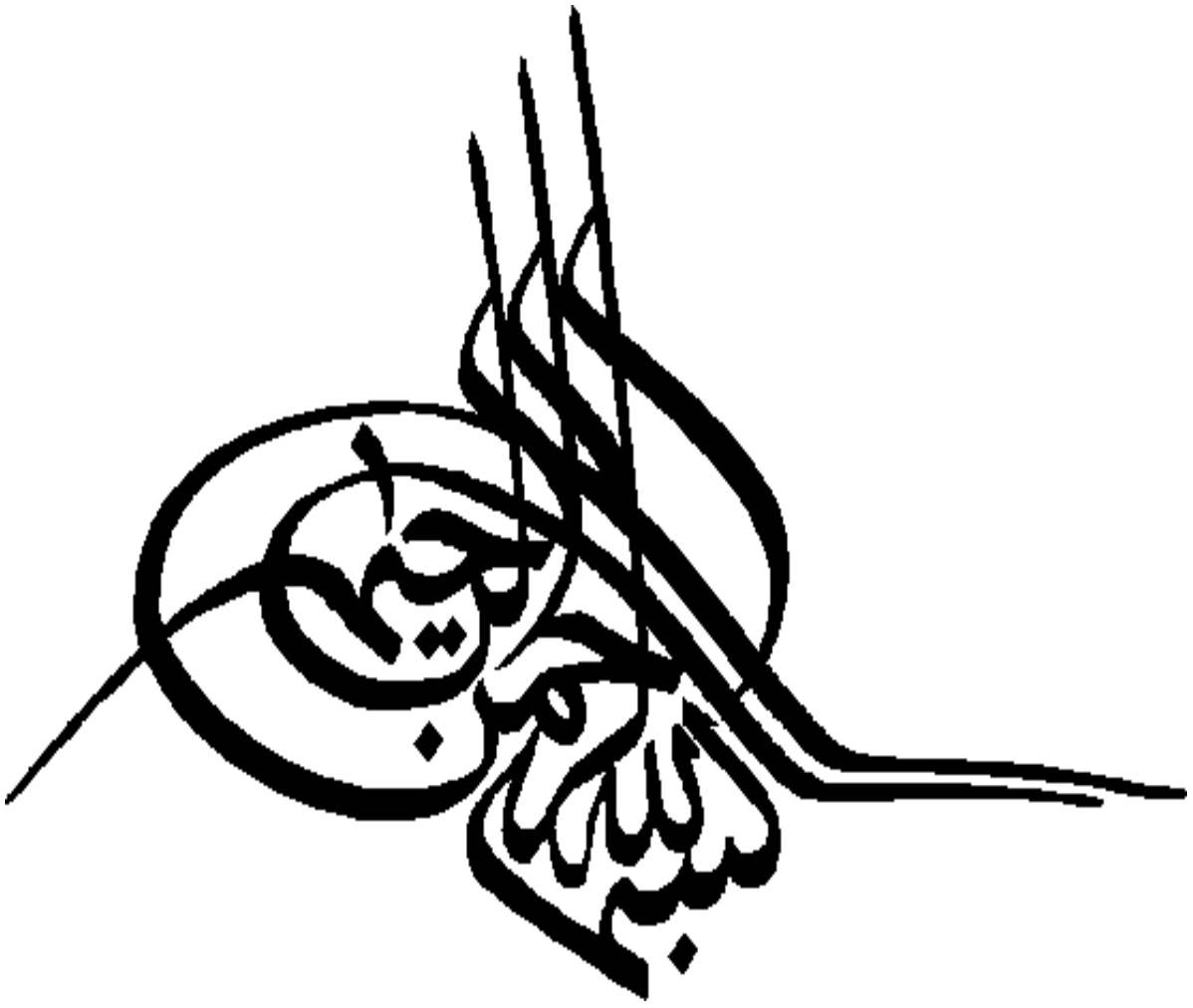

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

مسئله زمان‌بندی تک ماشین با هدف کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد با فرض زمان آماده سازی

پایان نامه کارشناسي‌ارشد مهندسي صنایع

نوشین نکویی مهر

استاد راهنما
دکتر قاسم مصلحی

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع خانم نوشین نکویی مهر

تحت عنوان

مسئله زمان‌بندی تک ماشین با هدف کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد با فرض زمان آماده سازی

در تاریخ ۸۸/۱/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱ -استاد راهنمای پایان نامه	دکتر قاسم مصلحی
۲ -استاد مشاور پایان نامه	دکتر سید رضا حجازی
۳ -استاد داور	
۴ -استاد داور	دکتر مهدی بیجاری
۴ -سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر بهروز ارباب شیرانی

علم نعمت بزرگی است که در زندگی تاج افتخار و پس از مرگ یادگار درخشان خواهد بود.

حضرت علی(ع)

ابتدا خداوند بی‌همتا را به خاطر نعمت‌های بی دریغ و لطف بی حد و حصرش شکر می‌گویم. بعد از آن از پدر و مادرم که همواره مشوق من بوده‌اند و هرگز محبت‌های بی شائبه‌شان را فراموش نخواهم کرد، قدردانی و تشکر می نمایم. همچنین از برادرم که همواره مایه دلگرمی من بوده است، سپاسگزاری می‌کنم.

