دانشگاه صنعتی
امیرکبیر
دانشکده مهندسی صنایع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان پایان‌نامه:

ارائه یک متدلوژی برای مساله زمانبندی گروه‌های محصولات در محیط پویای جریان کارگاهی منعطف

نگارش: کامران کیانفر ۸۵۱۲۵۰۳۱

استاد راهنما: دکتر سید محمد تقی فاطمی قمی

استاد مشاور: دکتر بهروز کریمی

پاییز ۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: کامران کیانفر — دانشجوی آزاد ● — بورسیه ○ — معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۵۰۳۱ — دانشکده: مهندسی صنایع — رشته تحصیلی: مهندسی صنایع گروه:

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: سید محمد تقی فاطمی قمی — درجه و رتبه: استاد

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: بهروز کریمی — درجه و رتبه: دانشیار

نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : ارائه یک متدلوژی برای مساله زمانبندی گروه های محصولات در محیط پویای جریان کارگاهی منعطف

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Development of a methodology for group scheduling problem in dynamic flexible flow shops

نوع پروژه: کارشناسی○ — ارشد ● — دکتر ا ○ — سال تحصیلی: ۸۸-۸۷

کاربردی ○ — بنیادی ○ — توسعه‌ای ○ — نظری ●

تاریخ شروع : ۶-۸۶ — تاریخ خاتمه : ۹-۸۷ — تعداد واحد : ۶ — سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: جریان کارگاهی پویا ؛ زمان آماده‌سازی وابسته به ترتیب ؛ قبول و رد کارها ؛ دیرکرد ؛ قانون توزیع ؛ شبیه‌سازی

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : simulation ; dispatching rule ; sequence dependent setup time ; dynamic flexible flow shop ; tardiness ; accept/reject of jobs ;

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۲۷	تصویر○ جدول● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۸۸	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:**

۱ : 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

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله مراتب امتنان خود را به تمام عزیزانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نموده و محبت خود را دریغ ننمودند تقدیم می‌نمایم و نیز از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های مستمر فکری و معنوی خانواده‌ام صمیمانه سپاسگزارم.

سعه صدر و راهنمایی‌های روشنگرانه و بی‌بدیل آقایان دکتر سید محمد تقی فاطمی قمی و دکتر بهروز کریمی سزاوار عالی‌ترین مراتب قدردانی است.

چکیده

زمان‌بندی، تخصیص منابع برای انجام مجموعه‌ای از فعالیت‌ها در طول زمان است. این یک فرایند تصمیم‌گیری به‌منظور بهینه‌سازی یک یا چند تابع هدف تحت محدودیت‌های گوناگون می‌باشد. این پایان‌نامه مسالهٔ جریان کارگاهی منعطف با درنظر گرفتن ورود پویای کارها، زمان‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب و قابلیت قبول و رد کارهای جدید را مورد بررسی قرار می‌دهد. هدف مساله دستیابی به یک برنامه زمان‌بندی است به‌گونه‌ای که مجموع هزینه‌های دیرکرد و رد کارها را کمینه نماید. یک مدل خطی مخلوط عدد صحیح برای این مساله فرمول‌بندی شده است. از آنجایی‌که مساله از نوع NP-hard است، چهار قانون توزیع برای حل تقریبی آن توسعه داده شده است. به‌علاوه، چهار قانون توزیع از ادبیات موضوع و قوانین توزیع پیشنهادی در این پایان‌نامه در یک مدل شبیه‌سازی وارد شده و آزمون‌های شبیه‌سازی تحت شرایط تجربی مختلف انجام پذیرفته است. نتایج نشان می‌دهد که قوانین توزیع پیشنهادی در این تحقیق کارایی بهتری را تحت فرضیات مساله ارائه می‌دهند.

کلمات کلیدی: جریان کارگاهی پویا (Dynamic flexible flow shop) ؛ زمان آماده‌سازی وابسته به ترتیب (Sequence dependent setup time) ؛ قبول و رد کارها (Accept / reject of jobs) ؛ دیرکرد (Tardiness) ؛ قانون توزیع (Dispatching rule) ؛ شبیه‌سازی (Simulation)

فهرست

فصل اول: کلیات موضوع ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-زمانبندی تولید محصولات ۲

۱-۳-انواع مسائل زمانبندی ۵

۱-۴-کدبندی انواع مسائل زمان‌بندی ۷

۱-۵-تکنولوژی گروهی و تولید سلولی ۱۰

۱-۶-تعریف برخی از مفاهیم اولیه ۱۱

فصل دوم: تعریف مساله ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- تعریف مساله ۱۴