بر خود لازم میدانم از اساتید محترم دانشکده صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان تقدیر و تشکر نمایم. به ویژه ازآقایان دکتر قاسم مصلحی و سید رضا حجازی به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان در انجام پروژه و راهنماییهای برادرانه‌اشان کمال تشکر را دارم.

از آقای دکتر مهدی بیجاری که زحمت مطالعه و داوری پایان نامه را تقبل نمودند، سپاسگزارم.

از کلیه دوستانم در دانشگاه صنعتی اصفهان که در طی این دو سال از کمک‌ها و محبت‌های آنها بهره‌مند شدم قدردانی می‌نمایم.

از تمام کسانی که در طی تمامی سال‌های تحصیل با آموختن علم مرا مورد لطف قرار داده و رهین منت خود کردند، متشکرم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیـــق موضـــوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگـــاه صنعتـــی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که وجودشان برایم همه مهر است و وجودم برایشان همه رنج، توانشان رفت تا به توانایی رسم و مویشان سپید گشت تا روی سپید بمانم. در برابر وجود مقدسشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و بر خاک پایشان بوسه می‌زنم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱
فصل اول : مقدمه
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- اهمیت تحقیق ۴
۱-۳- مروری بر مطالب ۵
فصل دوم : مروری بر ادبیات موضوع
۲-۱- مقدمه ۶
۲-۲- اهمیت مسئله زمان‌بندی تک ماشین با زمان‌های آماده سازی ۷
۲-۳- انواع مسائل زمان‌بندی با فرض زمان‌های آماده سازی ۸
۲-۴- مروری بر مطالعات انجام شده بر روی مسئله زمان بندی تک ماشین با در نظرگرفتن زمان های آماده سازی ۹
۲-۴-۱- علائم مورد استفاده در معرفی مسائل ۱۰
۲-۴-۲- زمان آماده سازی مستقل از توالی ۱۱
۲-۴-۳- زمان آماده سازی وابسته به توالی ۱۱
۲-۴-۴- زمان آماده سازی گروهی مستقل از توالی ۱۴
۲-۴-۵- زمان آماده سازی گروهی وابسته به توالی ۱۶
۲-۴-۶- زمان آماده سازی وابسته به توالی های پیشین ۱۷
۲-۴-۷- مسئله فروشنده دورگرد و مسائل با زمان آماده سازی وابسته به توالی ۱۸
۲-۵- مسئله کمینه سازی مجموع بیشینه های زودکرد و دیرکرد (ET_{max}) ۱۹
۲-۵-۱- اهمیت مسئله کمینه کردن ET_{max} ۱۹
۲-۵-۲- معرفی مسئله ET_{max} ۱۹
۲-۶- مروری بر مطالعات صورت گرفته بر مسئله کمینه کردن ET_{max} ۲۱
۲-۷- مسئله زمان بندی ET_{max} با فرض زمان آماده سازی وابسته به توالی ۲۱
۲-۸- نتیجه‌گیری ۲۱
فصل سوم: بررسی و توسعه مسئله $1|ST_{sd}|ET_{max}$
۳-۱- مقدمه ۲۲
۳-۲- تعریف مسئله ۲۳
۳-۲-۱- پیچیدگی مسئله ۲۴
۳-۳- روش ابتکاری H ۲۴

۳-۴- الگوریتم شاخه و کران ۲۷
۳-۴-۱- قواعد غلبه ۲۸
۳-۴-۲- حد پائین ۳۴
۳-۴-۳- حد بالا ۴۰
۳-۵- آزمایشات عددی ۴۱
۳-۵-۱- طراحی مسئله ۴۱
۳-۵-۲- نتایج محاسباتی ۴۲
۳-۶- نتیجه گیری ۶۲
فصل چهارم : بررسی و توسعه مسئله $1|ST_{sd,b}|ET_{\max}$
۴-۱- مقدمه ۶۳
۴-۲- زمان آماده سازی گروهی ۶۴
۴-۳- تعریف مسئله ۶۶
۴-۴- روش ابتکاری ۶۷
۴-۵- الگوریتم شاخه و کران ۶۹
۴-۵-۱- قواعد غلبه ۶۹
۴-۵-۲- حد پائین ۷۶
۴-۵-۳- حد بالا ۸۰
۴-۶- آزمایشات عددی ۸۱
۴-۶-۱- طراحی مسئله ۸۱
۴-۶-۲- نتایج محاسباتی ۸۱
۴-۷- نتیجه گیری ۱۰۱
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۵-۱- مقدمه ۱۰۲
۵-۲- خلاصه تحقیق و نتایج حاصل ۱۰۲
۵-۲-۱- مسئله $1|ST_{sd}|ET_{\max}$ ۱۰۳
۵-۲-۲- مسئله $1|ST_{sd,b}|ET_{\max}$ ۱۰۳
۵-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۱۰۴
منابع و مراجع ۱۰۵

چکیده

یکی از مباحث مهم در مسائل زمان بندی در نظر گرفتن فرضیات منطبق با شرایط واقعی در سیستم های تولیدی به منظور نزدیک‌تر شدن به اهداف و تصمیمات مدیران و نیز ارائه به موقع خدمات و تولیدات است. در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی به صورت مجزا از مدت زمان پردازش و وابسته به توالی یکی از این فرضیات است. مدت ها به این شرط چندان توجه نمی‌شد و با نادیده گرفتن آن در مسائل یا افزودن آن به مدت زمان پردازش سعی بر ساده سازی مسائل می‌نمودند اما از آنجا که در نظرگرفتن زمان‌های آماده سازی به عنوان یک مولفه جداگانه، در کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت برنامه ریزی‌ها در سیستم‌های تولیدی یا خدماتی بسیار موثر بوده، از اواخر دهه ۱۹۶۰ به این امر توجه بسیار شده است . در بسیاری از صنایع و یا سیستم‌های خدماتی با اعمال این شرط می توان برنامه‌های تولیدی را منطبق بر شرایط واقعی و در نتیجه کاراتر ساخت.

در این مطالعه، ابتدا مسئله زمان‌بندی تک ماشین با فرض زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی به عنوان یک شرط منطبق بر بسیاری از صنایع با معیار کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد به عنوان یک الگوی منطبق بر سیستم تولید به موقع (JIT)[1] ارائه گردیده است. به منظور حل بهینه این مسئله، الگوریتم شاخه و کران با رویکرد پیش‌رو و نیز با به کارگیری اصول غلبه و حدود بالا و پائین موثر توسعه داده شده است. همچنین یک الگوریتم ابتکاری برای این مسئله ارائه شده که به عنوان حد بالا در الگوریتم شاخه و کران مورد استفاده قرار گرفته است.

در ادامه، مسئله کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد، با فرض زمان‌های آماده سازی گروهی وابسته به توالی به عنوان فرضی موثر در افزایش کارآیی در سیستم‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفته است. حل بهینه این مسئله نیز با استفاده از توسعه یک الگوریتم شاخه و کران صورت گرفته است. در این الگوریتم اصول غلبه و حد پائین مناسب به کار گرفته شده و از یک الگوریتم ابتکاری به عنوان حد بالا استفاده شده است.

کلمات کلیدی

زمان آماده سازی وابسته به توالی ، زودکرد، دیرکرد، مسئله زمان بندی

[1] Just In Time

فصل اول
مقدمه

۱-۱- مقدمه

زمان‌بندی عبارت است از تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه‌ای از وظایف که مفاهیم تصمیم گیری و تعیین برنامه زمانی را با به کارگیری مجموعه‌ای از اصول، مدل ها ، روش‌ها و نتایج منطقی در بر می‌گیرد. نظریه زمان بندی طبق رویکرد سیستمی شامل چهار اصل فرمول بندی ، تحلیل ،ایجاد و ارزیابی است [1]. همان طور که اشاره شد یکی از مراحل زمان‌بندی، فرمول بندی می‌باشد. به این معنا که شرایط واقعی را تا حد امکان به صورت مدل های ریاضی بیان کرده و با حل این مدل ها به یک برنامه زمان بندی مناسب دست یابند. در این رویکرد اهداف تصمیم گیری در قالب تابع هدف و سایر اولویت ها یا موانع به صورت محدودیت های مدل بیان می‌شود.

توابع هدف به طور کلی بیانگر مجموع هزینه‌های سیستم بوده که حل بهینه مدل‌ها به کمینه کردن آن‌ها می‌انجامد. هر یک از واحدهای تولیدی یا خدماتی با محدودیت‌هایی مانند محدودیت منابع تولیدی، بودجه و زمان روبه رو هستند و برنامه ریزی صحیح و بهینه تولید یا ارائه خدمت، در بازار رقابتی و مشتری محور امروز، منجر به افزایش کارایی، جلب

رضایت مشتری و موفقیت در کسب سهم بیشتر بازار می شود و اعمال تکنیک های زمان بندی، یکی از راهکارهای اعمال برنامه ریزی تولید بهینه است.

هدف از حل مسایل زمان بندی پاسخگویی به دو پرسش زیر است.

۱. کدام منبع برای انجام کدام فعالیت تخصیص داده شود؟

۲. هر فعالیت در چه زمانی انجام شود؟

برای رده بندی مدل‌های عمده زمان بندی لازم است ترکیب منابع و رفتار کارها مشخص شود و بر اساس هر یک از این مدل‌ها، روش‌های حل مختلفی ارائه می‌شود. منظور از ترکیب منابع تعداد منابع و الگوی تعاملات این منابع با یکدیگر است و منظور از رفتارکارها، فرضیات و شرایط حاکم بر الگوی ورود کارها، قطعیت یا عدم قطعیت در داده های موجود و اعمال فرضیاتی است که بر تعیین توالی کارها تأثیرگذارهستند. این فرضیات شامل زمان‌های آماده سازی، زمان‌های بیکاری بر روی ماشین و دوره‌های نگهداری و تعمیرات می‌باشد.