۲-۳- نمایش مساله توسط نمودار گانت ۱۸

فصل سوم: مروری بر ادبیات موضوع ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- ادبیات موضوع در حالت ایستا ۲۲

۳-۳- ادبیات موضوع در حالت پویا ۲۷

فصل چهارم: مدل‌سازی ریاضی ۳۵

۴-۱- مقدمه ۳۶

۴-۲- مدل‌سازی ریاضی مسالهٔ مورد نظر ۳۶

۴-۳- مثال عددی ۴۱

فصل پنجم: الگوریتم‌های پیشین ۴۶

۵-۱- مقدمه ۴۷

۵-۲- محاسبهٔ موعد تحویل تعدیل شده (ADD) ۴۷

۵-۳- قانون کوتاهترین زمان پردازش *(SPT)* ۵۱

۵-۴- قانون مجموع زمان پردازش و کار موجود روی ماشین بعدی (PT+WINQ) ۵۱

۵-۵- قانون هزینه دیرکرد قطعی *(ATC)* ۵۲

۵-۶- قانون موعد تحویل عملیاتی و اصلاح شده *(MOD)* ۵۳

۵-۷- قانون زودترین موعد تحویل *(EDD)* ۵۴

۵-۸- قانون موعد تحویل عملیاتی *(ODD)* ۵۴
۵-۹- قانون رائو و راجندران *(RR)* ۵۴
۵-۱۰- قانون مجموع زمان پردازش، کار روی صف بعدی و شناوری ۵۵
۵-۱۱- قانون زمان ورود - مجموع زمان پردازش باقیمانده *(AT + RT)* ۵۶
۵-۱۲- قانون موعد تحویل جریان *(FDD)* ۵۶
۵-۱۳- قانون مجموع زمان پردازش و زمان انتظار فعلی *(PT+PW)* ۵۷
۵-۱۴- قانون زمان پردازش، زمان انتظار فعلی و موعد تحویل جریان (PT+PW+FDD) ۵۸
۵-۱۵- قانون زمان پردازش، زمان انتظار فعلی و موعد تحویل عملیاتی (PT + PW + ODD) ۵۸
۵-۱۶- قانون *(OPFSLK / PT ; FDD)* ۵۹
۵-۱۷- قانون (OPSLK / PT ; ODD) ۶۰
۵-۱۸- قانون AVPRO ۶۰
۵-۱۹- مثال عددی ۶۱

فصل ششم: قوانین توزیع پیشنهادی ۶۳
۶-۱- مقدمه ۶۴
۶-۲- کلیاتی در رابطه با قوانین پیشنهادی ۶۴
۶-۳- قوانین توزیع پیشنهادی بدون درنظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی ۶۵
۶-۴- قوانین توزیع پیشنهادی با درنظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی ۸۴
۶-۵- رد یا قبول سفارشات جدید ۹۵

فصل هفتم: طراحی شبیه‌سازی‌ها و آزمون‌های آماری ۹۶
۷-۱- مقدمه ۹۷
۷-۲- کلیات شبیه‌سازی مدل ۹۷
۷-۳- آزمون‌های شبیه‌سازی بدون درنظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی ۹۹
۷-۴- طراحی آزمایش‌ها با درنظر گرفتن زمان‌های آماده‌سازی ۱۰۸

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی ۱۱۶
۸-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۷
۸-۲- پیشنهادها ۱۱۹

مراجع ۱۲۰

فصل اول

کلیات موضوع

۱-۱- مقدمه

زمان‌بندی در وسیع‌ترین مفهوم خود به اندازه انسان قدمت دارد. به‌طور کلی زمان‌بندی عمل تعیین توالی یا ترتیب فعالیت‌ها برای ارضای نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و اهداف مشخص است. زمان همواره یک محدودیت اساسی بوده است. مردم فعالیت‌هایشان را به‌گونه‌ای زمان‌بندی می‌کنند که بتوانند کارهایشان را در زمان در دسترس انجام دهند. به‌عنوان مثال تعیین زمان بیدار شدن، زمان کار کردن، زمان خواب و ... از آنجا که زمان همچنان یک منبع محدود است ما باید فعالیت‌هایمان را آگاهانه یا به‌صورت عادی و از روی عادت برای بهره‌گیری از این منبع محدود به‌طور بهینه زمان‌بندی کنیم.

با توسعه فرآیند صنعتی شدن جهان، منابع بیشتری حالت بحرانی به‌خود می‌گیرند. امروزه ماشین‌آلات، نیروی انسانی و تسهیلات به‌عنوان منابع بحرانی در تولید و فعالیت‌های خدماتی درنظر گرفته می‌شوند. زمان‌بندی این منابع منجر به ارتقاء کارایی، بهره‌وری و درنهایت سودآوری می‌شود.