از آنجایی که در بسیاری از موارد، تنها یک ماشین به عنوان گلوگاه خط تولید شناخته می شود، و برنامه ریزی صحیح بر روی آن، موجب افزایش بهره وری خواهد شد، برنامه‌های زمان بندی بر روی تک ماشین از اهمیت ویژه ای برخورداراست. از دیدگاه تئوری نیز مسئله تک ماشین، حالت پایهٔ مسائل زمان بندی پیچیده تری مانند ماشین‌های موازی، جریان کارگاهی و کارگاهی بوده و این محیط‌ها به این حالت خاص تبدیل می‌شوند.

فرضیات اساسی مسئله زمان بندی تک ماشین به شرح ذیل می باشد.

- مجموعه ی n کار مستقل در زمان صفر برای پردازش در کارگاه موجود است.
- زمان‌های آماده سازی کارها مستقل از ترتیب آن‌هاست و می‌توان آن را به عنوان بخشی از زمان پردازش در نظر گرفت .
- مشخصات کارها از پیش تعیین شده و قطعی است.
- یک ماشین به طور پیوسته در دسترس است و تا زمانی که کار در انتظار پردازش است ماشین بیکار نگه داشته نمی‌شود.
- هنگامی که پردازش کاری روی ماشین شروع می‌شود تا زمان تکمیل، عملیات بدون وقفه ادامه می یابد.

در مسائل مختلف ممکن است شرایطی مطرح شود که فرضیات بالا را بعضاً به صورت زیر تغییر دهد.

- ورودی‌های دسته‌ای، ورود همزمان چند کار با هم که تمامی این کارها با هم تشکیل یک کار بزرگتر را می دهند و تمامی فرضیاتی که برای یک کار در نظر گرفته می‌شود برای این دسته نیز در نظر گرفته خواهد شد.

- انواع وابستگی در کارها و زمان‌های پردازش، از جمله می‌توان به وابستگی زمان پردازش کارها به منابع، زمان های آماده سازی به توالی و ... اشاره کرد.
- عدم قطعیت در میزان زمان‌های پردازش، در این حالت مدت زمان پردازش به صورت احتمالی مطرح می شود.
- ورودهای غیر همزمان ، در این صورت تمام کارها در زمان صفر برای پردازش آماده نیستند و کارها در زمان-های مختلف برای پردازش وارد کارگاه می‌شوند.

۱-۲- اهمیت تحقیق

با گسترش روز افزون رقابت در میان شرکت‌ها، و جهانی شدن بازارها، توجه به سیستم‌های تولیدی مشتری محور و یکپارچه بیشتر می‌شود. یکی از دیدگاه‌های مورد توجه در دهه اخیر در افزایش سطح خدمت به مشتری، تولید به موقع (JIT)[1] در سیستم‌های تولیدی و خدماتی است. با افزایش توجه به سیستم‌های تولیدی مشتری محور و تولید به موقع در مسائل زمان بندی، توجه به معیار کمینه کردن زودکرد و دیرکرد بیشتر شده است. زیرا در سیستم تولید JIT هر کار باید تا حد امکان نزدیک به موعد تحویل آن تکمیل شود. تولید یک کار زودتر از موعد تحویل آن ممکن است منجر به هزینه موجودی و یا از بین رفتن محصول شود. از طرف دیگر، عدم توجه به موعد تحویل یک کار، ممکن است موجب از دست دادن مشتری یا تحمیل هزینه جبران تاخیر شود، بنابراین در این سیستم تولیدی کمینه کردن زودکرد و دیرکرد را می‌توان بیان‌کننده سیاست مدیریت در برنامه‌ریزی کوتاه مدت و زمان‌بندی تولید برشمرد. در این تحقیق، به بررسی مسئله زمان‌بندی تک ماشین با هدف کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد به عنوان یک معیار عملکرد کاربردی پرداخته می‌شود.

یکی از مباحث مهم در مسائل زمان بندی در نظر گرفتن فرضیات منطبق با شرایط واقعی در سیستم های تولیدی به منظور نزدیک‌تر شدن به اهداف و تصمیمات مدیران و نیز ارائه به موقع خدمات و تولیدات است. در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی به صورت مجزا از مدت زمان پردازش و وابسته به توالی یکی از این فرضیات است. در نظرگرفتن زمان‌های آماده سازی به عنوان یک مولفه جداگانه در افزایش کیفیت برنامه ریزی‌ها در سیستم های تولیدی یا خدماتی بسیار موثر است. در این تحقیق بررسی مسئله کمینه سازی مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد با فرض زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی در نظر گرفته شده است. برای یافتن جواب بهینه از الگوریتم‌های حل دقیق و برای رسیدن به جواب مناسب در مدت زمان کوتاه از الگوریتم‌های ابتکاری استفاده شده است.

[1] Just In Time

۱-۳- مروری بر مطالب

در فصل دوم ابتدا مسائل زمان‌بندی با فرض زمان‌های آماده سازی مد نظر قرار گرفته شده و مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه ارائه شده، سپس اهمیت و تعریف تابع هدف کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، مسئله کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد در زمان بندی تک ماشین با فرض زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی و نیز با فرض زمان آماده سازی گروهی وابسته به توالی در فصل‌های سوم و چهارم بررسی می‌شود. نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای رویکردهای آتی نیز در فصل پنجم بیان شده است.

فصل دوم
مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- مقدمه

در مسائل زمان بندی در نظر گرفتن فرضیات منطبق با شرایط واقعی تولیدی به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده و ارائه خدمات و تولیدات به موقع دارای اهمیت بسیار می‌باشد. در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی به صورت مجزا از مدت زمان پردازش و وابسته به توالی یکی از این فرضیات است. در بسیاری از صنایع و یا سیستم‌های خدماتی با اعمال این شرط می‌توان برنامه‌های تولیدی را منطبق بر شرایط واقعی و در نتیجه کاراتر ساخت. همچنین فلسفه تولید به موقع، توجه به مسائل زمان‌بندی که در آن هر دو حالت زودکرد و دیرکرد دارای هزینه باشد را افزایش داده است.

در این فصل، مطالعات صورت گرفته در زمینه انواع مسائل زمان‌بندی با فرض زمان‌های آماده سازی و نیز تعریف مسئله کمینه کردن مجموع بیشینه‌های زودکرد و دیرکرد ارائه شده است.

۲-۲- اهمیت مسئله زمان بندی تک ماشین با زمان های آماده سازی

یکی از فرضیات مهمی که در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته است وجود زمان های آماده سازی است. زمان آماده سازی شامل زمان‌های آماده سازی ماشین ، پردازش و آماده سازی قطعات لازم برای پردازش محصول اصلی است [2]. که عملاً شامل آماده کردن تجهیزات، قرار دادن محصول در مکان مورد نظر،آماده کردن فیکسچرها و تمیز کاری پیش از پردازش می شود. تا مدت‌ها فرض زمان‌های آماده سازی در مسائل زمان بندی یا در نظر گرفته نمی‌شد یا به عنوان بخشی از زمان‌های پردازش به حساب می‌آمد، اما در بسیاری از موارد زمان (هزینه)های آماده سازی را نمی توان نادیده گرفت.

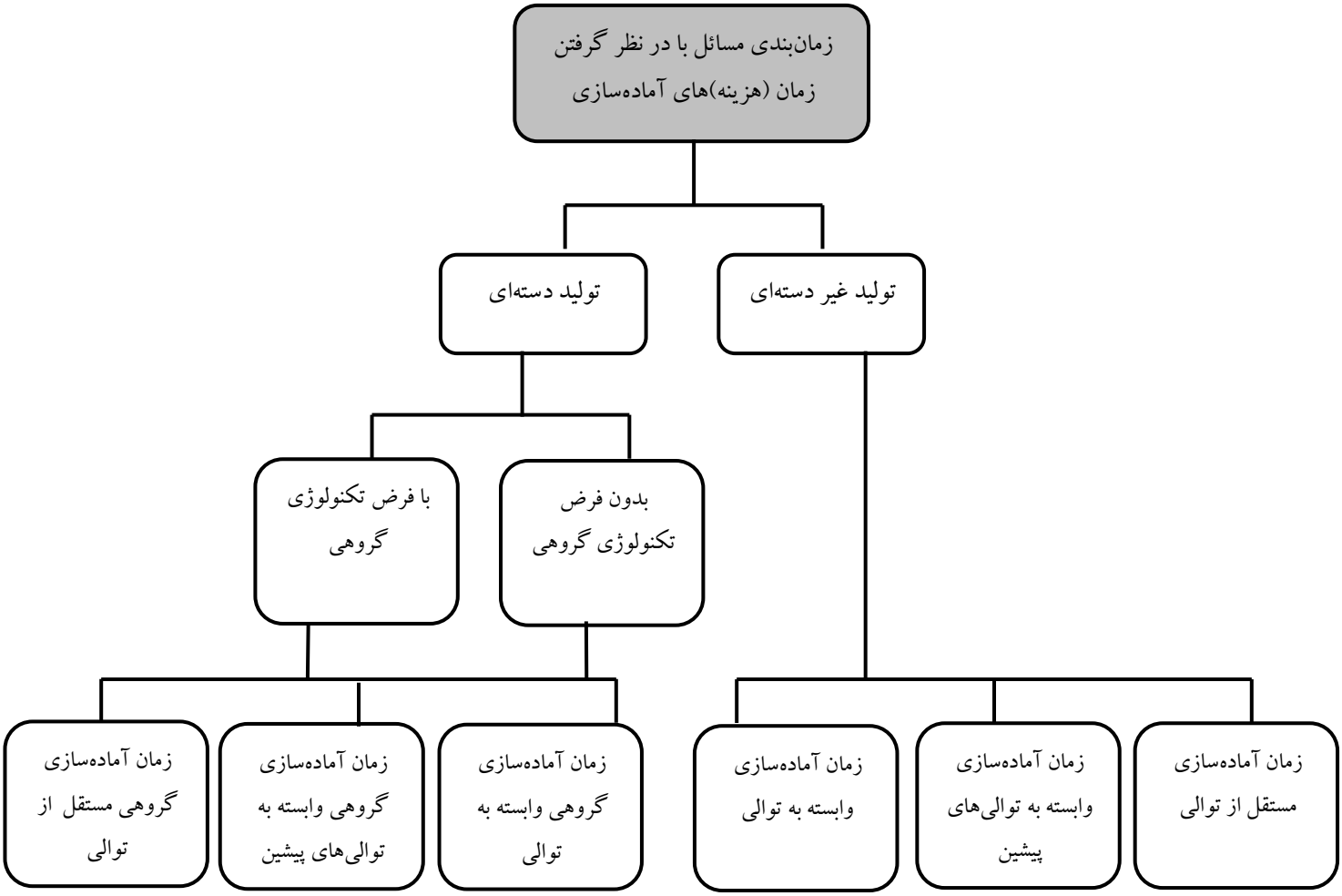
تا اواخر دهه ی ۱۹۵۰ به این شرط چندان توجه نمی‌شد و با نادیده گرفتن آن در مسائل یا افزودن آن به مدت زمان پردازش سعی بر ساده سازی مسائل می‌نمودند اما از آنجایی که در نظرگرفتن زمان‌های آماده سازی به عنوان یک مولفه جداگانه در کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت برنامه ریزی‌ها در سیستم های تولیدی یا خدماتی بسیار موثر بوده، از اوایل دهه ی ۱۹۶۰ به این امر توجه بسیار شده است . در بسیاری از صنایع و یا سیستم های خدماتی با وارد کردن این شرط می توان برنامه‌های تولیدی را بیشتر بر شرایط واقعی منطبق ساخت. هر چه شرایط مسئله به واقعیت نزدیک تر باشد، در عمل به نتایج بهتری دست یافته و در نتیجه برنامه ریزی‌ها جوابگوی نیاز مشتری در زمان و شرایط مناسب خواهد بود.