فعالیت‌های زمان‌بندی می‌تواند گستره‌ی وسیعی از فعالیت‌ها را دربرگیرد که از کار با کاغذ و مداد و نرم‌افزارهای صفحه‌گسترده و ترسیم نمودارها و دیاگرام‌ها تا کار با الگوریتم‌ها و نظریه‌های پیچیده را شامل می‌شود. روش‌های ساده ممکن است به نتایج خوبی منجر نشود و یک شخص تحلیل‌گری که از سایر تکنیک‌ها آگاهی ندارد ممکن است امکان بهبود جواب‌ها را تشخیص ندهد. از طرف دیگر روش‌های پیچیده و با حجم محاسبات بالا به دانش پایهٔ وسیعی نیاز دارند. ما نمی‌توانیم این سطح دانش محاسباتی را از تمام کسانی که در صنایع به کار زمان‌بندی اشتغال دارند، انتظار داشته باشیم.

۱-۲- زمان‌بندی تولید محصولات

زمان‌بندی نقش مهمی را در برنامه‌ریزی تولید کف کارگاهی ایفا می‌کند. یک برنامه زمان‌بندی مشخص می‌کند چه موقع زمان پردازش هر کار(محصول) روی هر یک از ماشین‌هایی که آن کار در فرآیند تولید خود به آن نیاز دارد آغاز می‌شود. به‌علاوه این برنامه زمان پایان هر کار روی هر ماشین را تعیین می‌کند. بنابراین زمان‌بندی یک جدول زمانی برای کارها و ماشین‌ها است. زمان شروع اولین

فرآیند هر کار باید بزرگتر یا مساوی زمان ورود آن کار به کارگاه باشد. از طرف دیگر درصورتی‌که برای محصولی موعد تحویل درنظر گرفته شده است، زمان پایان آخرین فرآیند آن محصول حتی‌الامکان نباید از این زمان تجاوز کند. در جدول زیر تعدادی از معیارهای کارایی زمان‌بندی آورده شده است.

جدول ۱-۱ تعدادی از معیارهای کارایی زمان‌بندی

تعریف	معیار
زمان تکمیل پردازش کلیه کارها	$C_{\max}$
متوسط زمان تکمیل کارها	$\overline{C}$
حداکثر زمان در جریان ساخت کارها	$F_{\max}$
متوسط زمان در جریان ساخت کارها	$\overline{F}$
بیشترین زمان دیرکرد از موعد تحویل	$T_{\max}$
متوسط زمان دیرکرد نسبت به موعد تحویل	$\overline{T}$
تعداد کارهایی که دیرکرد دارند	N_T
متوسط وزنی زمان در جریان ساخت کارها	$\overline{F}_w$
متوسط وزنی زمان دیرکرد نسبت به موعد تحویل	$\overline{T}_w$

برنامه‌ریزی ظرفیت یک بخش اساسی رویه‌های زمان‌بندی است. اصطلاح برنامه‌ریزی ظرفیت به تصمیم‌گیری در مورد نحوه‌ی تخصیص زمان تولید هر ماشین به هریک از کارها اشاره دارد. به‌علاوه برنامه‌ریزی ظرفیت ممکن است به این موضوع بپردازد که کدام محصول باید روی کدام ماشین پردازش شود.

برای توسعه یک برنامه زمان‌بندی ما باید زمان پردازش هر کار روی هر ماشین را بدانیم. برای محاسبه زمان پردازش یک کار ما باید هم عوامل مربوط به محصول و هم عوامل مربوط به ماشین را درنظر بگیریم، از قبیل: زمان راه‌اندازی، زمان پردازش واحد محصول، سرعت ماشین و عوامل کیفی به همراه تعداد(مقدار) محصول تولیدی.

در برنامه زمان‌بندی همچنین زمان‌هایی که ماشین بیکار است (به‌خاطر اینکه هیچ کاری برای پردازش آماده نیست یا به این دلیل که تمام محصولات درحال پردازش روی ماشین‌های دیگر هستند) نشان داده می‌شود.

برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها یا قواعد زمان‌بندی در یک کارخانه به اطلاعات مختلفی نیاز است. این اطلاعات ممکن است شامل برنامه کاری اپراتورها، ماشین‌ها و مشخصات آن‌ها، اطلاعات تعمیرات و نگهداری، میزان پیشرفت کارهای زمان‌بندی شده‌ای که هم‌اکنون درحال پردازش هستند و وضعیت فعلی ماشین‌ها (به‌عنوان نمونه: مشغول، بیکار، خراب و نیازمند تعمیر) باشد. به‌علاوه به اطلاعاتی در مورد مشتریان از قبیل نام مشتریان، محصول و مقدار سفارش و تاریخ تحویل مقرر نیاز داریم. هر یک از سفارشات از نظر مدیریت اولویتی برای انجام دارد که این اولویت را می‌توان به‌صورت کمّی یا به‌صورت کیفی در قالب وزن هر سفارش بیان کرد. اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد(MRP) می‌تواند در تعیین زودترین زمان شروع پردازش هر کار مورد استفاده قرار گیرد.

در عمل برنامه‌های زمان‌بندی با استفاده از الگوریتم‌ها و یا روش‌های قاعده‌مند[1] ایجاد می‌شوند. الگوریتم‌های زمان‌بندی برنامه‌ها را با هدف بهینه‌سازی یک معیار مانند حداقل‌سازی انحراف از موعد تحویل، حداقل‌سازی هزینه دیرکرد و ... تولید می‌کنند. روش‌های قاعده‌مند سعی در یافتن یک برنامه زمانی شدنی(امکانپذیر) در محیط عملیاتی تولید دارند. این روش‌ها اساساً با قواعد "اگر ... آنگاه ..." سروکار دارند. به‌عنوان مثال، یک قاعده ممکن است این چنین باشد: " اگرماشینA و اپراتورX در دسترس باشند، آنگاه کار نوعL را تولید کنید؛ اگر ماشین A و اپراتور X و کمک اپراتور Y در دسترس باشند، آنگاه کار نوعP را تولید کنید ". برنامه زمانی تولید شده توسط روش‌های قاعده‌مند ممکن است نسبت به یک معیار مشخص بهینه باشد(ولی معمولاً این‌گونه نیست).

اطلاعات برنامه زمان‌بندی می‌تواند به اشکال مختلفی نمایش داده شود. نمودار گانت که اولین بار توسط هنری گانت[2] در اواخر قرن نوزدهم معرفی و برای زمان‌بندی مورد استفاده قرار گرفت، همچنان یکی از رایج‌ترین ابزارهای نمایش اطلاعات برنامه زمان‌بندی است.

---

[1] rule-based
[2] Henry Gantt

۱-۳- انواع مسائل زمان‌بندی

مسائل زمان‌بندی از نظر فرآیند تولید محصولات به انواع زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱) **مسائل تک ماشینه**[1]. در این مسائل تنها یک ماشین(منبع سرویس دهنده) در دسترس است و کارها(محصولات) باید روی آن ماشین پردازش شوند. ماشین در هر لحظه قادر است تنها یکی از کارها را پردازش کند. هر کار یک زمان پردازش، موعد تحویل و احتمالاً یک‌سری مشخصه‌های دیگر از قبیل اولویت انجام دارد. نیز ممکن است برای کارهایی که زمان تکمیل پردازش آن‌ها با موعد تحویل مغایرت دارد یک تابع جریمه داشته باشیم. رایج‌ترین هدف، تعیین توالی کارها به‌گونه‌ای است که جریمه ناشی از تأخیر در تحویل(که به هزینه دیرکرد معروف است) حداقل شود. برای دستیابی به این هدف و سایر اهداف، قواعد زمان‌بندی مختلفی توسعه داده شده است.

۲) **ماشین‌های موازی**[2]. تعدادی ماشین مشابه(از لحاظ فرآیند مربوطه) در دسترس هستند و هر کار می‌تواند روی هر یک از این ماشین‌ها پردازش شود. این سیستم خود از لحاظ ویژگی‌های ماشین‌ها از قبیل سرعت پردازش،کیفیت محصولات تولیدی و هزینه تولید به دو دسته ماشین‌های موازی یکسان[3] و ماشین‌های موازی متفاوت[4] تقسیم می‌شود.

۳) **جریان کارگاهی**[5]. در این سیستم تولیدی کارها روی چند ماشین در یک توالی یکسان پردازش می‌شوند، اما زمان پردازش هر کار روی هر ماشین ممکن است متفاوت با سایر کارها باشد. تابع هدف می‌تواند به‌صورت حداقل‌سازی زمان تکمیل پردازش همه محصولات[6] یا یکی از اهداف مبتنی بر موعد تحویل تعریف شود. در این سیستم ممکن است برخی از کارها به پردازش در برخی مراحل نیاز نداشته باشند ولی به هر حال جهت جریان در همه محصولات یکسان است.