مطالعات بسیاری بر اهمیت در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی به صورت مجزا تأکید کرده‌اند، از جمله پانوالکار [3] بیان کرده است که بر اساس گزارش ٪۷۵ از مدیران ،حداقل تعدادی از عملیات تحت نظارتشان نیازمند در نظرگرفتن چنین فرضی است و تقریباً ٪۱۵ از مدیران اشاره کرده‌اند که کلیه فعالیت‌ها و عملیات تحت پوشش آن ها نیازمند در نظر گرفتن فرض زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی است.

اهمیت و کاربرد زمان بندی مدل‌ها با زمان‌های آماده سازی مجزا در بسیاری از منابع اشاره شده است و در بسیاری از صنایع مانند صنعت نساجی ، صنایع کپی و لیزر ، تولید بردهای الکترونیکی ، کاربرد این مسائل بررسی شده است. لاگونا [4] و اسکالر [5]، بر این موارد اشاره کرده اند.

۲-۳- انواع مسائل زمان بندی با فرض زمان های آماده سازی

تقسیم بندی کلی بر روی مسائل زمان بندی با در نظر گرفتن فرض زمان‌های آماده سازی در زیر آورده شده است.



شکل ۲-۱: تقسیم بندی مسائل زمان بندی با فرض زمان‌های آماده سازی

در ذیل انواع شیوه‌های در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی و فرضیات آن‌ها بیان شده است.

- **زمان‌های آماده سازی مستقل از توالی**[1]**:** در این مسائل زمان آماده سازی تنها به کار در حال پردازش بستگی دارد و مستقل از توالی کارها است که s_j بیانگر زمان آماده سازی لازم برای پردازش کار j می باشد. معمولاً در این گونه مسائل زمان آماده سازی به مدت زمان پردازش افزوده می‌شود.

[1] Sequence – independent setup time

- **زمان‌های آماده سازی وابسته توالی[1] :** در این مسائل زمان‌های آماده سازی نه تنها به کار در حال پردازش بلکه به کار بلافاصله قبل در توالی نیز بستگی دارد که s_{ij} بیانگر زمان آماده سازی پردازش کار j می‌باشد، اگر بلافاصله بعد از کار i پردازش شود.
- **زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی های پیشین [2] :** در این مسائل زمان‌های آماده سازی نه تنها به کار در حال پردازش و کار قبل از آن در توالی، بلکه بر کلیه کارهای پیشین در توالی وابسته است که در بسیاری از موارد این زمان آماده سازی به صورت درصدی از کل زمان های پردازش کارهای قبلی تعریف شده است یعنی

$S_{[j]}$: زمان آماده سازی کار در مکان j ام توالی

$P_{[j]}$ = زمان پردازش کار در مکان j ام توالی

b = یک پارامتر ثابت وابسته به نوع مسئله

$$S_{[1]} = 0 \qquad (۱-۲)$$

$$S_{[r]} = b\sum_{j=1}^{r-1} P_{[j]} \qquad (۲-۲)$$

- **زمان‌های آماده سازی گروهی [3] :** در این سیستم تولیدی ، هر کار به گروهی تعلق دارد و دسته به زیرمجموعه‌ای از کارهای متعلق به یک گروه گفته می‌شود که در برنامه زمان‌بندی پشت سر هم قرار گرفته‌اند و آماده سازی تنها برای پردازش اولین کار متعلق به یک دسته صورت می‌گیرد و پردازش سایر کارهای درون دسته، نیازی به آماده سازی ندارند. در این سیستم تولیدی دو حالت را می توان در نظر گرفت.