---

[1] single machine
[2] parallel machines
[3] identical
[4] non- identical
[5] flow shop
[6] makespan

۴) **کار کارگاهی**[1]. این نوع فرآیند تولید محصولات یکی از عام‌ترین فرآیندهای تولید مورد استفاده است. ماشین‌های مختلف در یک کارگاه (سالن تولید) وجود دارند. هر کار ممکن است به برخی یا تمام ماشین‌ها در یک توالی مشخص مربوط به خود نیاز داشته باشد.

۵) **سیستم کارگاهی باز**[2]. این محیط تولیدی مشابه کار کارگاهی است با این تفاوت که هر توالی مراحل کاری هر محصول از پیش تعیین شده نیست. به‌عبارت دیگر هیچ تقدم وتأخر عملیاتی در فرآیند تولید محصولات وجود ندارد. معمولاً هدف در این سیستم تولیدی حداقل-سازی زمان اتمام کلیه کارها است.

۶) **پردازش انباشته‌ای**[3]. محصولات (کارها) در قالب انباشته‌هایی به‌صورت هم‌زمان پردازش می‌شوند. پردازش هر انباشته نیازمند زمان مشخصی است و ممکن است یک محدودیت ظرفیت در مورد تعداد کارهایی که می‌توانند به‌صورت همزمان پردازش شوند وجود داشته باشد.

۷) **سیستم ساخت انعطاف‌پذیر**[4]. در این سیستم هر ماشین ممکن است قادر به انجام بیش از یک عملیات باشد. بنابراین هر دو ماشین در انجام یک‌سری از عملیات ممکن است حکم دو ماشین موازی را داشته باشند و در مورد یک‌سری از عملیات با یکدیگر اشتراکی نداشته باشند.

۸) **سیستم کارگاهی وابسته**[5]. یک محیط کار کارگاهی است که در آن زمان شروع و پایان یک‌سری از کارها به هم وابسته است. مثال بارز این سیستم، خطوط مونتاژ است.

در مورد هر یک از سیستم‌های تولیدی فوق وابستگی زمان و هزینه راه‌اندازی به توالی می‌تواند دو سیستم مختلف را پدید آورد.

از طرف دیگر سیستم‌های تولیدی از نظر مقدار پارامترهای مورد نیاز برای تهیه برنامه زمانبندی به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- قطعی- ایستا
۲- احتمالی- ایستا

---

[1] job shop
[2] open shop
[3] batch processing
[4] flexible manufacturing
[5] dependent shop

۳- فازی- ایستا
۴- قطعی- پویا
۵- احتمالی- پویا
۶- فازی- پویا

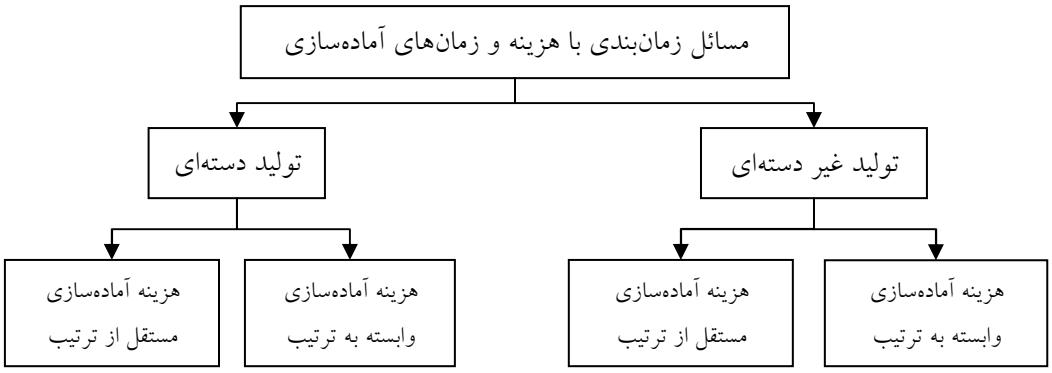
به‌عنوان مثال، زمان پردازش واحد یک محصول در یک مرحله ممکن است مقداری قطعی یا غیرقطعی باشد که درصورت غیرقطعی بودن این عدم قطعیت ممکن است به‌صورت احتمالی یا فازی بیان شود. همچنین با توجه به منحنی یادگیری اپراتور در بلندمدت ممکن است این زمان کاهش یابد و لذا مقدار زمان پردازش در طول زمان حالت پویا داشته باشد. البته پویایی می‌تواند ناشی از بروز اتفاقات در سیستم نظیر ورود سفارشات در حین اجرای برنامه، خرابی پیش‌بینی نشده ماشین‌آلات و ... نیز باشد.