۱ - زمان ختم کارهای متعلق به یک گروه از هم مستقل هستند.

۲ - زمان ختم کارهای متعلق به یک گروه وابسته به یکدیگر هستند.

- **فرض تکنولوژی گروهی[4] که در بعضی از مسائل با فرض زمان آماده سازی گروهی در نظر گرفته می شود به این معنا است که:** امکان شکست یک گروه به زیرمجموعه‌های کوچکتر وجود ندارد و به این ترتیب هر دسته تولیدی، کلیه کارهای متعلق به یک گروه را شامل می‌شود. به این ترتیب از هر گروه تنها یک دسته تولیدی در برنامه زمان‌بندی وجود خواهد داشت.

۲-۴- مروری بر مطالعات انجام شده بر روی مسئله زمان بندی تک ماشین با در نظر گرفتن زمان های آماده سازی

در ابتدا علائمی را که در معرفی توابع هدف و فرضیات آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته و سپس مطالعات صورت گرفته به تفکیک، ارائه می‌شود.

---

[1] Sequence – dependent setup time
[2] Past-sequence- dependent setup time
[3] Batch setup time
[4] Group Technology

۲-۴-۱- علائم مورد استفاده در معرفی مسائل

این علائم به تفکیک نوع زمان آماده سازی و توابع هدف مورد بررسی در زیر آورده شده است.

- ST_{si} : زمان آماده سازی مستقل از توالی
- SC_{si} : هزینه آماده سازی مستقل از توالی
- ST_{sd} : زمان آماده سازی وابسته بر توالی
- SC_{sd} : هزینه آماده سازی وابسته بر توالی
- $ST_{si.b}$: زمان آماده سازی گروهی مستقل از توالی
- $SC_{si.b}$: هزینه آماده سازی گروهی مستقل از توالی
- $ST_{sd.b}$: زمان آماده سازی گروهی وابسته به توالی
- $SC_{sd.b}$: هزینه‌ی آماده سازی گروهی وابسته به توالی

توابع هدف مورد استفاده در مسائل مختلف به شرح زیر می باشد.

- C_{max} : دامنه عملیات
- L_{max} : بیشینه مغایرت موعد تحویل و زمان تکمیل
- T_{max} : بیشینه دیرکرد
- TSC: مجموع هزینه های آماده سازی
- TST : مجموع زمان های آماده سازی
- TFT: مجموع زمان های در جریان
- TCT: زمان تکمیل کل کارها
- TE : مجموع مدت زمان زود کرد
- TT : مجموع مدت زمان دیرکرد
- MFT : میانگین زمان در جریان
- MCT : میانگین زمان تکمیل کارها
- MT : میانگین دیرکرد
- NLJ : تعداد کارهای دیر کرد دار
- WTE : مجموع وزن دار زود کرد
- WTT : مجموع وزن دار دیر کرد
- WMFT : میانگین وزن دار زمان در جریان
- WTFT : مجموع وزن دار زمان در جریان
- WMCT : میانگین وزن دار زمان تکمیل کارها

- WTCT : مجموع وزن دار زمان تکمیل کارها

با در نظر گرفتن تقسیم بندی ارائه شده در شکل (۲-۱)، مطالعات صورت گرفته در هر دسته به تفکیک، در ذیل ارائه می‌شود.

۲-۴-۲- زمان آماده سازی مستقل از توالی

در شرایطی که زمان آماده سازی مستقل از توالی است، در بسیاری از موارد این زمان‌ها به زمان‌های پردازش اضافه می شود و دلیلی برای مجزا در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی وجود ندارد. هر چند در موارد خاصی این امر الزامی است. گلاسی [۶] روش برنامه ریزی پویا را برای مسئله‌ای که هزینه تعویض قطعات ثابت بوده ولی هدف کمینه کردن تعداد دفعات تعویض و کمینه کردن عدم تطابق زمان تکمیل با موعد تحویل است ارائه نموده و متیسومری [۷] مسئله گلاسی را برای شرایطی که هزینه‌های تعویض ثابت نیست، گسترش داده است. میازاکی و اوهتا [۸] یک الگوریتم بهینه برای معیار کمینه کردن کل زمان در جریان (TFT) و شرط موعد تحویل مشترک ارائه کرده اند.

گریوس و لی [9] مسئله $1|ST_{si}|w_jc_j$ را با فرض بازه‌های از پیش تعیین شده نگهداری و تعمیرات، با این شرط که در صورت عدم تکمیل پردازش یک کار و مواجهه با زمان نگهداری و تعمیرات، در هنگام شروع مجدد پردازش، دوباره هزینه آماده سازی اعمال شود، مطرح نمودند و برای حل این مسئله روش برنامه ریزی پویا را انتخاب کردند.

لوئی و چنگ [10] مسئله $1|STsi,Pmtn,rj|D_{\max}$[1] را با شرط در نظر گرفتن زمان (هزینه) آماده سازی برای پردازش مجدد کار ارائه کردند و برای حل آن از برنامه ریزی پویا استفاده نمودند و سپس این مسئله را با معیار کمینه کردن مجموع وزن دار زمان تکمیل کارها (WTCT) مطرح نموده و با اثبات NP-hard بودن آن، برای حل از یک الگوریتم حریصانه استفاده نمودند [۱۱].