۱-۴- کدبندی انواع مسائل زمان‌بندی

از اواسط دهۀ ۶۰ میلادی توجه زیادی به مسائل زمان‌بندی با درنظر گرفتن زمان‌ها و هزینه‌های آماده‌سازی شده است. تعدادی از مطالعات مرتبط با این موضوع را می‌توان در مقالات مروری اللهوردی[1] و سایرین *[1]* در سال ۱۹۹۹، یانگ و لیائو[2] *[2]*، چِنگ[3] و سایرین *[3]* و پاتس و کوالیُو[4] *[4]* یافت.

در جدیدترین مقالۀ مروری که در این زمینه به چاپ رسیده است، اللهوردی و سایرین *[5]* در سال ۲۰۰۶ انواع مسائل زمان‌بندی را با نظر گرفتن زمان و هزینه‌های آماده‌سازی طبقه‌بندی کردند. در این مقاله، مسائل زمان‌بندی به دو گروه کلی تولید دسته‌ای و تولید غیردسته‌ای تقسیم شده است. در ادامه هر کدام از گروه‌های فوق به‌صورت جداگانه در دو حالت زمان‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب و زمان‌های آماده‌سازی مستقل از ترتیب مورد بررسی قرار گرفته است (مطابق شکل ۱-۱).

[1] Allahverdi
[2] Yang & Liao
[3] Cheng
[4] Potts & Kovalyov



شکل ۱-۱ دسته‌بندی کلی مسائل زمان‌بندی

در مقالهٔ مذکور از سیستم نشانه‌گذاری ابداعی توسط گراهام[1] و سایرین *[6]* استفاده شده است. در این سیستم هر مسالهٔ زمان‌بندی به‌صورت $\alpha / \beta / \gamma$ نمایش داده می‌شود. در این نوع نشانه‌گذاری، αنشان‌دهندهٔ نوع محیط تولیدی و β نشان‌دهندهٔ اطلاعات مربوط به آماده‌سازی، جزئیات پردازش کارها و سایر شرایط حاکم بر سیستم تولیدی بوده و درنهایت γ تابع هدف مساله را نمایش می‌دهد. به‌عنوان مثال، یک سیستم جریان کارگاهی با سه ماشین و تابع هدف حداقل کردن بیشترین تاخیر کارها که در آن تولید به‌صورت دسته‌ای و هزینه‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب کارها باشند، به‌صورت $F3/ST_{sd,b}/L_{\max}$ نشان داده می‌شود. نشانه‌هایی که می‌توان برای تشریح مسائل مختلف به‌جای پارامترهای α، βو γبه‌کار برد، در جداول ۱-۱ تا ۱-۴ آورده شده است.

جدول۱-۱ نمادهای مربوط به پارامتر α

نوع سیستم تولیدی	نماد
تک‌ماشینه	1
جریان کارگاهی	F
جریان کارگاهی منعطف	FF
جریان کارگاهی مونتاژ	AF
ماشین‌های موازی R:ماشین‌های نامرتبط Q:از یک نوع P:ماشین‌های یکسان	P,Q,R
کار کارگاهی	J
سیستم کارگاهی باز	O

[1] Graham

جدول۱-۲ نمادهای مربوط به پارامتر β

شرایط حاکم بر سیستم	نماد
محدودیت‌های اولویت	$prec$
زمان‌های ورود غیرصفر	r_j
قابلیت انقطاع کارها	$pmtn$

جدول۱-۳ نمادهای مربوط به پارامتر β (ادامه)

اطلاعات مربوط به آماده‌سازی	نماد
زمان‌های آماده‌سازی مستقل از ترتیب	ST_{si}
هزینه‌های آماده‌سازی مستقل از ترتیب	SC_{si}
زمان‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب	ST_{sd}
هزینه‌های آماده‌سازی وابسته به ترتیب	SC_{sd}
زمان‌های آماده‌سازی دسته‌ها مستقل از ترتیب	$ST_{si,b}$
هزینه‌های آماده‌سازی دسته‌ها مستقل از ترتیب	$SC_{si,b}$
زمان‌های آماده‌سازی دسته‌ها وابسته به ترتیب	$ST_{sd,b}$
هزینه‌های آماده‌سازی دسته‌ها وابسته به ترتیب	$SC_{sd,b}$

جدول۱-۴ نمادهای مربوط به پارامتر γ

اطلاعات مربوط به تابع هدف	نماد
زمان تکمیل پردازش تمام کارها	$C_{\max}$
بیشترین تاخیر	$L_{\max}$
بیشترین دیرکرد	$T_{\max}$
بیشترین زمان تحویل	$D_{\max}$
هزینه کلی انتقال و آماده‌سازی	TSC
زمان کلی انتقال و آماده‌سازی	TST
مجموع زمان پردازش	$\sum f_j$
مجموع زمان تکمیل	$\sum C_j$
مجموع زودکرد	$\sum E_j$
مجموع دیرکرد	$\sum T_j$
تعداد کارهای دارای دیرکرد	$\sum U_j$
مجموع وزنی زمان تکمیل	$\sum w_j C_j$
مجموع وزنی دیرکرد	$\sum w_j T_j$
مجموع وزنی زمان پردازش	$\sum w_j f_j$

با توجه به نمادهایی که در بالا تعریف شد، می‌تون انواع مسائل زمان‌بندی کارها را کدبندی نمود. دراینجا لازم به ذکر است که نوع خاصی از سیستم‌های تولید دسته‌ای از مفهومی به‌نام تکنولوژی گروهی و تولید سلولی استفاده می‌کنند که در بخش بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۵- تکنولوژی گروهی و تولید سلولی

اولین قدم در طراحی یک سیستم تولید سلولی *(CMS)* تشخیص خانواده قطعات و گروه‌های ماشین‌آلات و در ادامه تشکیل سلول‌های تولیدی است، به‌نحوی‌که عملیات لازم برای ساخت هر خانواده از قطعات توسط یک گروه از ماشین‌آلات انجام شود و به‌شرطی‌که انتقال قطعات از سلولی به سلول دیگر کمینه شود.

تکنولوژی گروهی یک فلسفه تولیدی است که امروزه به دلیل داشتن تاثیرات مثبت فراوان در سیستم‌های تولیدی دسته‌ای مورد توجه بسیار قرار گرفته است. تولید سلولی *(CM)* یکی از کاربردهای اساسی تکنولوژی گروهی است. در طراحی سیستم های تولید سلولی قطعات مشابه در خانواده‌های قطعات گروه‌بندی می‌شوند و ماشین‌آلات مربوطه نیز به‌نحوی گروه‌بندی می‌شوند که پردازش‌های لازم برای تولید یک یا چند خانواده از قطعات توسط یک گروه از ماشین‌آلات انجام شود. عملیات لازم برای تشخیص خانواده‌های قطعات و گروه‌های ماشین‌آلات، معمولا با عنوان مساله تشکیل سلول *(CF)* شناخته می‌شود.

تشکیل سلول‌های تولیدی همواره به‌عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای سیستم‌های تولید دسته‌ای در زمانی که تولید محصولات مختلف با نرخ‌های تولید متوسط انجام می‌شود، مد نظر بوده است. در سیستم‌های تولید دسته‌ای حجم تولید محصولات مختلف به‌اندازه‌ای نیست که بتوان از سیستم خط تولید برای تولید آنها استفاده کرد؛ ولی با این وجود می‌توان آنها را در سلول‌هایی از ماشین‌آلات مختلف تولید نمود *[7]* .

همچنین مشاهده شده است که به‌کار بردن سلول‌های تولیدی بسیاری از مشکلات مربوط به سیستم تولید دسته‌ای مانند آماده‌سازی‌های متعدد، موجودی حین تولید بالا، برنامه‌ریزی و کنترل

تولید پیچیده را کاهش می‌دهد. نیز پیاده‌سازی این سیستم راه را برای اجرای سایر تکنیک‌های برنامه‌ریزی تولید نظیر تولید به‌هنگام ***(JIT)*** و سیستم‌های تولیدی منعطف ***(FMS)*** هموار می‌کند *[8]* .

مساله تشکیل سلول‌های تولیدی را می‌توان بدین ترتیب تعریف کرد که اگر تعداد، انواع و ظرفیت‌های ماشین‌های تولیدی و همچنین تعداد و انواع محصولات تولیدی و اینکه هر محصول به چه پردازش‌هایی نیاز دارد، مشخص باشد آنگاه چه قطعات و ماشین‌هایی را می‌توان به‌صورت یک مجموعه درنظر گرفت تا تشکیل یک سلول تولیدی دهند *[9]*؟

۱-۶- تعریف برخی از مفاهیم اولیه

زمان پردازش هر عملیات[۱] $(p_{i,j})$: زمان انجام عملیات برای کار j روی ماشین i را نشان می‌دهد. درحالتی‌که زمان پردازش عملیات مستقل از ماشین باشد و یا عملیات فقط به روی یک ماشین انجام شود، نماد i حذف می‌شود.