۲-۴-۳- زمان آماده سازی وابسته به توالی

با در نظر گرفتن زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی، معیار کمینه کردن C_{max} معادل با کمینه کردن مجموع زمان های آماده سازی در توالی است که معادل با مسئله فروشنده دورگرد (TSP)[2] می‌باشد. روش‌های حل این مسئله توسط لاپورته [12] و جانگر [13] جمع آوری شده است.

فرض زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی را می‌توان با در نظرگرفتن فرضیات و توابع هدف گوناگون در نظر گرفت. کارهای بسیار زیادی از اواسط دهه ۱۹۶۰ بر روی مسائلی با این فرض صورت گرفته است که در ادامه به خلاصه‌ای از آن ها اشاره می‌شود.

از جمله اولین مطالعاتی که بر روی مسئله با زمان‌های آماده سازی وابسته به توالی صورت گرفته ، کار گیلمر و گوموری است که معیار کمینه کردن مجموع هزینه‌های آماده سازی را در نظر گرفته اند [14]. پرس بای و ولفسون [15]، برای

[1] Maximum delivery time
[2] Traveling salesman problem

مسائل در اندازه‌های کوچک ، روش حل بهینه ارائه کرده اند. تاها [16] بر این مسئله شرط اعمال هزینه نگهداری و جریمه دیرکرد را اضافه نموده و این مسئله را فرموله کرد. سیلکن [17] مسئله تاها را در قالب مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح[1] ارائه کرد.

در ادامه این بخش، مطالعات صورت گرفته به تفکیک توابع هدف ارائه شده است.

مسئله $1|SC_{sd}|TSC$ مورد مطالعه تعدادی از محققین قرار گرفته است. بارنزو وانستون با اضافه کردن هزینه‌های خطی تأخیر، از روش شاخه و کران و برنامه ریزی پویا برای حل بهینه این مسئله استفاده کردند [18]. کوسیاک و فینک محدودیت پیش نیازی را به این مسئله اضافه کرده و با استفاده از فرموله کردن شبکه و گسترش شاخه و کران این مسئله را حل نمودند [19]. میلر برای حل این مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک ترکیبی استفاده نمود [20]. فئو یک روند جستجوی تصادفی حریصانه برای حل این مسئله ارائه کرد و با استفاده از داده های آماری نتایج، نشان داده است که روش او قابل مقایسه با سایر روش‌های ابتکاری است [21].

مسئله $1|ST_{sd}|TST$ توسط عده ای از محققین مورد توجه بوده است.گوت [22] چندین روش ابتکاری برای حل این مسئله ارائه کرد. وودرالف نیز این مسئله را به همراه تعیین اندازه دسته تولید مطرح و حل نمود [23]. فارن و موهلن شرط ورود غیر همزمان کارها را به این مسئله اضافه نموده و روش شاخه و کران را برای حل ارائه نمود[24]. ونگ نیز روش فرا ابتکاری الگوریتم ژنتیک را برای حل این مسئله به کار گرفته است [25].

مسئله $1|ST_{sd},rj|C\max$ را لی و اصلانی در قالب مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح مطرح کرده و از روش الگوریتم ژنتیک برای حل استفاده نموده اند [26] .

مسئله $1|ST_{sd},prec|C\max$ نیز مورد توجه هی و کوسیاک بوده و آن را به صورت مدل برنامه ریزی مختلط عدد صحیح مدل کرده و الگوریتمی ابتکاری با سرعت حل بالا برای حل آن ارائه کرده‌اند [27] .

مسئله $1|ST_{sd},prec|L\max$ نیز مورد مطالعه عده ای از محققین قرار گرفته است. یوزسوی [28] از روش شاخه و کران برای حل استفاده کرده و به دلیل این که الگوریتم ارائه شده برای حل مسائل با اندازه بیش از ۱۵ کار چندان کارآ نبود، با فرض ورود غیر همزمان کارها روشی ابتکاری ارائه کرد[۲۹]. شین نیز با فرض ورود غیر همزمان کارها یک الگوریتم جستجوی ممنوع برای حل این مسئله ارائه کرده است [30].

مسئله $1|ST_{sd}|\sum Tj$ نیز توسط محققین به شرح زیر مورد توجه بوده است. تن و ناراسیمهن روش شبیه سازی ذوب و انجماد تدریجی(SA)[2] را برای حل این مسئله ارائه کردند و نشان دادند که از سایر الگوریتم‌های تا آن زمان بهتر عمل می‌کند[31]. چندین روش مختلف ژنتیک الگوریتم نیز توسط آرمنتانوو مازینی [32]، تن [33] و فرانکا [34] برای حل این مسئله ارائه شده است. گاگنه [۳۵] روش الگوریتم مورچگان[3](ACO) را برای حل ارائه کرد و چنگ [36] برای این مسئله یک روش ابتکاری ارائه نمود. ربدی نیز مسئله $1|ST_{sd}|\sum Ej+\sum Tj$ را با روش شاخه و کران حل نمود

[1] Mixed integer programming
[2] Simulated annealing
[3] Ant colony Optimization