زمان دسترسی به کار[۲] (r_j): زمانی است که یک کار وارد کارگاه شده و آماده دریافت سرویس‌های لازم از ماشین‌های تولیدی است. این زمان زودترین زمانی است که می‌توان عملیات پردازش را به روی یک کار آغاز نمود.

موعد تحویل[۳] (d_j): زمانی است که تولیدکننده متعهد به تحویل کار به مشتری نهایی است. تحویل کار به مشتری پس از موعد تحویل امکان پذیر است ولی تولید کننده بایستی جریمه‌ای را بابت دیرکرد بپردازد.

مغایرت[۴] (L_j): فاصلهٔ زمانی بین تکمیل یک کار و موعد تحویل آن را مغایرت می‌نامند. درصورتی‌که زمان تکمیل کاری قبل از موعد تحویل آن باشد، مقدار مغایرت آن کار منفی و درصورتی‌که کاری بعد از موعد تحویل آن تکمیل شود، مغایرت آن کار مثبت خواهد بود. مغایرت کار j از رابطهٔ $L_j = (C_j - d_j)$ محاسبه می‌شود که در این رابطه C_j زمان تکمیل کار j است.

---

[1] process time
[2] release date
[3] due date
[4] lateness

دیرکرد[1] (T_j): مدت زمانی که تکمیل کار نسبت به موعد تحویل آن تاخیر دارد.چنانچه تاخیری وجود نداشته باشد این کمیت صفر است. دیرکرد کار jاز رابطهٔ $T_j = \max\{L_j, 0\}$ به‌دست می‌آید.

وزن[2] (w_j): وزن هر کار در واقع بیانگر میزان اهمیت هر کار نسبت به کارهای موجود در سیستم است. به‌عنوان مثال این وزن می‌تواند بیانگر هزینه نگهداری هر کار به‌صورت ناقص در سیستم و یا ارزش کنونی آن باشد.

[1] tardiness
[2] weight

فصل دوم

تعریف مساله

۲-۱- مقدمه

زمانبندی، تخصیص منابع در طول زمان برای اجرای مجموعه‌ای از وظایف است. این تعریف نسبتاً کلی، دو مفهوم مختلف را در پی دارد. اول این‌که زمان‌بندی نوعی تصمیم‌گیری است و فرایندی است که در جریان آن برنامهٔ زمانی را تعیین می‌کنند. از این لحاظ بیشتر آموخته‌های ما در مورد زمان‌بندی را می‌توان در مورد تصمیم‌گیری‌های دیگر نیز به‌کار گرفت و لذا از این لحاظ ارزش عملی عام دارد. ثانیاً زمان‌بندی مبحثی نظری است که مجموعه‌ای از اصول، مدل‌ها، روش‌ها و نتایج منطقی را دربر می‌گیرد، که برای ما بینشی عمیق در مورد عمل زمان‌بندی فراهم می‌آورد. از این لحاظ نیز بیشتر آموخته‌های ما در مورد مسالهٔ زمان‌بندی را می‌توان در مورد سایر نظریه‌ها به‌کار برد و بنابراین ارزش مفهومی عام دارد.

در این فصل به تشریح یک مسالهٔ عملی در محیط‌های تولیدی و چگونگی برخورد با آن به‌عنوان یک مسالهٔ زمان‌بندی پرداخته می‌شود.

۲-۲- تعریف مساله

در این پایان‌نامه مسالهٔ زمان‌بندی کارها در یک محیط جریان کارگاهی منعطف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همان‌گونه که در فصل اول نیز توضیح داده شد، جریان کارگاهی به محیطی اطلاق می‌شود که در آن کارها برای تکمیل عملیات پردازش می‌بایست از روی ماشین‌آلات مشخصی عبور کنند و مسیر حرکت تمام کارها یکسان است؛ بدین معنی که اگر ماشین‌آلات تولیدی از ۱ تا n شماره‌گذاری شوند، آنگاه پردازش تمام سفارش‌ها (کارها) باید به‌ترتیب روی ماشین‌های ۱ تا n انجام شود. این نوع سیستم تولیدی به دو حالت کلی تقسیم می‌شود، در حالت اول کارها مجبورند تا از تمام ماشین‌های موجود عبور کنند، که معمولاً در ادبیات موضوع به این حالت *جریان کارگاهی*[1] گفته می‌شود و در حالت دوم کارها می‌توانند برروی تعدادی از ماشین‌آلات قرار گیرند و یا به‌اصطلاح از روی ماشین‌ها پرش کنند، که به این حالت خط کارگاهی[2] گفته می‌شود.

[1] flow shop
[2] flow line